Кемеровский государственный университет
Объединяем знания и людей

Техника и технология пищевых производств

Food Processing: Techniques and Technology

Том 51
Номер 1
2021

ISSN 2074-9414
E-ISSN 2313-1748

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ
(FOOD PROCESSING: TECHNIQUES AND TECHNOLOGY)
Издается с 1998 года
ISSN 2074-9414 (Print) ISSN 2313-1748 (Online)
№ 1 (51) 2021
16+

Национальный, рецензируемый научный журнал, посвященный вопросам пищевой промышленности и включенный в МБД SCOPUS и RSCI на платформе Web of Science.

Миссия: создание, агрегация, поддержка и распространение научно-образовательного контента в области пищевой промышленности, объединение усилий различных категорий исследователей, вузовской и научной интеллигенции, преодоление разрыва между изданиями регионального, национального и федерального уровней. Журнал призван освещать актуальные проблемы в пищевой и смежных отраслях, продвигать новые перспективные технологии в широкую аудиторию научных и практических работников, преподавателей, аспирантов, студентов, предпринимателей, а также оказывать содействие в подготовке высококвалифицированных специалистов.

В журнале публикуются научные и обзорные статьи, доклады, сообщения, рецензии, краткие научные сообщения (письма в редакцию), информационные публикации по направлениям: технология пищевых производств; процессы, оборудование и аппараты пищевых производств; гигиена питания; биотехнология; стандартизация, сертификация, качество и безопасность; химия и экология; экономика; автоматизация и информатизация технологических процессов. Подробная информация для авторов и читателей представлена на сайте http://fptt.ru.

Главный редактор:
А.Ю. Просеков, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия.
Зам. главного редактора:
А.Н. Петров, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования, Видное, Россия;
О.О. Бабич, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия.
Редакционная коллегия:
В.В. Бахарев, Самарский государственный технический университет, Самара, Россия;
С.М. Бычкова, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Пушкин, Россия;
А.Г. Галстян, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия;
И.А. Ганиева, АНО Научно-образовательный центр «Кузбасс», Кемерово, Россия;
И.Ф. Горлов, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия;
Г.М. Гриценко, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Новосибирская обл., Россия;
Н.И. Дунченко, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия;
И.А. Евдокимов, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия;
Ж.С. Есимбеков, Университет имени Шакарима города Семей, Семей, Казахстан;
А.В. Заушинцена, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия;
В.Г. Лобанов, Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия;
Г.О. Магомедов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия;
В.Н. Попов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия;
С.Л. Тихонов, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия;
О.А. Фролова, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Княгинино, Россия;
В.Н. Хмелев, Бийский технологический институт, Алтайского государственного технического университета, Бийск, Россия;
Ю.С. Хотимченко, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия;
А.Г. Храмцов, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия.

Материалы публикуются на условиях лицензии CC BY 4.0.

Выпускающий редактор А.И. Лосева
Ответственный за выпуск А.А. Кирякова
Литературный редактор А.Ю. Курникова
Литературный редактор (англ. язык) Н.В. Рабкина
Дизайн и компьютерная верстка М.В. Горбунова

Адрес редакции и издателя: КемГУ, 650000, Россия, Кемеровская обл., г. Кемерово, Красная, 6, тел.: +7 (3842) 58-80-24, e-mail: fptt98@gmail.com.
Адрес типографии: КемГУ, 650000, Россия, Кемеровская обл. г. Кемерово, пр. Советский, 73.
Учредитель: КемГУ, 650000, Россия, Кемеровская обл., г. Кемерово, Красная, 6. © КемГУ, 2021.

Дата выхода в свет 25.03.21.
Усл. п. л. 24,02, уч.-изд. л. 6,05. Тираж 500 экз.
Цена свободная. Выходит 4 раза в год.
Подписной индекс по объединенному каталогу «Пресса России» – 41672.
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-72313 выдано Роскомнадзор.

FOOD PROCESSING: TECHNIQUES AND TECHNOLOGY
Issued since 1998
ISSN 2074-9414 (Print) ISSN 2313-1748 (Online)
No. 1, Vol. 51, 2021

The Journal is an open access, double-blind peer-reviewed quarterly journal that encompasses a wide range of food research areas in Russia and neighboring regions.

The journal is accepted by SCOPUS and Web of Science (RSCI).

The Journal's mission is to present, integrate and disseminate the most important results of fundamental and applied research in the food industry of Russia and the CIS countries. We aim to create scientific content that would reflect the current state of food science in the post-Soviet space.

The Journal is addressed to practicing professionals, scientists, academics, and students.

The Journal publishes the results of original research and review articles on most topics relating to food industry, including: food production technology; food production processing and equipment; food hygiene; biotechnology; food standardization, certification, quality and safety; chemistry and ecology; economics; automation and informational support of technological processes. For submission instructions, subscription and all other information visit this journal online at http://fptt.ru/eng.

Editor-in-Chief
Alexander Yu. Prosekov, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia.
Deputy Editor-in-Chief
Andrey N. Petrov, All-Russia Scientific Research Institute of Canned Food Technology, Vidnoe, Russia;
Olga O. Babich, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia.
Editorial Board Member
Vladimir V. Bakharev, Samara State Technical University, Samara, Russia;
Svetlana M. Bychkova, St. Petersburg State Agrarian University, Pushkin, Russia;
Aram G. Galstyan, All-Russia Dairy Research Institute, Moscow, Russia;
Irina A. Ganieeva, Research and Academic Centre "Kuzbass", Kemerovo, Russia;
Ivan F. Gorlov, Povolzhsky Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia;
Galina M. Gritsenko, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk reg., Russia;
Nina I. Dunchenko, Timiryazev Russian State Agrarian University, Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russia;
Ivan A. Evdokimov, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia;
Zhanibek S. Yessimbekov, Shakarim University of Semey, Semey, Kazakhstan;
Alexandra V. Zaushintsena, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia;
Vladimir G. Lobanov, Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia;
Gazibeg O. Magomedov, Voronezh State University of Engineering Technology, Voronezh, Russia;
Vasily N. Popov, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia;
Sergei L. Tikhonov, Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia;
Olga A. Frolova, Nizhni Novgorod Ingineering-economic State University, Knyaginino, Russia;
Vladimir N. Khmelev, Biysk Technological Institute, Altai State Technical University, Biysk, Russia;
Yuri S. Khotimchenko, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia;
Andrey G. Khramtsov, North-Caucasian Federal University, Stavropol, Russia.

All articles are licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits their use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as appropriate credit is given to the original author(s) and the source.

Executive Editor A.I. Loseva, Publishing Editor A.A. Kiryakova, Script Editor A.Yu. Kurnikova, Script Editor (Eng) N.V. Rabkina, Layout of Journal M.V. Gorbunova.

Founder and publisher: KemSU, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7(3842) 58-80-24, e-mail: fptt98@gmail.com.

Printing Office: KemSU, Sovetskiy Ave. 73, Kemerovo, 650000, Russia.

Founder: KemSU, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia. © 2021, KemSU.

Date of issue March 25, 21.
Printed sheet 24,02, conventional printed sheet 6,05. Circulation 500 cop. Open price.
Issued 4 times a year.
Subscription index for the unified "Russian Press" catalogue – 41672.
The certificate of mass media registration is PI № FS 77-72313 Given by the Roskomnadzor.

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

Рецензия на книгу

http://fptt.ru

Лисицын, А. Б. История мясной промышленности / А. Б. Лисицын. – Москва, 2020.

А. Ю. Просеков

Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

e-mail: aprosekov@rambler.ru
© А. Ю. Просеков, 2021

Аннотация. Представлена рецензия на книгу А. Б. Лисицына «История мясной промышленности», в которой рассмотрены основные тенденции мясной отрасли России. Данная книга является теоретическим обобщением исследований в области мясной промышленности. Логика изложения материала выражается в переходе от того или иного периода в истории осмысления проблем мясной отрасли. Главы выстроены таким образом, чтобы дать системное представление о мясной промышленности нашей страны. Проанализированы исторические материалы, архивные документы и многое другое. Показана динамика развития мясной отрасли. Хронологический охват изучения становления мясной промышленности составляет около одиннадцати веков. Выявлены закономерности становления мясной промышленности в разные периоды ее существования от Древней Руси до настоящего времени.

Ключевые слова. Мясо, мясные продукты, потребление, переработка, биотехнология, хронология

Введение

Мясной сектор агропромышленного комплекса, входящий в состав пищевой промышленности, является социально значимой отраслью. Сегодня в рамках современных биотехнологических исследований присутствует тенденция к изучению функциональных пищевых продуктов [1]. Фабрика будущего является неотъемлемой частью концепции Четвертой промышленной революции (Индустрия 4.0). Развитие роботов и роботизации производства, в том числе и в мясной промышленности, стало актуальным во всем мире [2]. Поэтому книга «История мясной промышленности» – это своевременный ответ на многочисленные вопросы эпохи, связанные с технологиями будущего и развитием искусственного интеллекта.

Рецензируемая книга «История мясной промышленности» (Москва, 2020) написана российским ученым, академиком РАН Андреем Борисовичем Лисицыным. Книга посвящена актуальной проблеме современной биотехнологии – изучению эволюции мясной промышленности. Издание предназначено для специалистов в области пищевых производств, мясной промышленности, технологии и биотехнологии.

Важно отметить, что ранее А. Б. Лисицын со своими коллегами уже обращался к поставленной проблематике в своих исследованиях [3]. В работе «Мясная промышленность России (прошлое, настоящее, будущее)» (А. Б. Лисицын, Н. Ф. Небурчилова, И. В. Петрунина) были рассмотрены основные этапы становления и развития мясной промышленности в стране за весь период ее существования [3]. Отражены исторические аспекты мясопереработки в мире, приведены показатели производства мяса в царской России. Проанализированы основные направления развития мясной отрасли агропромышленного комплекса до 2015 г.

В рецензируемой рукописи охват материала расширился до настоящего времени (последняя глава книги заканчивается статистическими данными, актуальными на 2019 год). Данное издание характеризует историческая направленность, связанная с рассмотрением этапов развития и формирования мясной промышленности, аналитика рынка. Такая целевая установка позволяет не только раскрыть специфику мясной отрасли в разные исторические периоды ее существования, но и выявить закономерности мясной промышленности в целом.

Несомненным достоинством работы, определяющим научную новизну, является осуществление комплексного анализа теоретических и практических аспектов мясной промышленности. Исследование имеет ярко выраженный междисциплинарный характер, поскольку находится на пересечении таких областей научного знания, как зоотехния, ветеринария, биомедицина, теоретическая и практическая биотехнология.

Материалы и методы исследования

В качестве материала для рецензии выступила книга «История мясной промышленности» (Москва, 2020). Также был привлечён научно-исследовательский контекст. Проведённый в декабре 2020 г. поиск литературы рассматривал книги и статьи, опубликованные с 1 января 2016 г.

по настоящее время. Для перекрестной проверки использовались базы данных статей из «Google Scholar», российской научной электронной библиотеки (https://www.elibrary.ru; https://cyberleninka.ru.). Поисковые запросы были сформированы по ключевым словам: «история мясной промышленности», «мясная промышленность», «становление мясной отрасли», «исторические аспекты переработки мяса» и т. д.

Результаты исследования и их обсуждение.

Книга «История мясной промышленности» состоит из пяти глав. Первая глава «Возникновение скотоводства» посвящена изучению проблемы происхождения и эволюции домашних животных. Глава вводит читателя в проблематику книги, т. е. представляет основные теоретические принципы и понятия, лежащие в ее основе. Каждый из пяти разделов этой главы составляет звено в цепи переходов от общих проблем к конкретным. В главе представлен экскурс в историю доместикации в доисторическое время, позволяющий сделать автору рукописи следующий вывод: еще до наступления новой эры были одомашнены все животные, в которых человек ощущал различного рода потребности и которые могли быть для этого пригодны. Установлено, что из множества диких животных одомашнена лишь малая часть, но и в ней имеются как близко родственные виды, так и отдаленные. Представление о систематическом положении каждого вида домашних животных ценно для выяснения их родственных связей, что облегчает понимание законов развития и строения изучаемых форм. Раскрыто влияние многих факторов на эволюцию крупного рогатого скота. В первую очередь – разнообразное и полноценное кормление, а также предназначение в хозяйственной деятельности человека. Дана общая систематика домашних животных («Отряд парнокопытных (жвачных)». «Крупный рогатый скот». «Быки». «Овцы». «Северные олени». «Нежвачные парнокопытные». «Семейство свиней». «Отряд непарнокопытных». «Лошади». «Отряд зайцеобразных»).

Во второй главе «Становление скотоводства и развитие мясного дела в России X–XIX вв.» рассматривается, как происходило становление скотоводства на территориях, со временем ставших владениями России, пределы которой в продолжение многих столетий претерпевали значительные изменения. Проведенный анализ различных древнерусских источников и торговых договоров показал следующее: развитие на Руси плодосеменного хлебопашества в постоянных сельбищах и необходимость большого количества скота в хозяйстве обусловливали торговлю, которая восходит к самому началу существования Древнерусского государства. В этом ключе актуализированы развитие скотобойного дела, становление мясоперерабатывающей промышленности, колбасное производство, консервное производство, переработка продуктов убоя, организация потребительских обществ и развитие экспорта.

Отдельного внимания заслуживает раздел, в котором раскрыт вклад специалистов и ученых в развитие животноводства и мясной промышленности. А. Б. Лисицын с благодарностью вспоминает основных из плеяды российских ученых, заложивших основы зоотехнической науки в России, которая формировалась на грани агрономической и ветеринарной наук. Большой вклад в развитие науки о кормлении сельскохозяйственных животных, как отмечается в работе, внесли ученые М. И. Дьяков, М. Ф. Томмэ, А. С. Солун, А. П. Дмитроченко, П. Д. Пшеничный, И. М. Кузнецов, Н. В. Курилов, А. С. Емельянов, А. Д. Синешеков и многие другие.

В третьей главе «Состояние мясной промышленности России с начала XX в. до Великой Отечественной Войны 1941–1945 гг.» раскрывается представление о закономерностях мясной промышленности в России в различные исторические периоды: период Первой мировой войны (1914–1918 гг.), революционного 1917 года, Гражданской войны (1918–1922 гг.), военной интервенции (1921–1923 гг.), голодомора. Достоинством этой главы является четкий абрис фактологической базы исследования. Проведен скрупулезный анализ исторических данных. Приведены архивные документы и цитаты из них. Описаны учреждения по руководству мясным и холодильно-боенным делом (1918–1927 гг.). Архивный материал представлен несколько сокращенно, в редакции авторов. При этом сохранен стиль, терминология, атмосфера того времени, когда происходили изучаемые события. Реконструкция – целевая установка главы. Отмечено, что «Мясохладобойня» имеет непосредственное отношение к эпохальному событию − созданию отраслевого журнала «Мясная индустрия». Создание мясной промышленности СССР и её развитие актуализировали постановку мясной проблемы. Выявлено, что 20–30 гг. XX столетия являлись годами революционными (в том числе и в деле строительства мясной промышленности). В разделе при описании различных знаковых событий для мясной промышленности приведены фотографии некоторых новых мясокомбинатов и производственных цехов с установленным в них оборудованием (например, фотографии Московского мясокомбината, Мясокомбината в Улан-Удэ и многие другие). Иллюстративный материал и визуализация способствуют более глубокому погружению в культуру той исторической эпохи, которая рассмотрена в книге.

В четвертой главе «Мясная промышленность в годы Великой Отечественной Войны (1941–1945 гг.). Послевоенный период» рассмотрены период Великой Отечественной войны, восстановительный период и развитие промышленности в 1944–1990 гг., события 1991–2000 гг., а также начало третьего тысячелетия. Автором в данной главе показан переломный момент в истории России: перестройка промышленности на военный лад. Раскрыты вопросы о разрушениях и о последующем восстановлении отрасли. Установлено, что мясная промышленность в военный период, как и все отрасли народного хозяйства, подчинила свою деятельность основной задаче – снабжению мясом и мясопродуктами Советской Армии и важнейших центров потребления. На описываемый период считалось, что задача, поставленная перед мясной промышленностью в области механизации и автоматизации, вполне реальна к разрешению. В этом ключе раскрываются вопросы производства и потребления того времени. Установлено, что в условиях социалистической экономики рост производства продовольственных товаров не встречал никаких трудностей, т. к. покупательская способность населения росла ещё быстрее производства. Этому способствовали систематическое снижение цен на товары широкого потребления и постоянный рост реальной заработной платы советских людей. Отмечены некоторые научно-исследовательские работы по этому вопросу.

В рамках главы актуализировано, что тема питания в «позднем» СССР была едва ли не более политизирована, чем тема голода в предреволюционной России. Прописано, что исторически питание представляет собой не только набор черт быта эпохи, но и важную составляющую биологической жизни населения, влияющую на демографию, спокойствие и конечном счете на всю жизнь человека. В главе раскрыто качество питания граждан СССР, представлены данные, характеризующие состояние питания советского общества с точки зрения объективных потребностей и стандартов потребления промышленно развитых стран.

Мясная индустрия в начале третьего тысячелетия, как следует из материалов анализируемых разделов, связана с произошедшими изменениями в экономике страны. Эти изменения происходили в процессе перехода от планового хозяйства к рыночному в девяностые годы минувшего века. В этом плане приведена аналитика мясного рынка. Завершается глава важными замечаниями о том, что в настоящее время отечественное машиностроение ещё не производит комплексных роботизированных и автоматизированных линий, ограничиваясь выпуском оборудования для малых и средних предприятий. При этом тема роботизации производства, в том числе и в мясной промышленности, становится всё более актуальной.

Последняя глава «Научное обоснование» даёт научно обоснованное и логическое завершение всей книги. На новом витке развития мясной промышленности с реалиями и требованиями нового времени поставлены актуальные проблемы отрасли. Глава раскрывает взаимосвязь между историей и современностью в процессе становления и формирования мясной промышленности. Обобщены результаты изучения эволюции мясного сектора отрасли и рынка мяса. Описаны основные преимущества и проблемы при рассмотрении мясной промышленности. Очерчены её перспективные задачи.

Подводя итог сказанному, необходимо отметить некоторые моменты. До недавнего времени книг, посвящённых историческому направлению развития мясной промышленности, было крайне мало. Имеются отдельные публикации отечественных и зарубежных ученых по указанной проблеме [4–6].

В работе Р. В. Павлюкевич рассматривается развитие мясоперерабатывающей промышленности в годы политической борьбы и правления Н. С. Хрущева [7]. Целью исследования служит определение основных тенденций и результатов в развитии мясной промышленности Красноярского экономического района в годы проведения реформы управления промышленностью и строительством. Автор пришел к выводу, что новая система управления открывала новые возможности для развития отдаленных районов страны, управление которыми прежде было затруднено в связи с их удаленностью от центра. Выявлено, что повышенную роль в развитии регионов должны были играть местные элиты, заинтересованные в развитии важных для местного населения отраслей. Установлено, что в условиях усложнения геополитической ситуации и контрсанкций в области пищевой промышленности переосмысление успехов и ошибок прошлого может позволить выработать более взвешенную политику ее развития.

И. Н. Миколайчик и его коллеги изучали историю развития, термины и определения мясной промышленности [8]. Авторами изложены основные требования к транспортировке и предубойной подготовке животных. Описаны технологические процессы первичной переработки убойных животных. Рассмотрен морфологический, химический состав и пищевая ценность мяса, а также функционально-технологические свойства различных качественных групп (NOR, PSE, DFD), механизмы их образования, особенности автолиза, изменения при холодильной, тепловой обработке и способы их идентификации. Раскрыты биохимические процессы, происходящие в мясе во время созревания,

хранения и консервирования. Описана технология производства различных видов колбасных изделий. Рассмотрены функционально-технологические свойства применения животных и растительных белков, белково-жировых эмульсий, а также пищевых волокон в технологии мяса и многое другое. При этом отсутствуют исследования глубинных закономерностей в области становления мясной промышленности. Все это определяет необходимость и актуальность рецензируемой книги.

Итак, книга А. Б. Лисицына «История мясной промышленности» является теоретическим обобщением исследований в области мясной промышленности. Логика изложения материала выражается в переходе от того или иного периода в истории общетеоретического осмысления проблем мясной отрасли. Главы выстроены таким образом, чтобы дать системное представление о мясной промышленности. Проанализирован обширный материал исторических источников, архивных документов и многое другое. Язык научного издания обеспечивает эффективное восприятие информации – он ясен, последователен и лаконичен. Автор использует необходимую терминологию. Информация структурирована, основные положения, определения и понятия выделяются в тексте через шрифты, рамки и т. д. Средствами и способами для достижения целей автора служат анализ теоретического материала, исторических документов, современных тенденций рынка мясной промышленности. Наблюдается соотнесенность средств и способов изложения материала поставленным целям. Библиографический список использованных и рекомендованных источников включает современную литературу, в том числе на иностранных языках.

Значимость данного труда неоспорима. Автором подробно изучена проблема эволюции мясной промышленности. Качественной представляется дизайнерская работа над внешним оформлением книги. Грамотно сделаны акценты на главном в надписи на обложке. Примечательно, что начало первого абзаца каждой новой главы выполнено в русле исконно русской традиции украшать заглавную букву орнаментом с различными узорами, как в старинных рукописных книгах.

Выводы

В книге «История мясной промышленности» системно представлены закономерности становления и развития мясной промышленности. Представлена эволюция научных и прикладных аспектов мясной отрасли.

Издание отличается конструктивностью и практической направленностью. В нем удачно сочетается концептуально-универсальная модель с конкретными реконструкциями исторических событий. Автор справедливо отмечает специфику развития мясной промышленности в условиях расширения рыночных отношений, обновления территориального разделения и интеграции труда. При этом, несомненно, повышается внутренняя целостность регионов и муниципальных образований в процессе адаптации всех сфер жизни людей и укрепления внутренних социальных, культурных, трудовых, информационных и иных связей.

Данная научная работа способствует фундаментальной подготовке профессионально ориентированных специалистов с глубокими знаниями в области биотехнологии и мясной промышленности. Рукопись предназначена для широкого спектра дисциплин, находящихся на стыке биотехнологии, зоотехнии, ветеринарии и мясной промышленности. Книга также рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся историей формирования динамично развивающегося агропромышленного комплекса России. В связи с этим рекомендую рукопись Андрея Борисовича Лисицына «История мясной промышленности» к опубликованию.

Список литературы

1. Лисицын, А. Б. Современные тенденции развития индустрии функциональных пищевых продуктов в России и за рубежом / А. Б. Лисицын, И. М. Чернуха, О. И. Лунина // Теория и практика переработки мяса. – 2018. – Т. 3, № 1. – С. 29–45. https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-1-29-45.

2. Кузнецова, О. А. Фабрика будущего: роботы в мясной промышленности / О. А. Кузнецова, М. А. Никитина, А. Н. Захаров // Все о мясе. – 2020. – № 2. – С. 16–21. https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-2-16-20.

3. Лисицын, А. Б. Мясная промышленность России (прошлое, настоящее, будущее) / А. Б. Лисицын, Н. Ф. Небурчилова, И. В. Петрунина. – М. : ВНИИМП, 2016. – 260 с.

4. Sohaib, M. An insight of meat industry in Pakistan with special reference to halal meat: a comprehensive review / M. Sohaib, F. Jamil // Korean Journal for Food Science of Animal Resources. – 2017. – Vol. 37, № 3. – P. 329–341. https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.3.329.

5. Opportunities and perspectives for utilisation of co-products in the meat industry / S. A. Lynch, A. M. Mullen, E. O'Neill [et al.] // Meat Science. – 2018. – Vol. 144. – P. 62–73. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.06.019.

6. Дунин, И. М. Племенные ресурсы специализированного мясного скотоводства – основа интенсивного производства говядины в России / И. М. Дунин // Зоотехния. – 2018. – № 2. – С. 2–4.

7. Павлюкевич, Р. В. Мясная промышленность Красноярского края в 1956–1965 гг. / Р. В. Павлюкевич // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2019. – Т. 21, № 2 (78). – С. 342–352. https://doi.org/ 10.21603/2078-8975-2019-21-2-342-352.

8. Технологические основы переработки мяса / И. Н. Миколайчик, Л. А. Морозова, А. В. Ильтяков [и др.]. – Курган : Курганская ГСХА, 2016. – 366 с.

2021 Т. 51 № 1 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-6-16
УДК 621.798(621.56+637.5)

Оригинальная статья
http://fptt.ru

Исследование замораживания мясных рубленых полуфабрикатов в биополимерной упаковке

И. А. Короткий, Е. В. Короткая, А. Н. Расщепкин, Г. Ф. Сахабутдинова*

Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

Дата поступления в редакцию: 21.12.2020 *Дата принятия в печать: 29.01.2021*

**e-mail: 89235202979@yandex.ru*

© И. А. Короткий, Е. В. Короткая, А. Н. Расщепкин, Г. Ф. Сахабутдинова, 2021

Аннотация.
Введение. С учетом сложившейся экологической ситуации в качестве упаковки необходимо применять пленки, способные разложиться при компостировании в короткие сроки. Поведение биоразлагаемых полимеров при низкотемпературном замораживании и хранении продуктов в настоящее время не изучено. Целью работы является нахождение оптимальных режимов замораживания для мясных рубленых полуфабрикатов в биополимерной упаковке.
Объекты и методы исследования. Зразы мясные с овощной начинкой и биополимерная пленка на основе кукурузного крахмала «CornBag». При проведении исследования использовали лабораторный стенд для комбинированного метода замораживания и разрывную машину марки «XLW(M)» для установления физических характеристик пленки.
Результаты и их обсуждение. Проводили экспериментальное исследование конвекционного, контактного и комбинированного способов замораживания с предварительным упаковыванием мясных рубленых полуфабрикатов в биополимерную вакуумную упаковку. Предложен новый комбинированный способ замораживания мясных рубленых полуфабрикатов в биополимерной упаковке. Исследованы прочностные характеристики биополимерной пленки «CornBag» при замораживании и низкотемпературном хранении. Предложена графоаналитическая методика расчета продолжительности замораживания мясных рубленых полуфабрикатов.
Выводы. Предложен комбинированный способ замораживания мясных полуфабрикатов, включающий вакуумную упаковку, подмораживание в потоке воздуха и домораживание на охлаждаемой плите. Установлено, что биополимерная пленка может быть использована для замораживания и низкотемпературного хранения пищевых продуктов. Выявлено, что замораживание упакованных полуфабрикатов позволяет избежать усушки продукта, снизить потери витаминов, сохраняет органолептические характеристики. Обоснован режим хранения мясных рубленых полуфабрикатов при –18 °С в течение 6 месяцев. Усовершенствованная технология замораживания включает использование комбинированного способа замораживания, объединяющего конвективный обдув воздухом и контактное домораживание на плите, с предварительным упаковыванием в биополимерный вакуумный пакет. Параметры замораживания: температура –40 °С, продолжительность 85 мин, скорость 1,33 см/ч.

Ключевые слова. Мясо, кристаллизация, усушка мяса, жировая фракция, бактериальная обсемененность, упаковка, биополимеры, замораживание, фарш

Финансирование. Исследования были выполнены на базе ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (КемГУ).

Для цитирования: Исследование замораживания мясных рубленых полуфабрикатов в биополимерной упаковке / И. А. Короткий, Е. В. Короткая, А. Н. Расщепкин [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 6–16. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-6-16.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

Frozen Meat-Containing Semi-Finished Minced Products: Biopolymer Packaging Materials

Igor A. Korotkiy, Elena V. Korotkaya, Alexander N. Raschepkin, Gulnar F. Sakhabutdinova*

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Received: December 21, 2020 Accepted: January 29, 2021

*e-mail: 89235202979@yandex.ru
© I.A. Korotkiy, E.V. Korotkaya, A.N. Raschepkin, G.F. Sakhabutdinova, 2021

Abstract.
Introduction. Meat-containing semi-finished minced products demonstrate a wide variety of properties, as they contain both plant and meat components. This heterogeneity makes it difficult to plan the freezing process. In view of the current environmental situation, packaging films used for cold storage should be biodegradable. The effect of low-temperature freezing and storage on biodegradable polymers remains understudied. The research objective was to find the optimal modes for minced-meat semi-finished products frozen in a biopolymer package.
Study objects and methods. The study featured zrazy, or meat balls, with vegetable filling and a biopolymer film based on corn starch. It involved a laboratory combination freezing and storage cabinet and an XLW(M) tension tester to establish the physical properties of the film.
Results and discussion. The meat-containing semi-finished minced products were vacuum-packaged in biopolymer material and subjected to convection, contact, and combined freezing. The experiments resulted in a new combined method of freezing for biopolymer-packaged semi-finished meat-containing products. The research also tested the strength properties of the CornBag biopolymer film during freezing and cold storage. The paper introduces a graphoanalytic method of calculation of freezing time.
Conclusion. The new combined freezing method involved vacuum packaging, air-blast subfreezing, and further freezing on a refrigerated plate. The biopolymer film proved suitable for freezing and cold storage of food products. It keeps the product from drying, reduces vitamin losses, and preserves sensory properties. The optimal storage mode was –18°C, the maximum storage time – 6 months. The improved freezing technology combined freezing method with convective air-blasting and contact freezing on a refrigerated plate for products pre-packaging in a biopolymer vacuum bag. The optimal freezing parameters: temperature = –40°C, time = 85 min, rate = 1.33 cm/h.

Keywords. Meat, crystallization, meat drying, fat fraction, bacterial insemination, packaging, biopolymers, freezing, forcemeat

Funding. The research was performed on the premises of the Kemerovo State University (KemSU).

For citation: Korotkiy IA, Korotkaya EV, Raschepkin AN, Sakhabutdinova GF. Frozen Meat-Containing Semi-Finished Minced Products: Biopolymer Packaging Materials. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):6–16. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-6-16.

Введение

Мясные продукты относятся к скоропортящимся. Для увеличения их срока хранения и использования в течение года, независимо от сезона, требуется специальная обработка [1]. Охлаждение и аэробное хранение мяса не исключает микробиологической порчи продукта [2]. Консервирование холодом (замораживание) является наиболее эффективным при обработке и хранении мяса и мясопродуктов, т. к. позволяет скомпенсировать сезонность производства продукции животного происхождения, сохраняя ее биологическую и пищевую ценность в течение длительного времени. Данный способ консервирования является распространенным и экономичным, вызывает минимальные изменения первоначальных свойств пищевого сырья, позволяет предотвратить порчу, сохранить пищевую ценность и потребительские характеристики.

В основе консервирования замораживанием лежат принципы анабиоза: происходит замедление биохимической активности тканевых ферментов и подавление деятельности микроорганизмов [3–6]. Окисление липидов и белков – обычное явление в мясных охлажденных продуктах, приводящее к образованию гидропероксидов, запускающих реакции разложения и образования нежелательных летучих соединений (альдегиды, кетоны, кислоты и спирты). Взаимодействие пигмента мяса с кислородом воздуха приводит к окислению миоглобина до оксимиоглобина и метмиоглобина, а также изменению внешнего вида мясного сырья [3]. При замораживании ферментативный гидролиз белков в животном сырье замедляется при температуре –18 °С. Понижение температуры до –25 °С приводит к уменьшению его скорости и окислению тканевых липидов. При замораживании мяса и мясопродуктов ниже криоскопической точки начинается процесс фазового перехода воды в лед. На распределение кристаллов льда в мясе и их размер влияют условия замораживания, а также состав и свойства сырья [7]. При длительном холодильном хранении происходит рекристаллизация, испарение и сублимация воды, обезвоживание и усушка мяса с поверхности. Это вызывает изменения в жировой и мышечной тканях и снижает органолептические характеристики мясных продуктов [5, 6, 8].

Вышеизложенные процессы, оказывающие отрицательное воздействие на качественные показатели мясных рубленых полуфабрикатов, можно уменьшить, замораживая уже упакованные

полуфабрикаты. Для обеспечения максимально возможного сохранения качества полуфабрикатов используемые упаковочные материалы должны обеспечивать минимальные потери массы при хранении (усушку), т. е. обладать низким уровнем влагопроницаемости. Другое важное требование, которое предъявляется к материалам для упаковки замороженных продуктов, – это газонепроницаемость. Для снижения активности окислительных процессов, вызывающих ухудшение потребительских свойств, необходимо ограничить доступ кислорода к поверхности продукции [9]. С этой целью используют умеренное электрическое поле в сочетании с модифицированной газовой средой в качестве наполнителя упаковки, основными компонентами которой являются кислород и углекислый газ [10]. Для подавления жизнедеятельности микроорганизмов применяется «активная» упаковка, имеющая в составе нанокомпоненты, способные продлить срок годности мясных полуфабрикатов [11–13].

Использование биополимеров, а также «съедобных» пленок из растительных компонентов позволяет снизить негативное влияние на окружающую среду [14, 15]. В статье S. Jeong и др. разработаны многофункциональные биоразлагаемые пленки с использованием метабисульфита натрия в качестве активного соединения наряду с поликапролактоном [16]. Такая пленка обладает антиоксидантными и антимикробными свойствами, а также способна сохранять кислород в упаковке. Однако существует вероятность, что наночастицы, вводимые в упаковку с целью повысить срок годности продуктов, способны мигрировать в упакованный продукт [17]. В настоящее время применение биополимеров в упаковке ограничено, т. к. не достаточно изучено их поведение при низкотемпературном воздействии и долгосрочном хранении продуктов.

Низкотемпературная обработка способна значительным образом повлиять на качество мясных полуфабрикатов. Поэтому крайне важно контролировать процесс замораживания и правильно подобрать холодильное оборудование. L. Cheng с соавторами экспериментально исследовал и математически смоделировал процессы тепло- и массообмена замораживания под высоким давлением, а также ультразвукового, электрического, магнитного и микроволнового замораживания [18]. В работе J.-C. Xu и др. предложена технология «умного» замораживания. Она включает в себя новые интеллектуальные технологии и концепции, применяемые для предварительной обработки замороженного продукта, процессов замораживания, логистики холодовой цепи, а также управления складом [19]. Технология позволяет в режиме реального времени контролировать качество в процессе замораживания, повысить качество продукции и эффективность замораживания с целью оптимизации времени и температуры процесса.

Однако вышеперечисленные модели замораживания не учитывают разнородность свойств мясных рубленых полуфабрикатов. Они не подходят для прогнозирования процессов с учетом наличия растительной составляющей в мясной оболочке (зразе), а также наличие и поведение упаковки при замораживании.

Как показал обзор литературных источников, изучение технологии замораживания и низкотемпературного хранения мясных рубленых полуфабрикатов не достаточно освящено мировым научным сообществом и требует тщательной доработки с учетом свойств компонентов полуфабрикатов. В связи с этим целью настоящей работы было определение оптимальных условий замораживания мясных рубленых полуфабрикатов с овощной начинкой в биополимерной упаковке.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлись рубленые мясные полуфабрикаты с овощной начинкой – зразы. Для приготовления мясного фарша использовали мясо говядины I сорта, лук и специи. Компонентами для овощной начинки стали: морковь, лук репчатый, корень петрушки, корень сельдерея, чеснок и укроп.

Для упаковки мясных полуфабрикатов были использованы пакеты из биополимерной пленки «CornBag» (компания «Olive Green Pte Ltd», Сингапур), изготовленные из Ориго (крахмал из кукурузы и батата), и пакеты из биаксиально ориентированной полипропиленовой пленки (БОПП).

Тесты для определения физических свойств пленок проводились на разрывной машине марки «XLW(M)» (ООО «Labthink Instruments Co», Китай). Технические характеристики разрывной машины представлены в таблице 1. Погрешность измерений составляет 1 % от точности измеренных данных.

Для тестирования на разрывной машине использовали образцы биополимерной и полипропиленовой пленок шириной 20 мм, длиной 200 мм, толщиной 0,002 мм. Расстояние между зажимами разрывной машины 110 мм. Скорость удаления верхнего зажима относительно нижнего 300 мм/мин. Предварительно заготовленный образец устанавливали между двумя захватами, которые движутся в соответствующем направлении во время теста. Изменения сигналов силы и изменения положения отдельно записываются с помощью динамометра, закрепленного на подвижном захвате, и встроенного датчика перемещения. Значения прочности на растяжение, прочности на разрыв и скорости деформации рассчитывали с помощью персона-

Таблица 1. Технические характеристики автоматической разрывной машины «XLW(M)»

Table 1. Specifications of the automatic XLW(M) tension tester

Параметр	Значение
Силоизмерительный датчик, Н	300
Скорость растяжения, мм/мин	50–500
Ход траверса, мм	600
Давление газа, МПа	0,5–0,7
Габаритные размеры, мм	450×580×1100

льного программного обеспечения автоматической разрывной машины.

Органолептические характеристики мясных рубленых полуфабрикатов в свежем и замороженном состоянии оценивали в соответствии с разработанной методикой оценки органолептических показателей с помощью 5-балльной системы на основании ГОСТ 32951-2014.

Содержание витамина Е определяли по ГОСТ 32307-2013 с помощью высоэффективного жидкостного хроматографа. Содержание витаминов С, B_6, каротина определялось по ГОСТ 24556-89, ГОСТ 13496.17-95 и Р.4.1.1672-03.

Микробиологические исследования количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) и количества бактерий группы кишечных палочек (БГКП) определяли по ГОСТ 10444.15-94 и ГОСТ Р 52816-2007.

Теплофизические свойства свежих и замороженных мясных полуфабрикатов определяли первым буферным методом двух температурно-временных интервалов.

Измерение температуры мясных полуфабрикатов осуществляли с помощью хромель-копелевых термопреобразователей (термопар), аналогового измерительного модуля ввода «МВА8», аналогового цифрового преобразователя «АС-4» («ОВЕН», Россия). Данные об измеряемых температурах записывались в памяти персонального компьютера в формате .log. Затем информация переносилась в Microsoft Excel для обработки результатов.

Для замораживания использовали лабораторный стенд, разработанный нами (рис. 1). На поверхность и в центр продукта устанавливаются термопары, которые сообщаются с приборами и средствами измерения температуры. Продукт размещали в туннелях *9* и *10* в зависимости от используемого способа замораживания. Холодильный ларь герметично закрывали, включали вентилятор (мощность 17 Вт), установленный на соответствующем туннеле. По достижении заданной температуры в центре продукта вентилятор отключали. Температурные режимы замораживания задаются на контроллере «Comfort» морозильного ларя [20].

Для моделирования процесса быстрого замораживания мясных полуфабрикатов в вакуумированном биополимерном пакете в экспериментальных

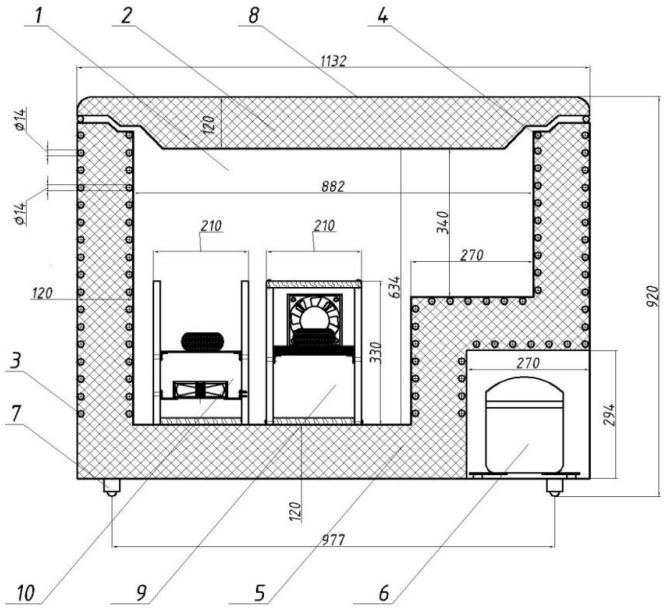


Рисунок 1. Лабораторный стенд: *1* – внутренняя камера; *2* – крышка холодильного ларя; *3* – конденсатор; *4* – испаритель; *5* – изоляционный слой; *6* – компрессор; *7* – колесная опора; *8* – корпус; *9* – туннель с металлическими плитами; *10* – туннель с металлической решеткой

Figure 1. Laboratory stand: *1* – inner chamber; *2* – cooling chest cover; *3* – capacitor; *4* – evaporator; *5* – insulating layer; *6* – compressor; *7* – wheel support; *8* – case; *9* – tunnel with metal plates; *10* – tunnel with metal grating

исследованиях использовали термоусадочные полипропиленовые пакеты для удобства установки термопар в центр продукта и на его поверхность. Для упаковывания под вакуумом мясных рубленых полуфабрикатов использовали однокамерную вакуумную машину «V110RP» («Elega», Китай). Для термоусадки полипропиленовой упаковки – термоусадочную настольную машину «MINIMA EVO» («Minipack-Torre», Италия).

Результаты и их обсуждение

Замораживание мясных рубленых полуфабрикатов осуществляется при температурах ниже –20 °С. В связи с этим были проведены исследования возможности применения пакетов «CornBag» для замораживания пищевых продуктов при температурах –20, –40 и –60 °С, что значительно ниже рекомендуемого производителем диапазона (от –20 до 40 °С). Пакеты хранили при указанных температурных режимах в течение 1, 2 и 3 месяцев. Результаты экспериментальных определений прочности на разрыв $\sigma_{экс.}$ (МПа) и растяжение $\xi_{экс.}$ (%) (табл. 2) были обработаны с помощью корреляционно-регрессионного анализа в Microsoft Excel. Были получены уравнения (1) и (2), описывающие изменения этих показателей в зависимости от времени n, месяца и температуры хранения t (°С).

$$\sigma = \sigma_0 + 0{,}42 \cdot t - 12{,}02 \cdot n \quad (1)$$

$$\xi = \xi_0 + 0{,}376 \cdot t - 10{,}53 \cdot n \quad (2)$$

где σ_0 = 475,72 МПа – начальная прочность на разрыв пленки при t = 0 °С; ξ_0 = 415,67 % – начальное удлинение пленки при t = 0 °С.

Полученные уравнения позволили построить поверхности отклика, показывающие изменения прочности на разрыв и растяжение в процессе хранения пленки при низких температурах (рис. 2, 3).

Таблица 2. Сравнение экспериментальных и расчетных значений прочностных показателей биополимерной пленки

Table 2. Experimental and calculated values of strength indicators of the biopolymer film

$\xi_{экс.}$, %	$\xi_{р.}$, %	Δ ξ, %	$\sigma_{экс.}$, МПа	$\sigma_{р.}$, МПа	Δ σ, %
Относительное удлинение			Прочность при разрыве		
405,13	414,45	2,30	479,74	474,10	1,17
388,50	403,92	3,97	470,63	462,08	1,81
385,37	393,38	2,08	443,68	450,06	1,46
402,44	406,92	1,11	470,51	465,56	1,05
384,25	396,39	3,16	463,80	453,54	2,21
381,44	385,86	1,16	421,54	441,52	4,75
393,89	399,40	1,40	468,62	457,03	2,47
379,54	388,87	2,46	430,99	445,01	3,27
367,48	378,33	2,95	426,79	432,99	1,47
Средняя погрешность, %		2,30	Средняя погрешность, %		2,18

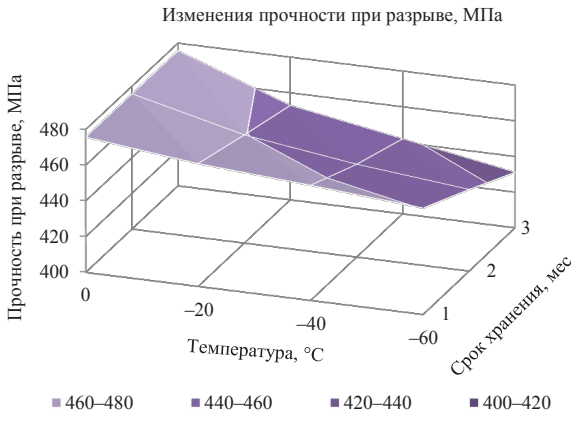


Рисунок 2. Зависимость прочности на разрыв биополимерной пленки от температуры и времени хранения

Figure 2. Effect of temperature and storage time on the strength of the biopolymer film

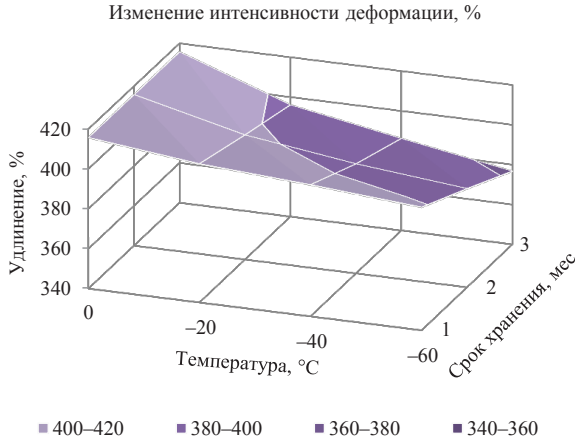


Рисунок 3. Зависимость удлинения биополимерной пленки от температуры и времени хранения

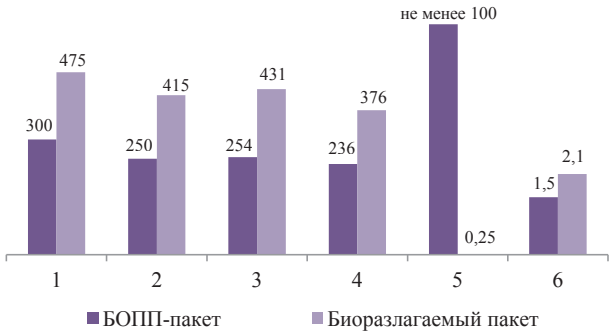
Figure 3. Effect of temperature and storage time on the elongation of the biopolymer film

Сравнение экспериментальных ($\xi_{экс.}$ и $\sigma_{экс.}$) значений физических показателей биополимерной пленки и их расчетных значений (ξ_p и σ_p), полученных при помощи регрессионных уравнений (1) и (2), приведены в таблице 2.

Исследование низкотемпературного воздействия на такие физические свойства биополимерной пленки, как прочность на разрыв и растяжение, показало, что значения прочностных характеристик уменьшились менее чем на 10 % при температуре хранения –60 °С в течение 3 месяцев. Это свидетельствует о том, что низкотемпературное воздействие не оказало существенного влияния на прочностные характеристики биополимерной пленки. Следовательно, биополимерные пакеты «CornBag» могут быть использованы для упаковки, замораживания в диапазоне температур от –20 до –60 °С и последующего низкотемпературного хранения в течение 6 месяцев пищевых продуктов, в частности мясных рубленых полуфабрикатов.

Согласно данным, приведенным в таблице 2, экспериментальные и расчетные значения прочностных характеристик биополимерной пленки отличаются незначительно, средняя погрешность составила менее 3 %. Следовательно, полученные на основе корреляционно-регрессионного анализа уравнения (1) и (2), описывающие изменения прочностных характеристик биополимерной пленки в зависимости от температуры и времени хранения, могут быть использованы для предсказания значений этих характеристик в заданном температурном и временном диапазонах.

Проведен сравнительный анализ свойств биополимерной и БОПП пленок (рис. 4). Его



1 – прочность при разрыве, Мпа; 2 – относительное удлинение, %; 3 – прочность при разрыва после хранения при t = –60 °С в течение 3 мес, Мпа; 4 – относительное удлинение при хранении при t = –60 °С в течение 3 мес, %; 5 – срок разложения при компостировании, лет; 6 – цена пакета, руб.

Рисунок 4. Сравнительный анализ свойств биополимерной и БОПП-пленок

Figure 4. Biopolymer film vs. biaxially oriented polypropylene film

Таблица 3. Скорость замораживания мясных полуфабрикатов

Table 3. Freezing speed of meat-containing semi-finished products

Способ замораживания	Скорость замораживания, см/час	
	–30 °С	–40 °С
Конвективный	0,59	0,59
Контактный	0,83	0,83
Комбинированный	0,77	0,77

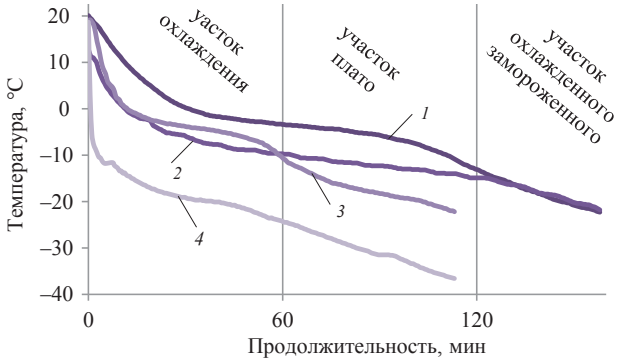
результаты показали, что биополимерная пленка превосходит биаксиально ориентированную полипропиленовую пленку по прочностным характеристикам. Также биополимерная пленка наносит меньший вред окружающей среде, т. к. срок ее разложения в 400 раз меньше, чем у полипропиленовой пленки.

На следующем этапе исследований сформированные мясные рубленые полуфабрикаты (зразы) помещали в биополимерный пакет, вакуумировали и сваривали. Затем упакованную порцию зраз замораживали при двух температурных режимах: –30 и –40 °С. Замораживание осуществляли 3 способами: конвективным в потоке воздуха, контактным на металлической плите и комбинированным, включающим предварительное подмораживание в потоке восходящего воздуха и окончательное домораживание на металлической плите. Скорости замораживания рубленых мясных полуфабрикатов при двух температурных режимах приведены в таблице 3.

Согласно данным таблицы 3 наибольшая скорость замораживания была отмечена при контактном способе. Однако данный способ имеет недостаток: даже незначительное содержание влаги на упаковке перед замораживанием приводит к прилипанию упаковки к поверхности плиты. Избежать этого можно, используя комбинированный способ замораживания, который был нами использован для проведения дальнейших исследований.

Проведены экспериментальные исследования, направленные на определение рациональных технологических параметров замораживания мясных рубленых полуфабрикатов новым комбинированным способом. На рисунке 5 представлены графические зависимости изменения температуры мясных рубленных полуфабрикатов от времени при температурах замораживания –30 и –40 °С.

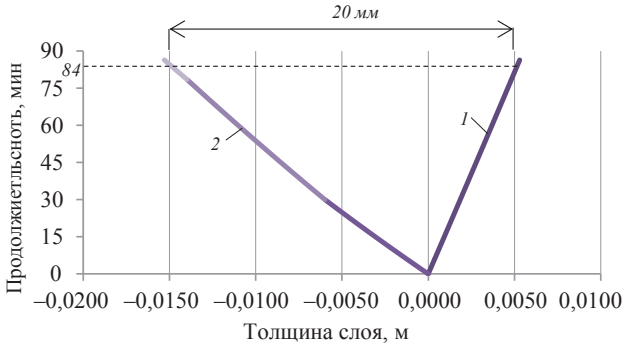
Представленная на рисунке 5 кривая замораживания зраз комбинированным способом представляет собой зависимость значений температуры на поверхности и в центре упакованной зразы от продолжительности низкотемпературной обработки и состоит из трех участков, которые характеризуют стадии замораживания. Рассмотрим кривую 1, сравнивая характер ее изменения со



1 – при t = –30 °С в центре продукта; *2* – при t = –30 °С на поверхности плиты; *3* – при t = –40 °С в центре продукта; *4* – при t = –40 °С на поверхности плиты

Рисунок 5. Кривые замораживания мясных рубленных полуфабрикатов комбинированным способом

Figure 5. Freezing curves of meat-containing semi-finished minced products frozen by the combined method



1 – замораживание слоя в потоке воздуха
2 – замораживание слоя на металлической плите

Рисунок 6. График определения продолжительности замораживания комбинированным способом

Figure 6. Freezing time graph for the combined freezing method

стандартным графиком замораживания пищевых продуктов. На первой стадии замораживания в течение 40 мин происходит охлаждение продукта, сопровождающееся интенсивным понижением его температуры. Второй участок (длительность около 1 ч) характеризуется незначительным понижением температуры в пределах 10 °С, что соответствует участку под названием «плато». На этой стадии происходит интенсивная кристаллизация влаги, содержащейся в зразах. На третьей стадии (длительность около 1 ч) происходит охлаждение замороженных зраз, сопровождающееся кристаллизацией незначительного количества влаги, связанной физико-химически. При температурном режиме –40 °С в холодильной камере продолжительность замораживания составила 85 мин (кривые 3 и 4), скорость замораживания – 1,33 см/ч.

По результатам экспериментальных исследований нами была предложена графоаналитическая методика расчета продолжительности замораживания мясных рубленых полуфабрикатов комбинированным способом. Она основана на представлении о перемещении границы раздела между отвердевшей и жидкой фазами от периферии вглубь тела по мере отвода теплоты от его поверхностей (рис. 6). При расчетах учитывали, что овощная начинка толщиной 8 мм окружена слоем говяжьего фарша толщиной 6 мм. Толщина упакованной зразы составляет 20 мм. Нижний слой зразы в пакете будет заморожен за счет отдачи тепла металлической плите, верхний слой – за счет отдачи теплоты горизонтальному потоку холодного воздуха со скоростью около 1,5 м/с. Процесс замораживания зразы в упаковке закончится тогда, когда границы верхнего и нижнего слоев соприкоснутся, т. е. мясной комбинированный полуфабрикат будет полностью заморожен. Расчет толщины этих двух слоев и время необходимое для их замораживания проводили, используя уравнение Планка.

Предложенная нами графоаналитическая методика расчета продолжительности замораживания (рис. 6) позволила рассчитать время замораживания мясных рубленых полуфабрикатов (зраз) комбинированным способом. Продолжительность замораживания, полученная расчетным путем, составила 84 мин (рис. 6), что соответствует экспериментальным данным (рис. 5, кривые 3 и 4). Толщина слоя рубленого мясного полуфабриката, замерзшего в результате нахождения в потоке холодного воздуха, составила 5 мм; слоя, замерзшего в результате нахождения на металлической плите, – 15 мм (рис. 6).

Проводили сравнительный анализ органолептических характеристик зраз замороженных без упаковки и упакованных в биополимерную пленку. Исследуемым образцам были присвоены номера: 1 – замораживание упакованных полуфабрикатов при –30 °С; 2 – замораживание упакованных полуфабрикатов при –40 °С; 3 – замораживание неупакованных полуфабрикатов при –30 °С; 4 – замораживание неупакованных полуфабрикатов при –40 °С. Замороженные зразы хранили в течение 6 месяцев при температуре –18 °С. Согласно полученным баллам была построена линейная диаграмма, отражающая органолептическую оценку всех образцов (рис. 7). Анализ органолептических характеристик мясных рубленых полуфабрикатов, замороженных в различных условиях, показал, что высокие дегустационные оценки имеют зразы, подвергнутые замораживанию при температурном режиме –40 °С комбинированным способом с предварительным упаковыванием в биополимерную



Рисунок 7. Органолептическая оценка качества зраз с овощной начинкой

Figure 7. Sensory evaluation of the quality of the zrazy meat balls with vegetable filling

пленку (рис. 7). Самые низкие оценки получили зразы, которые замораживали при –30 °С контактным способом без упаковки. Зразы, замороженные и хранящееся в упаковке, не были подвержены усушке, а окисление липидной фракции происходило в них медленнее, что согласуется с данными [21]. Таким образом, упаковывание мясных полуфабрикатов перед замораживанием позволяет получать продукт с более высокими органолептическими характеристиками. Как отмечает M. Dalvi-Isfahan и его соавторы, температура замораживания оказывает влияние на морфологию кристаллов льда (размер, количество кристаллов, их форма и распределение), что влияет на микроструктуру замороженных продуктов [7]. При –40 °С образовавшиеся кристаллы льда в продукте имеют более мелкую структуру. Это способствует меньшему повреждению клеточной структуры фарша и овощной начинки, улучшению процесса замораживания, а также повышает органолептические характеристики замороженного продукта [22].

Сравнивали содержание витамина С, B_6, Е и каротина в зразах с овощной начинкой до замораживания, после низкотемпературного хранения в образцах упакованных в биополимерную пленку до начала замораживания и в образцах, подвергнутых низкотемпературному воздействию и хранению без упаковки (табл. 4).

Согласно полученным данным упаковывание зраз в биополимерную пленку позволяет снизить потери как водорастворимых витаминов (С и B_6), так и жирорастворимых (Е и β-каротина). Так потери витаминов Е, B_6, С и β-каротина в зразах, замороженных комбинированным способом и хранившихся при температуре –18 °С в течение 6 месяцев в вакуумной упаковке, не превышали 13 %. Это в два раза меньше, чем в зразах замороженных и хранившихся в таких же условиях без упаковки.

Таким образом, использование биополимерной вакуумированной упаковки позволяет надежно защитить продукт от потери влаги, снизить потери витаминов при хранении и максимально сохранить его органолептические характеристики.

Выводы

Разработана усовершенствованная технология низкотемпературного консервирования и длительного хранения мясных рубленых полуфабрикатов комбинированным способом, упакованных в биополимерную пленку. Она отличается следующими преимуществами: отсутствием усушки продукта, минимизацией бактериальной обсемененности и сохранением органолептических свойств. Установлено, что уменьшение прочностных характеристик (прочность на разрыв и растяжение) биополимерной пленки «CornBag», хранившейся при температуре –60 °С в течение 3 месяцев, составило менее 10 %. Это свидетельствует о возможности ее применения для замораживания и низкотемпературного хранения пищевых продуктов, в том числе мясных рубленых полуфабрикатов.

Разработан комбинированный способ замораживания мясных рубленых полуфабрикатов в биополимерной пленке, включающий предварительное подмораживание упакованного в вакууме продукта на сетчатой подложке и окончательное

Таблица 4. Содержание витаминов в зразах с овощной начинкой

Table 4. Vitamin content in the zrazy meat balls with vegetable filling

Наименование	Содержание витамина до замораживания, мг/100 г	Содержание витамина после низкотемпературного хранения в вакуумной упаковке, мг/100 г	Содержание витамина после низкотемпературного хранения без вакуумной упаковки, мг/100 г	Потери витамина после низкотемпературного хранения в вакуумной упаковке, %	Потери витамина после низкотемпературного хранения без вакуумной упаковки, %
витамин С	30,63	26,66	22,75	12,90	24,9
β-каротин	2,84	2,58	2,18	9,15	23,2
витамин B_6	0,49	0,45	0,41	8,33	16,3
витамин Е	0,47	0,43	0,38	9,14	19,1

домораживание на металлической охлаждаемой плите, исключающий примерзание и повреждение упаковки при отделении от плиты.

Разработана графоаналитическая модель замораживания мясных рубленых полуфабрикатов. Подобран режим низкотемпературной обработки и хранения упакованных в биополимерную пленку мясных рубленных полуфабрикатов комбинированным способом. Условия замораживания: температура –40 °С, продолжительность 85 мин, скорость 1,33 см/ч. Температура хранения –18 °С.

Критерии авторства

Е. В. Короткая и А. Н. Расщепкин – аналитический обзор литературы, написание и общая редакция рукописи. И. А. Короткий – методология и организация исследований. Г. Ф. Сахабутдинова – получение фактического материала.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

E.V. Korotkaya and A.N. Raschepkin reviewed related scientific publications, wrote and proofread the manuscript. I.A. Korotkiy developed the methodology and organized the research. G.F. Sakhabutdinova was responsible for obtaining factual material.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Zeisel, S. H. Precision (personalized) nutrition: understanding metabolic heterogeneity / S. H. Zeisel // Annual Review of Food Science and Technology. – 2020. – Vol. 11. – P. 71–92. https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051736.

2. The predominance of psychrotrophic pseudomonads on aerobically stored chilled red meat / N. N. Wickramasinghe, J. Ravensdale, R. Coorey [et al.] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2019. – Vol. 18, № 5. – P. 1622–1635. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12483.

3. Essential oils as natural additives to prevent oxidation reactions in meat and meat products: A review / M. Pateiro, F. J. Barba, R. Domínguez [et al.] // Food Research International. – 2018. – Vol. 113. – P. 156–166. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.014.

4. Ullah, J. Effect of temperature fluctuations on ice-crystal growth in frozen potatoes during storage / J. Ullah, P. S. Takhar, S. S. Sablani // LWT – Food Science and Technology. – 2014. – Vol. 59, № 2. – P. 1186–1190. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.018.

5. Effect of dynamic storage temperatures on the microstructure of frozen carrot imaged using X-ray micro-CT / V. Vicent, F.-T. Ndoye, P. Verboven [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2019. – Vol. 246. – P. 232–241. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.015.

6. Colorimetric aptasensor for detecting *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, and *Escherichia coli* in meat samples / S. Ledlod, S. Areekit, S. Santiwatanakul [et al.] // Food Science and Technology International. – 2020. – Vol. 26, № 5. – P. 430–443. https://doi.org/10.1177/1082013219899593.

7. Review on identification, underlying mechanisms and evaluation of freezing damage / M. Dalvi-Isfahan, P. K. Jha, J. Tavakoli [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2019. – Vol. 255. – P. 50–60. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.011.

8. Meat color is determined not only by chromatic heme pigments but also by the physical structure and achromatic light scattering properties of the muscle / J. M. Hughes, F. M. Clarke, P. P. Purslow [et al.] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2020. – Vol. 19, № 1. – P. 44–63. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12509.

9. Plant polyphenols as antioxidant and antibacterial agents for shelf-life extension of meat and meat products: classification, structures, sources, and action mechanisms / C. Papuc, G. V. Goran, C. N. Predescu [et al.] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2017. – Vol. 16, № 6. – P. 1243–1268. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12298.

10. Effects of the combination of moderate electric field and high-oxygen modified atmosphere packaging on pork meat quality during chill storage / H. Hu, L. Zhang, L. Lu [et al.] // Journal of Food Processing and Preservation. – 2020. – Vol. 44, № 1. https://doi.org/10.1111/jfpp.14299.

11. Basavegowda, N. Bimetallic and trimetallic nanoparticles for active food packaging applications: A review / N. Basavegowda, T. K. Mandal, K.-H. Baek // Food and Bioprocess Technology. – 2020. – Vol. 13, № 1. – P. 30–44. https://doi.org/10.1007/s11947-019-02370-3.

12. Improved mechanical and antibacterial properties of active LDPE films prepared with combination of Ag, ZnO and CuO nanoparticles / S. Dehghani, S. H. Peighambardoust, S. J. Peighambardoust [et al.] // Food Packaging and Shelf Life. – 2019. – Vol. 22. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100391.

13. The use of nanoadditives within recycled polymers for food packaging: Properties, recyclability, and safety / C. López de Dicastillo, E. Velásquez, A. Rojas [et al.] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2020. – Vol. 19, № 4. – P. 1760–1776. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12575.

14. Active antibacterial food coatings based on blends of succinyl chitosan and triazole betaine chitosan derivatives / A. S. Kritchenkov, A. R. Egorov, O. V. Volkova [et al.] // Food Packaging and Shelf Life. – 2020. – Vol. 25. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100534.

15. Polymers and biopolymers with antiviral activity: Potential applications for improving food safety / W. Randazzo, M. J. Fabra, I. Falcó [et al.] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2018. – Vol. 17, № 3. – P. 754–768. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12349.

16. Characterization of multi-functional, biodegradable sodium metabisulfite-incorporated films based on polycarprolactone for active food packaging applications / S. Jeong, H.-G. Lee, C. H. Cho [et al.] // Food Packaging and Shelf Life. – 2020. – Vol. 25. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100512.

17. Critical evaluation of migration studies of silver nanoparticles present in food packaging: a systematic review / L. D. O. Morais, E. V. Macedo, J. M. Granjeiro [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2020. – Vol. 60, № 18. – P. 3083–3102. https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1676699.

18. Emerging techniques for assisting and accelerating food freezing processes: a review of recent research progresses / L. Cheng, D.-W. Sun, Z. Zhu [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2017. – Vol. 57, № 4. – P. 769–781. https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1004569.

19. Recent developments in smart freezing technology applied to fresh foods / J.-C. Xu, M. Zhang, A. S. Mujumdar [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2017. – Vol. 57, № 13. – P. 2835–2843. https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1074158.

20. Improved freezing technology of minced meat products in biopolymer packaging material / I. A. Korotkiy, E. V. Korotkaya, A. N. Rasshchepkin [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2020. – Vol. 15, № 21. – P. 2547–2554.

21. Mechanisms of oxidative processes in meat and toxicity induced by postprandial degradation products: A review / C. Papuc, G. V. Goran, C. N. Predescu [et al.] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2017. – Vol. 16, № 1. – P. 96–123. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12241.

22. Santhi, D. Factors influencing meat emulsion properties and product texture: A review / D. Santhi, A. Kalaikannan, S. Sureshkumar // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2017. – Vol. 57, № 10. – P. 2021–2027. https://doi.org/10.1080/10408398.2013.858027.

References

1. Zeisel SH. Precision (personalized) nutrition: understanding metabolic heterogeneity. Annual Review of Food Science and Technology. 2020;11:71–92. https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051736.

2. Wickramasinghe NN, Ravensdale J, Coorey R, Chandry SP, Dykes GA. The predominance of psychrotrophic pseudomonads on aerobically stored chilled red meat. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2019;18(5):1622–1635. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12483.

3. Pateiro M, Barba FJ, Domínguez R, Sant'Ana AS, Mousavi Khaneghah A, Gavahian M, et al. Essential oils as natural additives to prevent oxidation reactions in meat and meat products: A review. Food Research International. 2018;113:156–166. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.014.

4. Ullah J, Takhar PS, Sablani SS. Effect of temperature fluctuations on ice-crystal growth in frozen potatoes during storage. LWT – Food Science and Technology. 2014;59(2):1186–1190. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.018.

5. Vicent V, Ndoye F-T, Verboven P, Nicolaï B, Alvarez G. Effect of dynamic storage temperatures on the microstructure of frozen carrot imaged using X-ray micro-CT. Journal of Food Engineering. 2019;246:232–241. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.015.

6. Ledlod S, Areekit S, Santiwatanakul S, Chansiri K. Colorimetric aptasensor for detecting *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, and *Escherichia coli* in meat samples. Food Science and Technology International. 2020;2(5):430–443. https://doi.org/10.1177/1082013219899593.

7. Dalvi-Isfahan M, Jha PK, Tavakoli J, Daraei-Garmakhany A, Xanthakis E, Le-Bail A. Review on identification, underlying mechanisms and evaluation of freezing damage. Journal of Food Engineering. 2019;255:50–60. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.011.

8. Hughes JM, Clarke FM, Purslow PP, Warner RD. Meat color is determined not only by chromatic heme pigments but also by the physical structure and achromatic light scattering properties of the muscle. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2020;19(1):44–63. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12509.

9. Papuc C, Goran GV, Predescu CN, Nicorescu V, Stefan G. Plant polyphenols as antioxidant and antibacterial agents for shelf-life extension of meat and meat products: classification, structures, sources, and action mechanisms. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2017;16(6):1243–1268. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12298.

10. Hu H, Zhang L, Lu L, Huang F, Chen W, Zhang C, et al. Effects of the combination of moderate electric field and high-oxygen modified atmosphere packaging on pork meat quality during chill storage. Journal of Food Processing and Preservation. 2020;44(1). https://doi.org/10.1111/jfpp.14299.

11. Basavegowda N, Mandal TK, Baek K-H. Bimetallic and trimetallic nanoparticles for active food packaging applications: A review. Food and Bioprocess Technology. 2020;13(1):30–44. https://doi.org/10.1007/s11947-019-02370-3.

12. Dehghani S, Peighambardoust SH, Peighambardoust SJ, Hosseinic SV, Regensteind JM. Improved mechanical and antibacterial properties of active LDPE films prepared with combination of Ag, ZnO and CuO nanoparticles. Food Packaging and Shelf Life. 2019;22. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100391.

13. López de Dicastillo C, Velásquez E, Rojas A, Guarda A, Galotto MJ. The use of nanoadditives within recycled polymers for food packaging: Properties, recyclability, and safety. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2020;19(4):1760–1776. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12575.

14. Kritchenkov AS, Egorov AR, Volkova OV, Zabodalova LA, Suchkova EP, Yagafarov NZ, et al. Active antibacterial food coatings based on blends of succinyl chitosan and triazole betaine chitosan derivatives. Food Packaging and Shelf Life. 2020;25. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100534.

15. Randazzo W, Fabra MJ, Falcó I, López-Rubio A, Sánchez G. Polymers and biopolymers with antiviral activity: Potential applications for improving food safety. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2018;17(3):754–768. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12349.

16. Jeong S, Lee H-G, Cho CH, Yoo S. Characterization of multi-functional, biodegradable sodium metabisulfite-incorporated films based on polycarprolactone for active food packaging applications. Food Packaging and Shelf Life. 2020;25. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100512.

17. Morais LDO, Macedo EV, Granjeiro JM, Delgado IF. Critical evaluation of migration studies of silver nanoparticles present in food packaging: a systematic review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020;60(18):3083–3102. https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1676699.

18. Cheng L, Sun D-W, Zhu Z, Zhang Z. Emerging techniques for assisting and accelerating food freezing processes: a review of recent research progresses. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2017;57(4):769–781. https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1004569.

19. Xu J-C, Zhang M, Mujumdar AS, Adhikari B. Recent developments in smart freezing technology applied to fresh foods. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2017;57(13):2835–2843. https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1074158.

20. Korotkiy IA, Korotkaya EV, Rasshchepkin AN, Sakhabutdinova GF. Improved freezing technology of minced meat products in biopolymer packaging material. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2020;15(21):2547–2554.

21. Papuc C, Goran GV, Predescu CN, Nicorescu V. Mechanisms of oxidative processes in meat and toxicity induced by postprandial degradation products: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2017;16(1):96–123. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12241.

22. Santhi D, Kalaikannan A, Sureshkumar S. Factors influencing meat emulsion properties and product texture: A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2017;57(10):2021–2027. https://doi.org/10.1080/10408398.2013.858027.

2021 Т. 51 № 1 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-17-28
УДК 637.146

Оригинальная статья
http://fptt.ru

Технологические особенности производства синбиотического кисломолочного продукта

Л. М. Захарова*, М. С. Горбунчикова

Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, Кемерово, Россия

Дата поступления в редакцию: 17.11.2020

Дата принятия в печать: 14.12.2020

**e-mail: zaharova_lm@mail.ru*
© Л. М. Захарова, М. С. Горбунчикова, 2021

Аннотация.
Введение. Многие штаммы микроорганизмов, используемые при выработке кисломолочных продуктов, являются антагонистами по отношению к вредной микрофлоре. Комбинация нескольких культур способна усилить бактерицидный эффект. Стимулирующий эффект на рост заквасочной микрофлоры оказывают пребиотики. Целью данной работы стала разработка кисломолочного напитка с использованием многокомпонентной закваски и пребиотика.
Объекты и методы исследования. Чистые штаммы *Bifidobacterium bifidum* штамма № 791 и *Lactobacillus acidophilus* (ВЗ-АП), а также свекловичная клетчатка «Bio-fi Pro WR 400». В работе использовали комплекс общепринятых и стандартных методов исследований.
Результаты и их обсуждение. На первом этапе установили оптимальные соотношения культур *B. bifidum* штамма № 791 и *L. acidophilus* (ВЗ-АП) для двухкомпонентной закваски, а также оптимальный способ ее производства. Определили антибиотическую активность штаммов культур *B. bifidum* штамма № 791, *L. acidophilus* (ВЗ-АП) и двухкомпонентных закваски. Исследовали функционально-технологические свойства пребиотика – свекловичной клетчатки «Bio-fi Pro WR 400» и ее влияние на развитие микроорганизмов закваски. Определили основные параметры производства и предложили технологическую схему производства кисломолочного продукта, сквашенного *B. bifidum* штамма № 791 и *L. acidophilus* (ВЗ-АП) с добавлением свекловичной клетчатки.
Выводы. Разработана технология производства кисломолочного напитка, выработанного с использованием двухкомпонентной закваски и с добавлением пребиотика. По результатам исследований разработана и утверждена техническая документация на кисломолочный продукт.

Ключевые слова. Пробиотик, пребиотик, закваска, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium*, антибиотическая активность, антагонисты

Для цитирования: Захарова, Л. М. Технологические особенности производства синбиотического кисломолочного продукта / Л. М. Захарова, М. С. Горбунчикова // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 17–28. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-17-28.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

A New Synbiotic Fermented Dairy Product: Technological Production Features

Lyudmila M. Zakharova*, Marina S. Gorbunchikova

Kuzbass State Agricultural Academy, Kemerovo, Russia

Received: November 17, 2020

Accepted: December 14, 2020

**e-mail: zaharova_lm@mail.ru*
© L.M. Zakharova, M.S. Gorbunchikova, 2021

Abstract.
*Introductio*n. Many strains used in dairy industry are antagonists of harmful microflora. Logically, a successful combination of several cultures can enhance the bactericidal effect. The present research objective was to develop a fermented milk drink using a prebiotic to stimulate a multicomponent starter culture.
Study objects and methods. The research featured pure strains of *Bifidobacterium bifidum* strain No. 791 and *Lactobacillus acidophilus* (VZ-AP), as well as Bio-fi Pro WR 400 beet fiber. The study involved standard and conventional research methods.
Results and discussion. The first stage defined the optimal ratios of *B. bifidum* and *L. acidophilus* for a two-component starter culture,

as well as the optimal production method and their antibiotic activity. The second stage featured the functional and technological properties of the prebiotic beet fiber and its effect on the development of microorganisms in the starter. The study resulted in the main production parameters and a technological scheme for the production of fermented dairy product.
Conclusion. The paper introduces a new technology for production of a functional fermented milk product fortified with probiotics and prebiotics, as well as approved technical documentation. The new functional fermented dairy product was based on a starter culture that combined a liquid concentrate of *B. bifidum* strain No. 791 and a starter culture of *L. acidophilus* (VZ-AP). The optimal ratio of microbial cultures was 5:1, respectively. The starter strain proved to have a high antibiotic activity. Prebiotic beet fiber Bio-fi Pro WR 400 could be recommended as a product stabilizer at the optimal amount of 0.7% by weight of standardized milk.

Keywords. Probiotic, prebiotic, sourdough, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium*, antibiotic activity, antagonists

For citation: Zakharova LM, Gorbunchikova MS. A New Synbiotic Fermented Dairy Product: Technological Production Features. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):17–28. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-17-28.

Введение

В последнее время особое внимание уделяется разработке и внедрению функциональных продуктов, содержащих микроорганизмы, – пробиотиков. Они одновременно выполняют роль поставщиков пищевых веществ в сбалансированных количествах и оказывают положительное воздействие на системы и функции организма человека.

Большой вклад в разработку научных основ создания продуктов функционального назначения внесли российские ученые. Исследования, выполненные А. В. Гудковым, В. Ф. Семенихиной, Б. В. Коршуновым, И. Б. Куваевой, А. М. Шалыгиной, И. С. Хамагаевой, Н. Б. Гавриловой, В. И. Ганиной, Н. А. Тихомировой и Т. М. Эрвольдер, способствовали накоплению убедительных экспериментальных и клинических материалов по изучению и разработке методов селекции и культивирования бифидобактерий, созданию специальных заквасок, а также различных комбинаций культур микроорганизмов и стимуляторов роста бифидобактерий [1–11].

Уникальное сочетание полезных для здоровья качеств, которыми обладают лакто- и бифидобактерии, делает усиление роста и активности этих микроорганизмов желательным как для лечения ряда заболеваний и функциональных расстройств организма, так и для профилактики возможных патологий. Основным способом повышения численности полезной микрофлоры в кишечнике человека является пероральное введение жизнеспособных клеток этих микроорганизмов, содержащихся в составе кисломолочных продуктов. Однако этот путь не всегда дает стабильное улучшение кишечной микрофлоры, поскольку экзогенные бифидобактерии не успевают закрепиться в кишечнике в условиях жесткой конкуренции за питательные субстраты между многочисленными родами обитающих там микроорганизмов и быстро вымываются после прекращения приема пробиотиков. Поэтому в последние годы интенсивно развивается другое направление: использование синбиотиков – комплекса про- и пребиотиков.

Преимущество использования пребиотиков в том, что они, не подвергаясь гидролизу в верхних отделах желудочно-кишечного тракта, транзитом проходят в толстый отдел кишечника, где и используются бифидо- и лактобактериями в качестве источника углерода и энергии. В результате образуются короткоцепочные органические кислоты, которые, снижая pH кишечника, улучшают его функционирование.

Целью данного исследования стала разработка синбиотического кисломолочного продукта, выработанного с использованием закваски из пробиотических культур и пребиотика.

Многие штаммы, широко используемые в молочной промышленности, являются антагонистами по отношению к вредной микрофлоре и обладают антибиотическим действием, а их комплексное применение (при правильном подборе культур) может привести к отличному результату, т. к. усилит бактерицидный эффект в несколько раз. Пребиотики оказывают стимулирующий эффект на рост заквасочной микрофлоры.

Основными задачами при создании синбиотического кисломолочного продукта являлись: подбор штаммов микроорганизмов, обладающих повышенной кислотообразующей способностью; выбор условий культивирования, позволяющих интенсифицировать размножение и кислотообразование пробиотической микрофлоры; определение дозы пребиотика, способствующей оптимальному процессу роста и размножению *Bifidobacterium bifidum* и *Lactobacillus acidophilus*, интенсификации процесса сквашивания, а также формированию однородной плотной консистенции в готовом продукте.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования применялись пробиотики – чистые штаммы *Bifidobacterium bifidum* штамма № 791 и *Lactobacillus acidophilus* (ВЗ-АП), а также пребиотик – свекловичная клетчатка «Bio-fi Pro WR 400».

При выполнении экспериментов использовали комплекс общепринятых и стандартных методов исследований.

Для установления соотношения культур в двухкомпонентной закваске определяли кислотообразующую способность по ГОСТ Р 54669-2011, концентрации жизнеспособных микроорганизмов и микроскопирование препаратов образцов – по ГОСТ 33924-2016, а также МР 2.3.2.2327-08.

Определение антоганистической активности проводили методом диффузии в агаре.

Установление антибиотической активности проводили методом перпендикулярных штрихов при посеве на плотную среду с выдержкой 72 ч при 37 °С, а также серийных разведений (по Н. А. Красильникову в модификации М. С. Полонской).

Синергетическую способность исследовали посредством метода центрифугирования: 10 $см^3$ сгустка помещают в пробирку и центрифугируют 5 мин с установленной частотой вращения, затем измеряют количество отделившейся сыворотки в градуированной пробирке (значение выражают миллиметров сыворотки в 10 $см^3$, т. е. $см^3/10\ см^3$) и по количеству сыворотки судят о влагоотдаче сгустка.

Титруемую кислотность определяли по ГОСТ Р 54669-2011.

На ротационном вискозиметре «Reotest-2» устанавливали эффективную вязкость (скорость сдвига варьировали в диапазоне от 1,0 до 437,4 $с^{-1}$).

Микробиологические анализы проводили согласно ГОСТ 10444.15-94 и ГОСТ 31747-2012.

Органолептическую оценку заквасок проводили посредством открытых и закрытых дегустаций. Органолептическую оценку кисломолочного продукта проводили по ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011.

Результаты и их обсуждение

Кишечная микрофлора – важная экосистема, необходимая человеку для образования различных биологически активных соединений. Ее необходимость подтверждена во многих трудах [12–17]. Ведущая роль среди нормальной микрофлоры кишечника принадлежит бифидобактериям. Поэтому в качестве составляющей закваски выбрали именно культуру *Bifidobacterium bifidum* штамм № 791. Вторая составляющая закваски – ацидофильная палочка (*Lactobacillus acidophilus* (ВЗ-АП)) – является одним из сильнейших антагонистов патогенной микрофлоры. При выборе культур учитывалось их взаимное влияние между собой (отрицательного воздействия штаммов *B. bifidum* штамма № 791 и *L. acidophilus* (ВЗ-АП) друг на друга не наблюдалось).

На первом этапе определяли оптимальные соотношения культур между собой, а также способ производства двухкомпонентной закваски.

Микроорганизмы для производства комплексной закваски готовили отдельно друг от друга двумя способами. Первый вариант предполагал получение производственных заквасок *B. bifidum* штамма № 791 и *L. acidophilus* (ВЗ-АП) по классической технологии с дальнейшим их сочетанием в соотношении 2:1, 4:1, 6:1, 8:1 и 10:1 соответственно. Второй вариант заключался в выработке производственной закваски ацидофильной палочки, а также оживления бифидобактерий из жидкого концентрата с дальнейшим применением их в многокомпонентной закваске в соотношении 1:1, 2:1, 3:2, 4:1 и 5:1. Для установления оптимального соотношения штаммов определяли кислотообразующую способность, количество жизнеспособных клеток в двухкомпонентной закваске, а также проводили исследование микроскопических препаратов (табл. 1).

В ходе исследования выяснено, что активный рост ацидофильной палочки приводит к повышенному кислотообразованию и угнетению жизнедеятельности бифидобактерий, что подтверждено микроскопическими исследованиями. Так, например, при соотношении 2:1 в первом варианте получения закваски и 1:1 при получении закваски по второму варианту в мазках преобладают *L. acidophilus* и наблюдаются только немногочисленные клетки бифидобактерий в виде изогнутых полиморфных палочек с бифуркацией на концах. Соотношения 10:1 и 5:1 в первом и втором варианте производства закваски привели к тому, что в них превалирующую часть составляет *B. bifidum*.

Исходя из всего вышесказанного, наиболее оптимальными являются соотношения *B. bifidum* штамма № 791 и *L. acidophilus* (ВЗ-АП) 10:1 в первом варианте и 5:1 во втором.

Закваска определяет вкус и аромат получаемого продукта, поэтому проводили органолептическую оценку экспериментальных образцов. Все образцы соответствуют ожиданиям (имеют чистый кисломолочный запах и вкус). Однако сгустки, образованные разными сочетаниями указанных микроорганизмов, отличаются. При большом количестве ацидофильной палочки (в варианте 1 при соотношениях 2:1 и 4:1 и во втором варианте при сочетании 1:1) сгусток получался неоднородный и тягучий. Во втором варианте получения закваски при соотношении 2:1 произошел отстой сыворотки; при соотношении 3:2 консистенция была уже однородная и вязкая; при соотношениях 4:1 и 5:1 сгустки имели оптимальную консистенцию: они были достаточно плотные и однородные. Кроме того, было выявлено, что дополнительные пересадки в последнем случае не требуются.

Для дальнейших исследований решено использовать двухкомпонентные закваски, состоящие из бифидобактерий и ацидофильных палочек первого

Таблица 1. Влияние соотношения микроорганизмов в комплексной закваске на кислотообразование и их концентрацию

Table 1. Acidification and concentration depending on the ratio of microorganisms in the complex starter culture

Соотношения *Bifidobacterium bifidum* штамма № 791 и *Lactobacillus acidophilus* (ВЗ-АП)	Энергия кислотообразования, °Т	Активная кислотность, ед. pH	Концентрация жизнеспособных клеток, КОЕ/см^3	
			Bifidobacterium bifidum штамма № 791	*Lactobacillus acidophilus* (ВЗ-АП)
1 вариант				
2:1	85 ± 2	4,55 ± 0,05	6×10^6	$5{,}0\times10^9$
4:1	74 ± 2	4,67 ± 0,05	1×10^7	$2{,}0\times10^9$
6:1	68 ± 2	4,76 ± 0,05	9×10^7	$4{,}0\times10^8$
8:1	65 ± 2	4,80 ± 0,05	7×10^8	$2{,}0\times10^8$
10:1	62 ± 2	4,90 ± 0,05	5×10^9	$1{,}0\times10^8$
2 вариант				
1:1	87 ± 2	4,45 ± 0,05	9×10^6	$3{,}0\times10^9$
3:2	80 ± 2	4,57 ± 0,05	7×10^7	$1{,}0\times10^9$
2:1	71 ± 2	4,65 ± 0,05	5×10^8	$8{,}5\times10^8$
4:1	63 ± 2	4,85 ± 0,05	4×10^9	$5{,}0\times10^8$
5:1	60 ± 2	4,95 ± 0,05	2×10^{10}	$3{,}0\times10^8$

варианта в соотношении 10:1 и второго варианта в соотношении 5:1 соответственно.

Качество и пищевая ценность кисломолочных продуктов предопределяется интенсивностью и направленностью микробиологических процессов, обусловленных полезными свойствами производственно-ценных штаммов заквасочной микрофлоры.

Одним из наиболее ценных свойств закваски является антибиотическая активность входящих в ее состав культур по отношению к условно патогенным и патогенным микроорганизмам. Известно, что антибактериальные вещества, вырабатываемые заквасочными микроорганизмами, способствуют увеличению до определенных пределов сроков годности готовых продуктов.

На следующем этапе определяли антибиотическую активность штаммов культур *B. bifidum* штамма № 791, *L. acidophilus* (ВЗ-АП) и двухкомпонентных заквасок, состоящих из *B. bifidum* штамма № 791 и *L. acidophilus* (ВЗ-АП) первого варианта в соотношении 10:1 и второго варианта в сочетании 5:1. Исследования проводили с использованием тест-культур *Escherichia coli* I 53

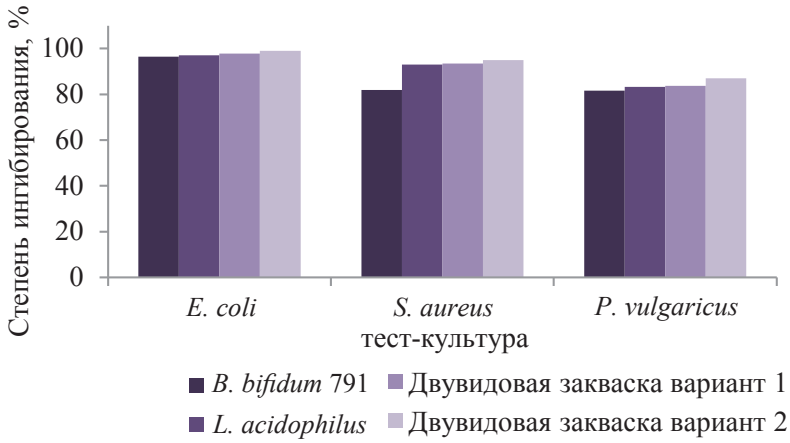


Рисунок 1. Результаты исследования антагонистической активности штаммов по отношению к патогенным и условно патогенным микроорганизмам

Figure 1. Antagonistic activity of strains in relation to pathogenic and opportunistic microorganisms

в трехкратной последовательности на фильтратах, полученных из кисломолочного продукта.

Согласно полученным данным, если сравнивать бифидобактерии и ацидофильную палочку, то более выраженной бактерицидной и бактериостатической активностью обладает штамм *B. bifidum* № 791. Активность проявляется при разведении 1:4, тогда как *L. acidophilus* (ВЗ-АП) – 1:2. Сочетание микроорганизмов многократно усиливает бактериостатический эффект (разведение 1:32). Выраженная задержка роста тест-культуры происходит из-за накопления антибиотических веществ ввиду интенсивного размножения бифидобактерий в закваскаx.

Исследование антибиотической активности к ряду микроорганизмов, таких как гноеродные кокки, шигеллы Зонне и Флекснера, а также энтеропатогенные эшерихии и протей, показало, что зона задержки роста для ацидофильной палочки (*L. acidophilus* (ВЗ-АП)) составляет 11–17 мм; для бифидобактерий (*B. bifidum* штамма № 791) – 12–14 мм. Для закваски первого варианта (1:10) зона задержки роста была от 14 до 18 мм, а закваски второго варианта (соотношение 1:5) – от 14 до 18 мм. Стоит отметить, что, согласно регламентированной документации, задержка роста должна произойти через 72 ч, а в данном случае эффект проявился через 48 ч.

Далее определяли антагонистическую активность в отношении патогенной и условно патогенной микрофлоры, в частности *E. coli*, *Staphilococcus aureus*, *Proteus vulgaricus* (рис. 1).

Степени ингибирования тест-культур штаммами B. *bifidum* № 791 и *L.* a*cidophilus* в отношении к *S. aureus* составили 81,9 и 93,0 %, в отношении к *P. vulgaricus* – 81,6 и 85,3 %, а к *E. coli* – 96,5 и 97,0 % соответственно. Если рассматривать степень ингибирования тест-культур комбинированных заквасок, то более эффективна закваска, приготовленная по второму варианту.

Антагонистическая активность *L. acidophilus* связана с образованием лизоцима, лактоцинов, перекисей и кислот и протеолитической активности в отношении патогенных микроорганизмов. Бифидобактерии имеют несколько иной механизм воздействия за счет образования уксусной и молочной кислот.

Анализируя результаты экспериментальных исследований, подтвердили перспективность составления заквасок из двух видовых культур, в состав которых входят *B. bifidum* штамма № 791 и *L. acidophilus* (ВЗ-АП). Изучение закономерностей проявления антибиотической активности чистыми культурами и их комбинациями, наряду с другими показателями, определяющими характер взаимоотношений этих микроорганизмов, позволило предложить комбинированную закваску, обеспечивающую получение кисломолочного продукта гарантированного качества. При соединении штаммов разных видов бактерий достигнута взаимная сочетаемость и взаимное стимулирование, установлено более стабильное равновесие между штаммами, более быстрое сбраживание лактозы без последующего перекисания, сбалансированного ароматообразования, определенной вязкости, усиление антагонистической активности к патогенным и условно-патогенным микроорганизмам.

На следующем этапе изучено влияние пребиотика как бифидогенного фактора на рост и развитие бифидобактерий.

Бифидобактерии – строгие анаэробы. В процессе культивирования они приобретают способность существовать в присутствии кислорода, но медленно. Для интенсификации процесса необходимо использовать пребиотики, которые способны стимулировать рост полезной микрофлоры. Наиболее часто используются в качестве пребиотиков олигофруктоза, лактулоза, олигосахариды, пектин, инулин, пищевые волокна и т. д. [18].

В качестве пребиотиков использовали свекловичную клетчатку «Bio-fi Pro WR 400» (Россия), которая имеет высокие показатели водосвязывающей, жиросвязывающей и набухающей способностей [19]. В связи с этим клетчатка может выступать в качестве стабилизатора структуры кисломолочных продуктов.

Данная клетчатка в своем составе имеет пищевые волокна (около 70 %), в составе которых имеется целлюлоза (21 %) и пектин (20 %) [20]. Исходя из этого, можно сделать заключение, что, помимо вышеуказанной функции, «Bio-fi Pro WR 400» будет способствовать росту бифидобактерий.

Исследовали функционально-технологические свойства клетчатки – набухаемость. Исследования набухаемости свекловичной клетчатки показали, что с повышением температуры среды коэффициенты набухания клетчатки увеличиваются. В качестве сред использовались обезжиренное молоко и дистиллированная вода. Следует отметить, что процесс набухания протекает более интенсивно в обезжиренном молоке, чем в дистиллированной воде. Учитывая, что при производстве кисломолочных продуктов требуется пастеризация (в нашем случае при температуре 87 ± 2 °С с выдержкой 10–15 мин), изучили процесс набухаемости при вышеназванной температуре. Коэффициент набухания составил 4,52 ± 0,11, что свидетельствует о термостабильности пищевых волокон. Клетчатка во время набухания становится пастообразной, не имеет посторонних привкусов и запахов.

Таблица 2. Результаты исследования процесса кислотообразования и реологических характеристик

Table 2. Acidification process and rheological characteristics

№	Образец	Титруемая кислотность, °Т	Скорость сдвига γ, $с^{-1}$			
			Напряжение сдвига 0 Па	Напряжение сдвига 20 Па	Напряжение сдвига 40 Па	Напряжение сдвига 60 Па
1	0 % (контрольный)	86,0 ± 1,9	20	61	170	381
2	С добавлением 0,5 % клетчатки	79,0 ± 1,9	15	52	150	379
3	С добавлением 0,7 % клетчатки	86,0 ± 1,9	9	12	44	98
4	С добавлением 0,9 % клетчатки	111,0 ± 1,9	10	15	54	148
5	С добавлением 1,1 % клетчатки	107,0 ± 1,9	9,5	14	53	150
6	С добавлением 1,3 % клетчатки	98,0 ± 1,9	9	13	49	149
7	С добавлением 1,5 % клетчатки	81,0 ± 1,9	7,5	12	45	120

Для разработки технологии кисломолочного напитка необходимо было установить количество вносимой клетчатки. Готовили образцы с разным содержанием клетчатки в количестве от 0,5 до 1,5 % от массы нормализованного молока с интервалом 0,2 %. Предварительно набухшую свекловичную клетчатку «Bio-fi Pro WR 400» вносили в нормализованное молоко. В качестве контроля рассматривали образец без свекловичной клетчатки.

Далее образцы пастеризовали при температуре 87 ± 2 °С с выдержкой 20 с и охлаждали до температуры заквашивания 38 ± 2 °С, вносили закваски *B. bifidum* и *L. acidophilus*. В полученных образцах определяли физико-химические, реологические и органолептические показатели, а также исследовали влияние клетчатки на жизнедеятельность микроорганизмов.

Исследовали процесс кислотообразования и реологические характеристики (напряженность сдвига) синбиотического кисломолочного продукта в зависимости от количества добавленной клетчатки. Данные представлены в таблице 2.

Из данных таблицы видно, что наиболее интенсивно процесс кислотообразования происходил при добавлении 0,9 % клетчатки. Внесение пребиотика в нормализованную смесь свыше 0,9 % приводило к снижению интенсивности кислотообразования, ввиду активного роста микроорганизмов – накопившиеся продукты обмена стали угнетать их жизнедеятельность. С этой позиции наиболее оптимальное значение титруемой кислотности у образца с добавлением 0,7 % свекловичной клетчатки – 86,0 °Т.

Скорость сдвига следует выбирать в том диапазоне, в котором фактически закончилось лавинообразное разрушение структуры продукта.

Далее исследовали вязкость сгустка и объем выделившейся сыворотки (рис. 2, 3).

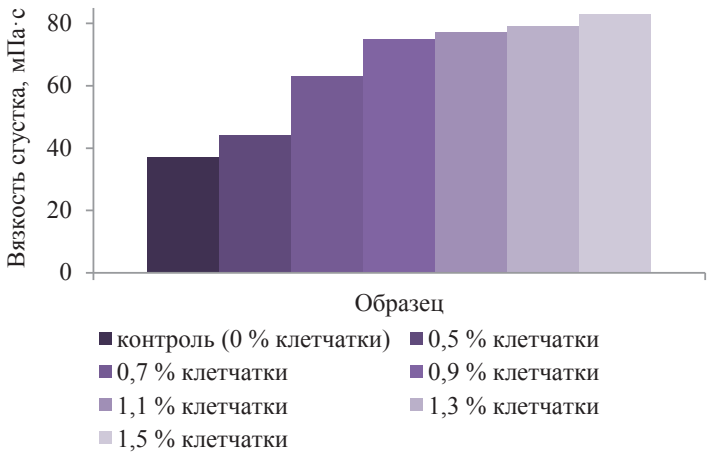


Рисунок 2. Вязкость кисломолочного продукта в зависимости от количества добавляемой клетчатки

Figure 2. Effect of the amount of fiber on the viscosity of fermented dairy product

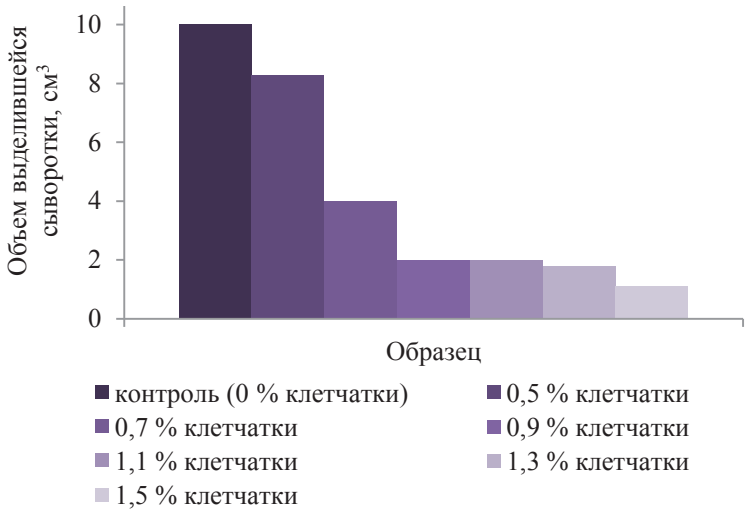


Рисунок 3. Объем выделившейся сыворотки кисломолочного продукта в зависимости от количества добавляемой клетчатки

Figure 3. Effect of the amount of fiber on the whey volume

Таблица 3. Изменение содержания молочнокислых бактерий при внесении различных доз клетчатки в зависимости от продолжительности сквашивания

Table 3. Effect of fermentation time on the content of lactic acid bacteria depending on the amount of fiber

№ п/п	Количество добавляемой клетчатки, %	Общее количество молочнокислых бактерий, КОЕ/см^3			
		Продолжительность процесса сквашивания, ч			
		1	2	3	4
1	0 (контроль)	$8{,}8\times10^5$	$5{,}9\times10^6$	$2{,}3\times10^7$	$15{,}3\times10^7$
2	0,5	$2{,}7\times10^6$	$1{,}8\times10^7$	$2{,}5\times10^7$	$8{,}8\times10^8$
3	0,7	$5{,}4\times10^6$	$7{,}1\times10^7$	$3{,}2\times10^8$	$1{,}7\times10^9$
4	0,9	$5{,}4\times10^6$	$7{,}0\times10^7$	$3{,}1\times10^8$	$1{,}5\times10^9$
5	1,1	$6{,}5\times10^5$	$6{,}3\times10^6$	$3{,}1\times10^7$	$5{,}1\times10^8$
6	1,3	$6{,}8\times10^5$	$5{,}2\times10^6$	$7{,}1\times10^7$	$5{,}2\times10^8$
7	1,5	$6{,}9\times10^5$	$4{,}1\times10^6$	$5{,}1\times10^7$	$5{,}7\times10^8$

Таблица 4. Изменение содержания бифидобактерий при внесении различных доз клетчатки в зависимости от продолжительности сквашивания

Table 4. Effect of fermentation time on the content of bifidobacteria depending on the amount of fiber

№ п/п	Количество добавляемой клетчатки, %	Концентрация *Bifidobacterium bifidum*, КОЕ/см^3			
		Продолжительность сквашивания, ч			
		1	2	3	4
1	0 (контроль)	4×10^3	5×10^4	7×10^6	4×10^7
2	0,5	8×10^3	9×10^5	3×10^7	9×10^7
3	0,7	1×10^5	6×10^7	5×10^8	7×10^8
4	0,9	1×10^6	6×10^7	4×10^8	6×10^8
5	1,1	3×10^6	5×10^7	4×10^8	6×10^8
6	1,3	6×10^6	4×10^7	5×10^8	6×10^8
7	1,5	6×10^6	3×10^7	6×10^8	4×10^8

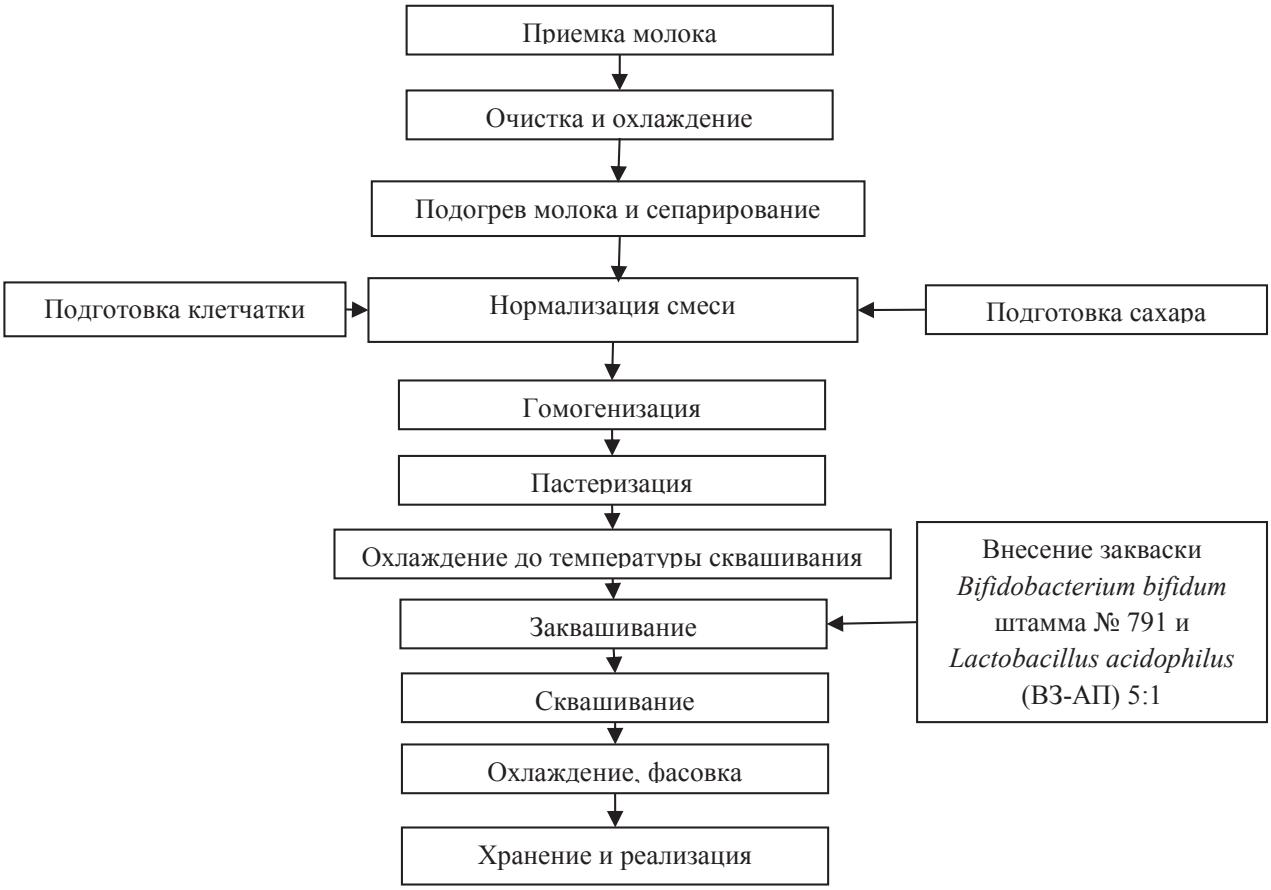


Рисунок 4. Технологическая схема производства синбиотического кисломолочного продукта

Figure 4. Technological scheme for the production of the synbiotic fermented dairy product

Исходя из полученных данных, определили, что внесение клетчатки снижает синерезис практически до нуля, что очень важно при получении кисломолочных напитков. Вязкость продукта возрастает с увеличением дозы добавляемой клетчатки. Происходит стабилизация сгустка, он хорошо удерживает влагу.

Определили, как количество вносимой клетчатки влияет на развитие микроорганизмов в целом (табл. 3).

Из данных таблицы 3 видно, что при добавлении свекловичной клетчатки концентрация микроорганизмов сначала увеличивается, а затем идет уменьшение вследствие накопления продуктов их жизнедеятельности. В результате происходит угнетение бактерий (наиболее оптимальное количество вносимой добавки – образец с добавлением клетчатки в количестве 0,7 % от массы нормализованного молока).

Исследовали каким образом дозировка вносимой клетчатки влияет на развитие бифидобактерий (табл. 4).

Исходя из полученных данных, определили, что концентрация бифидобактерий возрастает с увеличением продолжительности сквашивания. При увеличении дозы добавляемого пребиотика, так же как и в эксперименте определения общего количества молочнокислых микроорганизмов, сначала идет увеличение численности *B. bifidum*, а затем наступает спад. Оптимальное количество пребиотика в данном случае составляет 0,7 % от массы нормализованного молока.

Определили органолептические показатели образцов с различным содержанием клетчатки. Выяснили, что количество добавляемой свекловичной клетчатки свыше 0,7 % приводит к образованию чрезмерно плотного сгустка, плохо выделяющего влагу. Кроме того, вкус и запах продукта становится менее выраженным кисломолочным по сравнению с контролем.

Таким образом, на основании проведенных исследований доказано, что при выработке кисломолочного продукта необходимо использовать закваску, полученную по второму варианту при

соотношении *B. bifidum* штамма № 791 и *L. acidophilus* (ВЗ-АП) 5:1. Данное соотношение обеспечивает высокую антибиотическую активность в отношении патогенных и условно патогенных микроорганизмов, обладает бактерицидными и бактериостатическими свойствами, обеспечивает необходимую титруемую кислотность и высокие органолептические показатели (чистый, выраженный кисломолочный вкус и запах, однородную консистенцию). Установлена доза свекловичной клетчатки «Bio-fi Pro WR 400» в количестве 0,7 % от массы нормализованной смеси. Разработана технологическая схема производства синбиотического кисломолочного продукта с использованием *B. bifidum* и *L. acidophilus* в качестве пробиотиков, а также пребиотика – свекловичной клетчатки «Bio-fi Pro WR 400». Технологический процесс представлен на рисунке 4.

Нормализованную смесь пастеризуют при температуре 87 ± 2 °С в течение 10–15 мин. Затем охлаждают до температуры сквашивания 38 ± 2 °С и заквашивают комбинированной двухкомпонентной закваской, состоящей из *B. bifidum* штамма № 791, полученной из жидкого концентрата бифидобактерий, и производственной закваски *L. acidophilus* (ВЗ-АП) при соотношении 5:1 (количество вносимой закваски 5 % от массы нормализованной смеси), при перемешивании в течение 15 мин.

Сквашивание проводят при температуре 38 ± 2 °С в течение 5–6 ч до получения кисломолочного сгустка кислотностью 75 ± 2 °Т и pH 4,76 ± 0,02. После сквашивания сгусток охлаждают при периодическом перемешивании до температуры 22 ± 2 °С.

В целях расширения ассортимента кисломолочной продукции предложено при выработке разработанного кисломолочного напитка использовать фруктовые наполнители, такие как клубника, зеленое яблоко, вишня, апельсин (производитель «Zuegg») или клубника, черника, банан и другие (производитель «АГРАНА Фрут»), в состав которых входят натуральные фрукты и ягоды. Введение наполнителей позволяет придать готовому продукту привлекательный вид и повысить биологическую ценность.

Перед розливом продукт перемешивают в течение 3–5 мин. Доохлаждение до температуры 4 ± 2 °С проводят в камере готовой продукции.

Выводы

Выполненные исследования позволили подтвердить, что комбинированная закваска при использовании жидкого концентрата *Bifidobacterium bifidum* штамм № 791 и производственной закваски *Lactobacillus acidophilus* (ВЗ-АП) в соотношении 5:1 по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям соответствует гигиеническим требованиям к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. Она обладает высокой степенью антагонистической активности и может быть рекомендована для производства синбиотического кисломолочного напитка. В качестве пребиотика предложено использование свекловичной клетчатки «Bio-fi Pro WR 400» в количестве 0,7 % от массы нормализованного молока, способствующей оптимальному процессу роста и размножению *B. bifidum* и *L. acidophilus*, ускорению процесса сквашивания, а также получению кисломолочного напитка с однородной плотной консистенцией без отстоя сыворотки.

Разработана технология производства синбиотического кисломолочного продукта. По результатам исследований разработана и утверждена техническая документация (технические условия и технологическая инструкция) на кисломолочный продукт.

Критерии авторства

Руководитель проекта Л. М. Захарова. Доли авторства составляют: Л. М. Захарова – 50 %, М. С. Горбунчикова – 50 %.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Contribution

L.M. Zakharova – 50%, M.S. Gorbunchikova – 50%. L.M. Zakharova supervised the project.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Пат. 2108383C1 Российская Федерация, МПК C12N 1/20, A23C 9/12, C12R 1/01. Штамм бактерий Bifidobacterium bifidum, используемый в составе бактериальных заквасок при производстве ферментированных молочных продуктов и кормовых средств / Эрвольдер Т. М., Гудков А. В., Перфильев Г. Д. [и др.]; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт маслодельной и сыродельной промышленности. – № 93039309/13; заявл. 12.08.1993; опубл. 10.04.1998. – 6 с.

2. Quasicapsulation of probiotics / I. Polyanskaya, L. Stoyanova, V. Semenikhina [et al.] // Journal of Hygienic Engineering and Design. – 2018. – Vol. 24. – P. 31–38.

3. Khankhalaeva, I. A. Effects of propionic-acid bacteria and bifidobacteria on the quality of raw smoked sausages / I. A. Khankhalaeva, I. S. Khamagaeva, A. P. Nikiforova // Foods and Raw Materials. – 2017. – Vol. 5, № 1. – P. 20–29. https://doi.org/10.21179/2308-4057-2017-1-20-29.

4. Хамагаева, И. С. Создание иммобилизованной формы сухого синбиотика / И. С. Хамагаева, А. Г. Хантургаев, О. Г. Богданова // Вестник ВСГУТУ. – 2019. – Т. 74, № 3. – С. 11–18.

5. Advanced biotechnology of specialized fermented milk products / N. Gavrilova, N. Chernopolskaya, M. Rebezov [et al.] // International Journal of Recent Technology and Engineering. – 2019. – Vol. 8, № 2. – P. 2718–2722. https://doi.org/10.35940/ijrte.B3158.078219.

6. Biotechnology of starting culture capable of cholesterol metabolism / V. I. Ganina, A. T. Vasyukova, I. I. Ionova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 548, № 8. https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/8/082055.

7. Growth stimulating effect of bovine milk lactoferrin on dermal cells and probiotic bacteria / E. I. Titov, N. A. Tikhomirova, I. I. Ionova [et al.] // Emirates Journal of Food and Agriculture. – 2016. – Vol. 28, № 8. – P. 540–546. https://doi.org/10.9755/ejfa.2015-06-447.

8. Biotechnology application in production of specialized dairy products using probiotic cultures immobilization / N. Gavrilova, N. Chernopolskaya, E. Molyboga [et al.] // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. – 2019. – Vol. 8, № 6. – P. 642–648.

9. Producing of bacterial concentrates with high cholesterol lowering activity / I. S. Khamagaeva, A. H. Tsybikova, N. A. Zambalova [et al.] // Foods and Raw Materials. – 2016. – Vol. 4, № 1. – P. 27–35. https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-27-35.

10. Свойства единой синбиотической системы бифидобактерий с пребиотиком Fibregum / Э. С. Токаев, В. И. Ганина, А. С. Багдасарян [и др.] // Биотехнология. – 2006. – № 6. – С. 51–62.

11. Влияние пробиотического кисломолочного продукта на микробиоту толстой кишки, гематологические показатели и клеточный иммунитет крыс / Г. Г. Кузнецова, Э. Н. Трушина, О. К. Мустафина [и др.] // Вопросы питания. – 2012. – Vol. 81, № 3. – P. 18–23.

12. Effect of probiotics on metabolic outcomes in pregnant women with gestational diabetes: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials / B. L. Taylor, G. E. Woodfall, K. E. Sheedy [et al.] // Nutrients. – 2017. – Vol. 9, № 5. https://doi.org/10.3390/nu9050461.

13. Молочнокислые микроорганизмы для профилактики инфекций *E. coli* / И. С. Полянская, Г. Н. Забегалова, О. И. Топал [и др.] // Молочная промышленность. – 2016. – № 12. – С. 52–54.

14. Комарова, О. Н. Взаимосвязь стресса, иммунитета и кишечной микробиоты / О. Н. Комарова, А. И. Хавкин // Педиатрическая фармакология. – 2020. – Т. 17, № 1. – С. 18–24. https://doi.org/10.15690/pf.v17i1.2078.

15. Оганезова, И. А. Изменения кишечной микробиоты как причина и потенциальная терапевтическая мишень при синдроме констипации / И. А. Оганезова, О. И. Медведева // Русский Медицинский Журнал. Медицинское обозрение. – 2020. – Т. 4, № 5. – С. 302–307. https://doi.org/10.32364/2587-6821-2020-4-5-302-307.

16. Чащина, В. В. Молочные продукты в питании человека / В. В. Чащина, П. И. Колосова // Проблемы и перспективы развития России: Молодежный взгляд в будущее : сборник научных статей 3-й Всероссийской научной конференции / Юго-Западный государственный университет. – Курск, 2020. – С. 285–288.

17. Тарас, В. А. Изучение процесса активизации закваски концентрированной сухой бифидобактерий перед внесением в молочное сырье / В. А. Тарас, Н. Н. Фурик // Современные подходы к получению и переработке сельскохозяйственной продукции – гарантия продовольственной независимости России: материалы X Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов / ВНИИМП им. В. М. Горбатова. – Москва, 2016. – С. 365–369.

18. Dietary fiber sources and human benefits: the case study of cereal and pseudocereals / M. Ciudad-Mulero, V. Fern*á*ndez-Ruiz, M. C. Matallana-Gonzalez [et al.] // Advances in Food and Nutrition Research. – 2019. – Vol. 90. – P. 83–134. https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.002.

19. Захарова, Л. М. Функционально-технологические свойства клетчатки / Л. М. Захарова, Л. В. Абушахманова // Вестник ВСГУТУ. – 2018. – Т. 70, № 3. – С. 60–66.

20. Абушахманова, Л. В. О возможности использования препаратов клетчатки в качестве функционального ингредиента / Л. В. Абушахманова, Л. М. Захарова // Современная наука и инновации. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 153–157.

References

1. Ehrvol'der TM, Gudkov AV, Perfil'ev GD, Ushakova OL. Strain of bacterium Bifidobacterium bifidum used in composition of bacterial ferments in production of fermented dairy products and food agents. Russia patent RU 2108383C1. 1998.

2. Polyanskaya I, Stoyanova L, Semenikhina V, Valentina P. Quasicapsulation of probiotics. Journal of Hygienic Engineering and Design. 2018;24:31–38.

3. Khankhalaeva IA, Khamagaeva IS, Nikiforova AP. Effects of propionic-acid bacteria and bifidobacteria on the quality of raw smoked sausages. Foods and Raw Materials. 2017;5(1):20–29. https://doi.org/10.21179/2308-4057-2017-1-20-29.

4. Khamagaeva IS, Khanturgaev AG, Bogdanova OG. Creating an immobilized form of dry synbiotic. ESSUTM Bulletin. 2019;74(3):11–18. (In Russ.).

5. Gavrilova N, Chernopolskaya N, Rebezov M, Moisejkina D, Dolmatova I, Mironova I, et al. Advanced biotechnology of specialized fermented milk products. International Journal of Recent Technology and Engineering. 2019;8(2):2718–2722. https://doi.org/10.35940/ijrte.B3158.078219.

6. Ganina VI, Vasyukova AT, Ionova II, Mashintseva NG, Golovin MA. Biotechnology of starting culture capable of cholesterol metabolism. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020;548(8). https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/8/082055.

7. Titov EI, Tikhomirova NA, Ionova II, Gorlov IF, Slozhenkina MI, Mosolova NI, et al. Growth stimulating effect of bovine milk lactoferrin on dermal cells and probiotic bacteria. Emirates Journal of Food and Agriculture. 2016;28(8):540–546. https://doi.org/10.9755/ejfa.2015-06-447.

8. Gavrilova N, Chernopolskaya N, Molyboga E, Shipkova K, Dolmatova I, Demidova V, et al. Biotechnology application in production of specialized dairy products using probiotic cultures immobilization. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019;8(6):642–648.

9. Khamagaeva IS, Tsybikova AH, Zambalova NA, Choi S-H. Producing of bacterial concentrates with high cholesterol lowering activity. Foods and Raw Materials. 2016;4(1):27–35. https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-27-35.

10. Tokaev ES, Ganina VI, Bagdasaryan AS, Grigorova YuG, Perminov SI, Vustina TF, et al. Characteristics of a combined synbiotic system of bifidobacteria and Fibregum prebiotic. Biotechnology. 2006;6:51–62. (In Russ.).

11. Kuznetsova GG, Trushina EN, Mustafina OK, Cherkashin AV, Batishcheva SYu, Semenikhina VF, et al. The influence of probiotic fermented milk product on colon microbiota, hematological parameters and cell immunity in rats. Problems of Nutrition. 2012;81(3):18–23. (In Russ.).

12. Taylor BL, Woodfall GE, Sheedy KE, O'Riley ML, Rainbow KA, Bramwell EL, et al. Effect of probiotics on metabolic outcomes in pregnant women with gestational diabetes: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Nutrients. 2017;9(5). https://doi.org/10.3390/nu9050461.

13. Polyanskaya IS, Zabegalova GN, Topal OI, Semenihina VF. Lactic acid microorganisms for prophylaxis of the *E. coli* infections. Dairy Industry. 2016;(12):52–54. (In Russ.).

14. Komarova ON, Khavkin AI. Correlation between stress, immunity and intestinal microbiota. Pediatric pharmacology. 2020;17(1):18–24. (In Russ.). https://doi.org/10.15690/pf.v17i1.2078.

15. Oganezova IA, Medvedeva OI. Changes in intestinal microbiota as a cause and potential therapeutic target in constipation syndrome. Russian Medical Inquiry. 2020;4(5):302–307. (In Russ.). https://doi.org/10.32364/2587-6821-2020-4-5-302-307.

16. Chashchina VV, Kolosova PI. Molochnye produkty v pitanii cheloveka [Dairy products in human diet]. Problemy i perspektivy razvitiya Rossii: Molodezhnyy vzglyad v budushchee: sbornik nauchnykh statey 3-y Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii [Problems and prospects of development of Russia: Future as seen by the youth: Proceedings of the III All-Russian Scientific Conference]; 2020; Kursk. Kursk: Southwest State University; 2020. p. 285–288. (In Russ.).

17. Taras VA, Furik NN. Izuchenie protsessa aktivizatsii zakvaski kontsentrirovannoy sukhoy bifidobakteriy pered vneseniem v molochnoe syr′e [A study of the activation process of concentrated dry bifidobacteria starter before introducing it into dairy raw materials]. Sovremennye podkhody k polucheniyu i pererabotke sel′skokhozyaystvennoy produktsii – garantiya prodovol′stvennoy nezavisimosti Rossii: materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov [Modern approaches to the production and processing of agricultural products as a guarantee of food independence of Russia: materials of the X International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists]; 2016; Moscow. Moscow: V.M. Gorbatov All-Russian Scientific Research Institute of the Meat Industry; 2016. p. 365–369. (In Russ.).

18. Ciudad-Mulero M, Fernández-Ruiz V, Matallana-Gonzalez MC, Morales P. Dietary fiber sources and human benefits: the case study of cereal and pseudocereals. Advances in Food and Nutrition Research. 2019;90:83–134. https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.002.

19. Zakharova LM, Abushakhmanova LV. Functional and technological properties of dietary fiber. ESSUTM Bulletin. 2018;70(3):60–66. (In Russ.).

20. Abushahmanova LV, Zakharova LM. The about the possibility of using fiber preparations as a functional ingredient. Modern Science and Innovation. 2018;23(3):153–157. (In Russ.).

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-29-38
УДК 664.8.037.5

Оригинальная статья
http://fptt.ru

Влияние режимов замораживания, сроков хранения и способов дефростации на микробиологические показатели качества абрикосов

Б. М. Гусейнова[1,*], И. Х. Асабутаев[1], Т. И. Даудова[2]

[1] Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова, Махачкала, Россия

[2] Прикаспийский институт биологических ресурсов – обособленное подразделение Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, Махачкала, Россия

Дата поступления в редакцию: 05.02.2021 *Дата принятия в печать: 01.03.2021*

**e-mail: batuch@yandex.ru*
© Б. М. Гусейнова, И. Х. Асабутаев, Т. И. Даудова, 2021

Аннотация.
Введение. Один из путей продления срока годности скоропортящихся фруктов – применение технологии низкотемпературного замораживания, вызывающее резкое замедление биохимических и микробиологических процессов, происходящих в замороженных продуктах. Однако полного уничтожения микроорганизмов не происходит. Поэтому изучение реакции микробиоты абрикосов на технологические приемы шоковой заморозки является актуальным. Цель работы – исследование влияния низкотемпературных режимов замораживания, сроков холодильного хранения, а также способов и режимов дефростации на поверхностную микрофлору абрикосов.
Объекты и методы исследований. Абрикосы сортов «Уздень», «Унцукульский поздний», «Хонобах», «Краснощекий» и «Шалах». Микробиологическую характеристику дефростированных абрикосов исследовали согласно ГОСТам.
Результаты и их обсуждение. Быстрое замораживание при t = –25 °С, по сравнению с t = –30 и –35 °С, обеспечило усиленное подавление жизнедеятельности эпифитной микрофлоры: МАФАнМ – на 65,2–68,6 %, дрожжей – на 61,5–69,0 %, плесеней – на 59,3–68,4 %. В начальный период холодильного хранения наблюдалось снижение количества микроорганизмов, а последующее девятимесячное хранение (t = –18 °С) привело к незначительному увеличению численности микробиоты. После 9 месяцев хранения количество микроорганизмов на дефростированных плодах, в зависимости от сорта, составляло: МАФАнМ – $1{,}2\times10^3$–$2{,}0\times10^3$ КОЕ/г, дрожжей – 14–26 КОЕ/г, плесневых грибов – 75–108 КОЕ/г. Дефростация абрикосов под действием микроволнового облучения привела к большему уничтожению микроорганизмов по сравнению с традиционным оттаиванием их на воздухе и в воде.
Выводы. Результаты микробиологических исследований свидетельствуют о том, что технология шоковой заморозки обеспечивает получение быстрозамороженных абрикосов, отвечающих требованиям ТР ТС 021/2011.

Ключевые слова. Абрикосы, микробиологическая обсемененность, низкотемпературное замораживание, холодильное хранение, дефростация

Для цитирования: Гусейнова, Б. М. Влияние режимов замораживания, сроков хранения и способов дефростации на микробиологические показатели качества абрикосов / Б. М. Гусейнова, И. Х. Асабутаев, Т. И. Даудова // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 29–38. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-29-38.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

Effect of Freezing Modes, Storage Time, and Defrosting Methods on Microbiological Quality Parameters of Apricots

Batuch M. Guseynova[1,*], Islam H. Asabutaev[1], Tatyana I. Daudova[2]

[1] M.M. Dzhambulatov Dagestan State Agricultural University, Makhachkala, Russia

[2] Precaspian Institute of Biological Resources of the Dagestan Federal Research Center of the RAS, Makhachkala, Russia

Received: February 05, 2021 *Accepted: March 01, 2021*

**e-mail: batuch@yandex.ru*
© B.M. Guseynova, I.H. Asabutaev, T.I. Daudova, 2021

Abstract.
Introduction. Low-temperature freezing technology extends the shelf life of perishable fruits as it causes a sharp slowdown in the biochemical and microbiological processes in frozen products. However, it cannot provide complete destruction of microorganisms. The present research featured the reaction of apricot microbiota to the technological techniques of shock freezing. The research objective was to study the effect of low-temperature freezing modes (t = –25, –30, and –35°C), storage time (3 and 9 months), methods, and defrosting modes (in air at t = 5 and 22°C; in water at t = 5, 16, and 22°C; under the effect of microwave irradiation) on the surface microflora of apricots.
Study objects and methods. The experiment featured apricots of the varieties Uzden, Untsukulskiy Pozdniy, Honobah, Krasnoshchyokiy, and Shalakh. The microbiological profile of defrosted apricots was based on the State Standard.
Results and discussion. Fast freezing at t = –25°C provided a better inhibition of epiphytic microflora than at t = –30 and –35°C: aerobic-mesophilic and optionally anaerobic microorganisms – by 65.2–68.6%, yeast – by 61.5–69.0%, and mold – by 59.3–68.4%, compared to their initial content on fresh apricots. During the initial period of refrigeration storage, the number of microorganisms decreased, while the subsequent nine-month storage (t = –18°C) led to a slight increase in microbiota. After nine months of storage, the number of microorganisms on defrosted fruits, depending on the variety, was the following: aerobic-mesophilic and optionally anaerobic microorganisms – 1.2×10^3–2.0×10^3 CFU/g, yeast – 14–26 CFU/g, and molds – 75–108 CFU/g. Defrosting of apricots by microwave irradiation resulted in a greater destruction of microorganisms than after traditional thawing in air and water.
Conclusion. The results of microbiological studies indicate that the shock freezing technology ensures the production of quick-frozen apricots that meet the requirements of Technical Regulations of the Customs Union No. 021/2011.

Keywords. Apricots, microbiological insemination, low-temperature freezing, refrigeration storage, defrosting

For citation: Guseynova BM, Asabutaev IH, Daudova TI. Effect of Freezing Modes, Storage Time, and Defrosting Methods on Microbiological Quality Parameters of Apricots. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):29–38. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-29-38.

Введение

Абрикос (*Prunus armeniaca* L.) – одна из самых распространенных пород фруктовых деревьев, культивируемых в Дагестане. В этой горной республике сосредоточено более 85 % посадок абрикоса, имеющихся в России. Основные площади абрикосовых насаждений расположены во внутригорной местности, отличающейся благоприятными почвенно-климатическими условиями для выращивания различных сортов этой популярной садовой культуры.

Плоды абрикоса востребованы потребителем из-за своих диетических и лечебных свойств. По мнению китайских ученых, из всех культивируемых видов растений абрикос считается самым полезным, а также является эликсиром долголетия. Абрикосы по питательным свойствам главенствуют среди косточковых культур, но незначительная лежкость ограничивает период их потребления в свежем виде.

Поэтому научно обоснованная стратегия эффективного использования в течение года абрикосов, без существенных потерь питательно ценных и биологически активных веществ в их плодах, с сохранением на высоком уровне физико-химических и органолептических показателей их качества, является весьма актуальной проблемой.

Одним из путей ее решения является применение технологии низкотемпературного замораживания плодов с последующим холодильным хранением. Технология способствует сохранению товарного вида, пищевой ценности, физико-химических и дегустационных показателей качества продукта. К этому в замороженных плодах приводят: снижение активности свободной воды, резкое замедление биохимических процессов, почти полное прекращение активной работы ферментов и разрушительного действия патогенных микроорганизмов. Важным достоинством шоковой заморозки является то, что при дефростации быстрозамороженной продукции наблюдается хорошее поглощение клеточного сока межклеточными коллоидами. Это говорит о высокой обратимости процесса замораживания [1–6].

Кроме того, качество продукции, полученной с применением технологии низкотемпературного замораживания, зависит от условий обработки, сохраняемого продукта, использованных температурных режимов замораживания и хранения, длительности хранения, а также способов дефростации [7–9].

Шоковая заморозка сильно замедляет биохимические и микробиологические процессы, происходящие в замороженных продуктах. Однако полное уничтожение микроорганизмов при применении технологии быстрого замораживания не происходит. Поэтому быстрозамороженные фрукты могут представлять для организма человека опасность из-за: начальной обсемененности свежих плодов; нарушения санитарно-гигиенических норм в ходе технологического процесса консервирования; длительного холодильного хранения с нарушениями температурного режима и неправильного выбора способа дефростации.

Рост и развитие поверхностной микробиоты фруктов и ягод определяются условиями

окружающей среды, а именно влагообеспеченостью и наличием оптимальной для жизнедеятельности микроорганизмов температуры. При этом существенное влияние оказывает не только количество воды в среде их обитания, но и ее активность, зависящая от температуры [10]. Микробиота плодов избирательно реагирует на низкие и сверхнизкие температуры. Особенно чувствительны к отрицательным температурам вегетативные клетки плесневых грибов и дрожжей. Легко погибают при криогенизации грамотрицательные бактерии, а также расы, относящиеся к колиформам, родам *Pseudomonas*, *Achromobacter* и сальмонеллам [11, 12].

Низкотемпературное замораживание и последующее холодильное хранение фруктов и ягод обеспечивают снижение их микробиальной обсемененности: в некоторых случаях на 90–95 %. Однако на степень инактивации поверхностной микробиоты фруктов и ягод при их шоковой заморозке оказывает влияние не только величина температуры, но и скорость ее понижения и длительность воздействия. Определено, что основная масса микроорганизмов, находящихся на продуктах, предназначенных для консервирования, уничтожается сразу после шоковой заморозки: 40–80 % от начального уровня. Остальная часть погибает в процессе длительного холодильного хранения при t = –18 °С [11, 13, 14].

Хотя в процессе низкотемпературной обработки происходит значительное подавление жизнедеятельности живущих на плодах эпифитных микроорганизмов, они даже после длительного холодильного хранения не становятся стерильными и могут оставаться носителями холодостойких видов сапрофитных бактерий, дрожжей и плесеней [15–18].

Микробиологическая безопасность замороженной фруктово-ягодной продукции зависит от видового разнообразия микробиоты, обитающей на них до замораживания, от примененных технологических режимов и приемов их изготовления, а также от специфических особенностей плодов, подвергаемых шоковой заморозке [11, 12, 14]. Поэтому установление микробиологической безопасности замороженной продукции имеет большое значение.

Применение шоковой заморозки фруктово-ягодной продукции в Республике Дагестан еще не нашло должного внимания, хотя эта технология является экономически выгодной и перспективной для продления срока годности скоропортящегося плодового сырья [3, 4]. Дагестанский рынок замороженных фруктов и ягод в настоящее время представлен импортной или изготовленной в центральных регионах России продукцией, несмотря на то что республика обладает ресурсами плодово-растительного сырья.

Поэтому нами была поставлена цель: исследовать влияние низкотемпературных режимов консервирования, сроков длительного холодильного хранения, способов и режимов дефростации на показатели микробиологической чистоты быстрозамороженных абрикосов.

Объекты и методы исследования

Объектами исследований являлись абрикосы сортов «Уздень», «Унцукульский поздний», «Хонобах», «Краснощекий» и «Шалах», отвечающие по качеству требованиям ГОСТ 32787-2014. Их микробиологическую обсемененность определяли в свежем виде после замораживания при температурах –25, –30 и –35 °С и последующего 3-х и 9-ти месячного холодильного хранения (t = –18 °С), а также при применении различных способов дефростации: на воздухе при температурах 5 и 22 °С; в воде при температурах 5, 16 и 22 °С и в поле действия микроволновой энергии (МВ-энергии) мощностью 190 Вт и частотой 2450 МГц в течение 3–4 мин.

Микробиологическую характеристику опытных образцов абрикосов исследовали с использованием ГОСТ 26669-85, ГОСТ 26670-91, ГОСТ 10444.15-94, ГОСТ 10444.12-2013, ГОСТ 31659-2012 и ГОСТ 31747-2012.

Алгоритм действий (технологическая схема исследований), направленный на изучение характера влияния на микрофлору быстрозамороженных плодов абрикоса технологических приемов, примененных при их консервировании, низкотемпературных режимов замораживания, сроков холодильного хранения, способов и режимов дефростации, включал:

– сбор плодов в стадии потребительской зрелости;

– инспекцию, мойку и подсушивание;

– замораживание свежих абрикосов половинками в морозильной камере GRUNLAND T 25/01.1 (Германия) при t = –25, –30 и –35 °С с перемешиванием воздуха до достижения в центре половинки плода температуры –18 °С, определяемой полупроводниковым измерителем температуры ИТ-1 (шкала от –190 до 50 °С);

– упаковку (по 0,5 кг) замороженных половинок плодов абрикоса в пакеты, отвечающие требованиям ГОСТ 10354-82, и их хранение в холодильной камере в течение 3-х и 9-ти месяцев при t = –18 °С и относительной влажности воздуха 90–95 %;

– дефростацию быстрозамороженных абрикосов (на воздухе при температурах 5 и 22 °С, в воде при температурах 5, 16 и 22 °С и действием МВ-энергии мощностью 190 Вт) до достижения в центре половинки плода температуры 5 °С перед проведением микробиологической оценки их качества.

При изучении влияния способа дефростации быстрозамороженных плодов абрикоса действием МВ-энергии на их микробиологическую обсемененность в качестве источника энергии использовали СВЧ-установку модели Samsung C.T.P. марки M187GNR (Китай) с выходной мощностью от 100 до 850 Вт и рабочей частотой 2450 МГц в течение 3–4 мин.

Результаты и их обсуждение

Результаты экспериментальных исследований, направленных на определение степени выживаемости поверхностной микробиоты плодов абрикоса в процессе шоковой заморозки (t = –25, –30 и –35 °С) и последующего холодильного хранения (t = –18 °С) с учетом сортовых особенностей, примененных режимов и способов их дефростации, приведены в таблицах 1–4.

Исследованные абрикосы в свежем виде отличались друг от друга по начальной обсемененности микроорганизмами. Наибольшее их количество было выявлено на свежих абрикосах сорта «Хонобах», а минимальное – на поверхности плодов сорта «Шалах». У абрикосов сорта «Хонобах» кожица сильнее опушена, чем у сорта «Шалах». Это, являясь фактором защиты, обеспечивает комфортные условия для жизнеспособности большинства особей микробиоты. Сорта «Краснощекий», «Уздень» и «Унцукульский поздний» занимали промежуточное положение между сортами «Хонобах» и «Шалах» по количеству выявленных на них микроорганизмов (табл. 1).

При всех примененных температурных режимах замораживания (t = –25, –30 и –35 °С) происходило снижение численности микроорганизмов на абрикосах всех исследованных сортов, по сравнению с их микробиальной обсемененностью, выявленной на свежих плодах. Однако отмечено, что снижение температурного режима замораживания, независимо от сорта, вызывало незначительное увеличение численности микроорганизмов на поверхности дефростированных плодов абрикоса. Замораживание при температуре –25 °С, по сравнению с другими режимами быстрого замораживания (t = –30 и –35 °С), обеспечило более усиленное подавление жизнедеятельности микроорганизмов на плодах всех сортов абрикоса. Это можно объяснить тем, что при медленном замораживании (–25 °С) образуются более крупные кристаллики льда, вызывающие повреждение микробной клетки. При этом часть ферментов сохраняет активность, стимулирующую метаболические процессы, приводящие к гибели микроорганизмов. При медленном замораживании (–25 °С) гибель микроорганизмов, в зависимости от сорта абрикоса, составила: МАФАнМ – на 65,2–68,6 %, дрожжей – на 61,5–69,0 %, плесеней – на 59,3–68,4 % от их исходного содержания на свежих плодах. Отмечено, что абрикосы сорта «Хонобах», которые отличались наибольшей микробиологической обсемененностью в свежем виде, в процессе низкотемпературного замораживания при всех примененных режимах заморозки (t = –25, –30 и –35 °С) характеризовались самыми высоким показателями численности микроорганизмов. Микробиологическая обсемененность плодов этого сорта после их шоковой заморозки (t = –35 °С) составила:

Таблица 1. Влияние низкотемпературных режимов замораживания на показатели микробиологической чистоты плодов абрикоса с учетом их сортовой принадлежности

Table 1. Effect of low-temperature freezing modes on microbiological indicators of apricot fruits according to variety

Наименование показателя, КОЕ/г	Допустимые уровни по ТР ТС 021/2011	Сорта абрикоса				
		«Краснощекий»	«Хонобах»	«Шалах»	«Уздень»	«Унцукульский поздний»
		Микробиота свежих абрикосов				
КМАФАнМ	не более 5×10^4	$6{,}70\times10^3$	$7{,}30\times10^3$	$4{,}60\times10^3$	$5{,}90\times10^3$	$5{,}20\times10^3$
Дрожжи	не более 200	$8{,}60\times10^1$	$9{,}10\times10^1$	$6{,}20\times10^1$	$7{,}80\times10^1$	$7{,}10\times10^1$
Плесени	не более 10^3	$3{,}11\times10^2$	$3{,}75\times10^2$	$1{,}92\times10^2$	$2{,}60\times10^2$	$2{,}27\times10^2$
Микробиота абрикосов, замороженных при t = –25 °С						
КМАФАнМ	не более 5×10^4	$2{,}10\times10^3$	$2{,}40\times10^3$	$1{,}60\times10^3$	$1{,}90\times10^3$	$1{,}70\times10^3$
Дрожжи	не более 200	$3{,}20\times10^1$	$3{,}50\times10^1$	$2{,}00\times10^1$	$2{,}60\times10^1$	$2{,}20\times10^1$
Плесени	не более 10^3	$1{,}09\times10^2$	$1{,}18\times10^2$	$0{,}78\times10^2$	$0{,}84\times10^2$	$0{,}79\times10^2$
Микробиота абрикосов, замороженных при t = –30 °С						
КМАФАнМ	не более 5×10^4	$2{,}30\times10^3$	$2{,}70\times10^3$	$1{,}80\times10^3$	$2{,}20\times10^3$	$1{,}80\times10^3$
Дрожжи	не более 200	$3{,}40\times10^1$	$3{,}80\times10^1$	$2{,}20\times10^1$	$2{,}90\times10^1$	$2{,}30\times10^1$
Плесени	не более 10^3	$1{,}16\times10^2$	$1{,}29\times10^2$	$0{,}83\times10^2$	$0{,}91\times10^2$	$0{,}82\times10^2$
Микробиота абрикосов, замороженных при t = –35 °С						
КМАФАнМ	не более 5×10^4	$2{,}80\times10^3$	$3{,}00\times10^3$	$1{,}90\times10^3$	$2{,}60\times10^3$	$2{,}20\times10^3$
Дрожжи	не более 200	$3{,}90\times10^1$	$4{,}20\times10^1$	$2{,}40\times10^1$	$3{,}10\times10^1$	$2{,}60\times10^1$
Плесени	не более 10^3	$1{,}34\times10^2$	$1{,}42\times10^2$	$0{,}95\times10^2$	$1{,}18\times10^2$	$1{,}07\times10^2$

МАФАнМ – 3000 КОЕ/г, дрожжей – 42 КОЕ/г, плесени – 142 КОЕ/г. Абрикосы сорта «Шалах», которые оказались лучшими по показателям микробиологической чистоты, отличались наименьшей численностью поверхностной микрофлоры после применения всех рассмотренных нами температурных режимов замораживания. Оказалось, что значительное влияние на изменение микробиологической обсемененности абрикосов оказывало действие низких температур, а не фактором сортовой принадлежности (табл. 1).

Экспериментальные данные показали, что при всех примененных температурных режимах замораживания возможно получение быстрозамороженных плодов абрикоса, отвечающих требованиям ТР ТС 021/2011 по микробиологическим показателям чистоты (табл. 1).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в опытных образцах абрикосов (в 25 г) как свежих, так и подвергнутых замораживанию (t = –25, –30 и –35 °С), не были обнаружены патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы. В свежих и замороженных абрикосах (0,1 г) отсутствовали бактерии группы кишечной палочки (колиформы).

Устойчивость эпифитной микрофлоры быстрозамороженных фруктов и ягод в процессе хранения зависит не только от температурного режима шоковой заморозки, но и от длительности срока холодильного хранения при t = –18 °С [11, 13, 14].

Поэтому было изучено влияние 3-х и 9-ти месячного срока холодильного хранения (t = –18 °С) быстрозамороженных опытных образцов плодов абрикоса на микробиологические показатели их качества.

Определено, что в начальный период холодильного хранения (до 3-х месяцев) происходило снижение численности микроорганизмов, локализованных на поверхности быстрозамороженных абрикосов всех изучаемых сортов. После трехмесячного холодильного хранения при t = –18 °С количество выявленных на плодах мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (МАФАнМ) снизилось на 11,5–15,2 %, дрожжей – на 15,4–20,6 %, плесневых грибов – на 4,8–7,4 % в сравнении с данными, полученными сразу после быстрого замораживания (t = –30 °С) плодов (табл. 2).

Дальнейшее 9-ти месячное холодильное хранение вызвало незначительное увеличение микробиальной обсемененности опытных образцов абрикосов. Это может быть связано с адаптацией микроорганизмов к холоду. К концу эксперимента в абрикосах, в зависимости от сорта, общее количество МАФАнМ составило $1{,}2\times10^3$–$2{,}0\times10^3$ КОЕ/г, численность дрожжей достигла 19,2 КОЕ/г и не превышала допустимую норму (200 КОЕ/г), количество обнаруженных плесневых грибов – $0{,}75\times10^2$–$1{,}08\times10^2$ КОЕ/г – было намного меньше предельных значений – 10^3 КОЕ/г (табл. 2). Результаты исследований показали, что опытные образцы абрикосов сортов «Хонобах» и «Шалах», которые отличались максимальной и минимальной микробиологической обсемененностью перед закладкой их на хранение (t = –18 °С) и после истечения 9-ти месячного срока

Таблица 2. Влияние длительности холодильного хранения (t = –18 °С) на микроорганизмы быстрозамороженных (t = –30 °С) абрикосов

Table 2. Effect of storage time (t = –18°C) on microorganisms of fast-frozen (t = –30°C) apricots

Сорт абрикоса	Микробиологические показатели				
	КМАФАнМ, КОЕ/г	Дрожжи, КОЕ/г	Плесени, КОЕ/г	БГКП (колиформы) (в 0,1 г продукта)	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы (в 25 г продукта)
	после 3 месяцев хранения абрикосов (t = –18 °С)				
«Краснощекий»	$1{,}5\times10^3$	17	93	Отсутствовали	Отсутствовали
«Хонобах»	$1{,}8\times10^3$	20	102		
«Шалах»	$1{,}1\times10^3$	12	69		
«Уздень»	$1{,}4\times10^3$	13	74		
«Унцукульский поздний»	$1{,}2\times10^3$	12	71		
	после 9 месяцев хранения абрикосов (t = –18 °С)				
«Краснощекий»	$1{,}8\times10^3$	23	99	Отсутствовали	Отсутствовали
«Хонобах»	$2{,}0\times10^3$	26	108		
«Шалах»	$1{,}2\times10^3$	15	75		
«Уздень»	$1{,}5\times10^3$	18	81		
«Унцукульский поздний»	$1{,}4\times10^3$	14	79		
Допустимые уровни по ТР ТС 021/2011	не более 5×10^4	не более 200	не более 10^3	не допускается в 0,1 г продукта	не допускается в 25 г продукта

холодильного хранения, не изменили эти свойства: наибольшее количество эпифитной микрофлоры было выявлено на плодах сорта «Хонобах», а наименьшее – на абрикосах сорта «Шалах» (табл. 2).

На плодах, замороженных при t = –30° С, в процессе 3-х и 9-ти месяцев холодильного хранения не были обнаружены БГКП, патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы. Таким образом, результаты исследования микробиоты быстрозамороженных (t = –30 °С) абрикосов после 9-ти месяцев хранения при t = –18 °С показали, что по микробиологическим показателям опытных образцы отвечали требованиям ТР ТС 021/2011.

Несмотря на то что шоковое замораживание (t = –30 °С) и последующее длительное холодильное хранение (t = –18 °С) обеспечивают значительное подавление жизнедеятельности микробиоты быстрозамороженных абрикосов, на плодах могут оставаться микроорганизмы, обладающие криофильными и адаптивными свойствами. Попадая после дефростации в благоприятные условия среды, они способны быстро восстанавливать процессы метаболизма и успешно размножаться. В связи с этим дефростацию замороженных плодов следует проводить быстро и с применением различных эффективных способов и режимов оттаивания.

Наиболее часто применяют способы размораживания фруктов и ягод на воздухе и в воде. Однако в некоторых случаях осуществляют дефростацию в растворах, паром, в вакууме, двойным контактом, сопротивлением и микроволновой обработкой.

В результате проведенных нами экспериментов выяснилось, что режимы низкотемпературного замораживания (t = –25, –30 и –35 °С) и сроки (3 и 9 месяцев) холодильного хранения при температуре –18 °С оказали значительное влияние на изменение микробиологической обсемененности абрикосов, чем факторы сортовой принадлежности. Поэтому было решено для дальнейшего изучения воздействия режимов и способов дефростации абрикосов, а также влияния длительности хранения (2, 24 и 72 ч) после дефростации на динамику их поверхностной микрофлоры взять в качестве объекта исследований быстрозамороженные абрикосы сорта «Краснощекий». Этот сорт является наиболее распространенным не только в Дагестане, но и за его пределами. Кроме того, он давно завоевал большую популярность из-за частого применения в качестве сырья для переработки на пищевых предприятиях.

Как показывают данные таблицы 3, использованные режимы и способы дефростации быстрозамороженных абрикосов сорта «Краснощекий» (после 9-ти месяцев хранения при t = –18 °С): на воздухе при температурах 5 и 22 °С, в воде при температурах 5, 16 и 22 °С и в поле действия МВ-энергии мощностью 190 Вт и частотой 2450 МГц в течение 3–4 мин обеспечивают неоднозначное снижение численности микроорганизмов, находящихся на плодах опытных образцов.

Высокая микробиологическая обсемененность определена у абрикосов, подвергнутых размораживанию на воздухе и в воде при температурах 5 и 16 °С. Повышение температуры как воздушной, так и водной среды при дефростации, способствовало усилению скорости течения процесса и снижению численности дрожжей, плесневых грибов и МАФАнМ на поверхности оттаиваемых плодов (табл. 3). На абрикосах, размороженных на воздухе при t = 22 °С, количество МАФАнМ, дрожжей и плесневых грибов уменьшилось в 1,28, 1,35 и 1,17 раза соответственно, по сравнению с показателями микробиологической чистоты, определенными после дефростирования абрикосов на воздухе при температуре 5 °С.

В настоящее время наиболее эффективным методом размораживания фруктов и ягод, обеспечи-

Таблица 3. Зависимость микробиологических показателей быстрозамороженных абрикосов сорта «Краснощекий» от способов и режимов их дефростации после истечения 9 месячного срока хранения (t = –18 °С)

Table 3. Effect of defrosting methods and modes on the microbiological indicators of fast-frozen apricots of the Krasnoshchyokiy variety after nine months of storage (t = –18°C)

Наименование показателя, КОЕ/г		Допустимые уровни по ТР ТС 021/2011	Способы и режимы дефростации абрикосов сорта Краснощекий					
			на воздухе, °С		в воде, °С		Действием СВЧ-энергии (190 Вт)	
			5	22	5	16	22	
			Численность микробиоты плодов абрикоса Краснощекий					
КМАФАнМ		не более 5×10^4	$2{,}3\times10^3$	$1{,}8\times10^3$	$2{,}0\times10^2$	$1{,}7\times10^3$	$1{,}5\times10^3$	$1{,}3\times10^3$
Дрожжи		не более 200	31	23	29	26	22	20
Плесени		не более 10^3	116	99	108	103	96	92
Не допускается в массе продукта, г	БГКП (колиформы)	0,1	Отсутствовали					
	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы	25	Отсутствовали					

вающий высокий уровень их микробиологической чистоты, как показывают результаты научных исследований отечественных и зарубежных ученых, является дефростация в поле действия электромагнитного излучения сверхвысокой частоты, продолжающееся всего несколько минут. Экспериментально обоснована возможность ингибирования деятельности патогенных микроорганизмов на плодово-ягодном сырье действием СВЧ-энергии небольшой мощности [19, 20].

Размораживание абрикосов под действием микроволнового облучения частотой 2450 МГц и мощностью 190 Вт в течение 3–4 мин привело к значительному снижению численности локализованных на них микроорганизмов, по сравнению с традиционным оттаиванием замороженных абрикосов на воздухе и в воде, при всех примененных в эксперименте температурных режимах (табл. 3). Действие СВЧ-энергии при дефростации абрикосов повысило гибель МАФАнМ на 80,6 %, дрожжей на 76,7 %, плесневых грибов на 70,4 % от исходного их содержания на свежих плодах.

Установлено, что все примененные нами в экспериментах режимы и способы дефростации быстрозамороженных абрикосов обеспечили получение продукции, соответствующей санитарно-микробиологическим требованиям ТР ТС 021/2011 (табл. 3).

Повторное замораживание дефростированных фруктов не допускается. Поэтому на следующем этапе исследований изучили изменение микробиологической обсемененности дефростированных плодов абрикоса, на примере сорта «Краснощекий», при их хранении в течение 2, 24 и 72 ч в холодильной камере (t = 5 °С) и на воздухе при комнатной температуре 22 °С (табл. 4).

Как видно из таблицы 4, с продлением срока хранения дефростированных абрикосов, независимо от температурного режима хранения, на поверхности исследованных плодов увеличилась численность микроорганизмов. После 72 часового хранения при температуре 22 °С на дефростированных абрикосах были обнаружены: МАФАнМ – $3{,}3\times10^3$ КОЕ/г, дрожжи – 117 КОЕ/г, плесени – 366 КОЕ/г. Результаты исследований показали, что в течение всего срока хранения микробиологическая чистота абрикосов, хранившихся при температуре 5 °С, была выше, чем у абрикосов, которые хранили при температуре 22 °С. Санитарно-микробиологические показатели дефростированных плодов, после хранения их при температурах 5 и 22 °С, не превысили порогового значения, установленного ТР ТС 021/2011 (табл. 4).

Выводы

Результаты экспериментов, направленных на изучение влияния температурных режимов замораживания (t = –25, –30 и –35°С) на микробиологическую чистоту абрикосов сортов «Краснощекий», «Уздень», «Унцукульский поздний», «Хонобах» и «Шалах», культивируемых в Дагестане, показали, что при всех примененных режимах шоковой заморозки происходило резкое снижение численности микроорганизмов, локализованных на исследованных плодах. Быстрое замораживание при температуре t = –25 °С, по сравнению с температурным воздействием –30 и –35 °С, обеспечило более усиленное подавление жизнедеятельности представителей эпифитной микрофлоры: МАФАнМ – на 65,2–68,6 %, дрожжей – на 61,5–69,0 %, плесеней – на 59,3–68,4 % по сравнению с их исходным содержанием на свежих абрикосах.

Проведенные микробиологические исследования абрикосов в процессе их 3-х и 9-ти месячного холодильного хранения (t = –18 °С) показали, что в начальный период (в течение 3-х месяцев) наблюдалось снижение количества микроорганизмов, выявленных на быстрозамороженных абрикосах. Девятимесячное холодильное хранение (t = –18 °С)

Таблица 4. Микробиологические показатели качества быстрозамороженных плодов абрикоса «Краснощекий» при их хранении после дефростации

Table 4. Microbiological indicators of the quality of fast-frozen apricots of the Krasnoshchyokiy variety during their storage after defrosting

Наименование показателя, КОЕ/г		Допустимые уровни по ТР ТС 021/2011	Температурный режим и срок хранения замороженных плодов сорта «Краснощекий» после их дефростации					
			t = 5 °С			t = 22 °С		
			2 ч	24 ч	72 ч	2 ч	24 ч	72 ч
КМАФАнМ		не более 5×10^4	$2{,}3\times10^3$	$1{,}6\times10^3$	$2{,}3\times10^3$	$2{,}7\times10^3$	$2{,}1\times10^3$	$3{,}3\times10^3$
Дрожжи		не более 200	25	44	76	29	58	117
Плесени		не более 10^3	123	191	259	115	284	366
Не допускается в массе продукта, г	БГКП (колиформы)	0,1	Отсутствовали					
	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы	25	Отсутствовали					

привело к незначительному увеличению численности микробиоты. К концу срока хранения (через 9 месяцев) количество микроорганизмов на дефростированных плодах, в зависимости от сорта, составляло: МАФАнМ – $1{,}2\times10^3$–$2{,}0\times10^3$ КОЕ/г, дрожжей – 14–26 КОЕ/г, плесневых грибов – 75–108 КОЕ/г.

Примененные в экспериментах режимы и способы дефростации быстрозамороженных абрикосов: на воздухе при температурах 5 и 22 °С; в воде при температурах 5, 16 и 22 °С и под влиянием МВ-энергии частотой 2450 МГц и мощностью 190 Вт в течение 3–4 мин вызвали неоднозначное снижение численности эпифитной микрофлоры плодов опытных образцов. Дефростация абрикосов под действием микроволнового облучения привела к большему уничтожению микроорганизмов по сравнению с традиционным оттаиванием их на воздухе и в воде. При этом численность МАФАнМ сократилась на 80,6 %, дрожжей – на 76,7 %, плесневых грибов – на 70,4 % от исходного их содержания на свежих абрикосах.

Результаты определения качественного состава и количественного содержания эпифитной микрофлоры абрикосов сортов «Краснощекий», «Уздень», «Унцукульский поздний», «Хонобах» и «Шалах», после шоковой заморозки (t = –30 °С) и последующего 3-х и 9-ти месячного хранения (t = –18 °С), свидетельствуют о том, что эти технологии обеспечивают получение быстрозамороженных абрикосов, отвечающих требованиям ТР ТС 021/2011 по микробиологическим показателям безопасности.

Критерии авторства

Все авторы внесли равный вклад в получении экспериментальных данных, в обработке, анализе и обобщении результатов исследований, а также в оформлении статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors contributed equally to the experimental work, data processing, analysis and synthesis of research results, and bare equal responsibility for the information published in this paper.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литература

1. Bosca, S. Reliability assessment in a freeze-drying process / S. Bosca, D. Fissore, M. Demichela // Industrial and Engineering Chemistry Research. – 2017. – Vol. 56, № 23. – P. 6685–6694. https://doi.org/10.1021/acs.iecr.7b00378.

2. Marazani, T. Investigation of the parameters governing the performance of jet impingement quick food freezing and cooling systems – A review / T. Marazani, D. M. Madyira, E. T. Akinlabi // Procedia Manufacturing. – 2017. – Vol. 8. – P. 754–760. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.097.

3. Гусейнова, Б. М. Влияние быстрого замораживания и последующего холодового хранения на пищевую ценность плодов дикоросов / Б. М. Гусейнова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 3. – С. 127–137.

4. Гусейнова, Б. М. Пищевая ценность дикорастущих плодов из горного Дагестана и ее сохранность после быстрого замораживания и холодового хранения / Б. М. Гусейнова // Вопросы питания. – 2016. – Т. 85, № 4. – С. 76–81.

5. Экспериментальные исследования процесса и технологии быстрого охлаждения растительной продукции с использованием газообразного азота / К. П. Венгер, В. И. Попков, О. А. Феськов [и др.] // Вестник Международной академии холода. – 2017. – № 4. – С. 66–74. https://doi.org/10.21047/1606-4313-2017-16-4-66-74.

6. Vasco-Correa, J. Enzymatic extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) at laboratory and bench scale / J. Vasco-Correa, A. D. Zapata Zapata // LWT – Food Science and Technology. – 2017. – Vol. 80. – P. 280–285. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.024.

7. Processing and storage of apricots: effect on physicochemical and antioxidant properties / S. M. Wani, F. A. Masoodi, M. Ahmad [et al.] // Journal of Food Science and Technology. – 2018. – Vol. 55, № 11. – P. 4505–4514. https://doi.org/10.1007/s13197-018-3381-x.

8. Короткий, И. А. Анализ параметров, влияющих на продолжительность замораживания овощных полуфабрикатов комбинированным способом / И. А. Короткий, Г. Ф. Сахабутдинова, А. В. Шафрай // Техника и технология пищевых производств. – 2017. – Т. 46, № 3. – С. 108–113.

9. Influence of processing methods and storage on phenolic compounds and carotenoids of apricots / S. M. Wani, F. A. Masoodi, E. Haq [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2020. – Vol. 132. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109846.

10. Джей, Дж. М. Современная пищевая микробиология / Дж. М. Джей, М. Дж. Лесснер, Д. А. Гольден. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний. 2017. – 886 с.

11. Алимов, А. В. Микробиологическая оценка овощей в процессе замораживания и низкотемпературного хранения / А. В. Алимов, М. Е. Цибизова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2015. – № 7. – С. 46–49.

12. Влияние технологических стрессовых факторов на экспрессию генов патогенности возбудителей пищевого кампилобактериоза C*ampylobacter jejuni* / Н. Р. Ефимочкина, И. Б. Быкова, Ю. М. Маркова [и др.] // Вопросы питания. – 2016. – Т. 85, № 1. – С. 66–74.

13. Щетинин, М. П. Научно-гигиенические подходы к разработке замороженного десерта / М. П. Щетинин, З. Р. Ходырева // Вопросы питания. – 2018. – Т. 87, № 3. – С. 72–78. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10034.

14. Психрофильные псевдомонады-эндофиты как потенциальные агенты в биоконтроле фитопатогенных и гнилостных микроорганизмов при холодильном хранении картофеля / А. В. Щербаков, Е. Н. Щербакова, С. А. Мулина [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – Т. 52, № 1. – С. 116–128. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.1.116rus.

15. Vinuesa, P. GET_PHYLOMARKERS, a software package to select optimal orthologous clusters for phylogenomics and inferring pan-genome phylogenies, used for a critical geno-taxonomic revision of the genus *Stenotrophomonas* / P. Vinuesa, L. E. Ochoa-Sánchez, B. Contreras-Moreira // Frontiers in Microbiology. – 2018. – Vol. 9. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00771.

16. Biogeography of cryoconite bacterial communities on glaciers of the Tibetan Plateau / Y. Liu, T. J. Vick-Majors, J. C. Priscu [et al.] // FEMS Microbiology Ecology. – 2017. – Vol. 93, № 6. https://doi.org/10.1093/femsec/fix072.

17. Versatile genome assembly evaluation with QUAST-LG / A. Mikheenko, A. Prjibelski, V. Saveliev [et al.] // Bioinformatics. – 2018. – Vol. 34, № 13. – P. i142–i150. https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bty266.

18. Flavobacterium collinsense sp. Nov., isolated from a till sample of an Antarctic glacier / Y. Zhang, F. Jiang, X. Chang [et al.] // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. – 2016. – Vol. 66, № 1. – P. 172–177. https://doi.org/10.1099/ijsem.0.000688.

19. Ихлов, Б. Л. Действие сверхвысокочастотного электромагнитного поля на микроорганизмы / Б. Л. Ихлов, А. В. Мельниченко, А. Ю. Ощепков // Вестник новых медицинских технологий. – 2017. – Т. 24, № 2. – С. 141–146. https://doi.org/10.12737/article_5947d3b2beb626.09180440.

20. Влияние комбинирования микроволнового и ультрафиолетового методов обработки растительного сырья на ингибирование культуры *Salmonella* / А. Ю. Колоколова, Н. В. Илюхина, М. В. Тришканева [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – Т. 82, № 1 (83). – С. 76–81. https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-1-76-81.

References

1. Bosca S, Fissore D, Demichela M. Reliability assessment in a freeze-drying process. Industrial and Engineering Chemistry Research. 2017;56(23):6685–6694. https://doi.org/10.1021/acs.iecr.7b00378.

2. Marazani T, Madyira DM, Akinlabi ET. Investigation of the parameters governing the performance of jet impingement quick food freezing and cooling systems – A review. Procedia Manufacturing. 2017;8:754–760. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.097.

3. Guseynova BM. Influence of fast freezing and subsequent cold storage on nutrition value of wild plant fruits. Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2017;(3):127–137. (In Russ.).

4. Guseynova BM. Nutrition value of wild-growing fruits from mountain Dagestan and its safety after fast freezing and cold storage. Problems of Nutrition. 2016;85(4):76–81. (In Russ.).

5. Venger KP, Popkov VI, Feskov OA, Shishkina NS, Karastoyanova OV, Shatalova NI. Rapid freezing of herbal products by gaseous nitrogen. Journal of International Academy of Refrigeration. 2017;(4):66–74. (In Russ.). https://doi.org/10.21047/1606-4313-2017-16-4-66-74.

6. Vasco-Correa J, Zapata Zapata AD. Enzymatic extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) at laboratory and bench scale. LWT – Food Science and Technology. 2017;80:280–285. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.024.

7. Wani SM, Masoodi FA, Ahmad M, Mir SA. Processing and storage of apricots: effect on physicochemical and antioxidant properties. Journal of Food Science and Technology. 2018;55(11):4505–4514. https://doi.org/10.1007/s13197-018-3381-x.

8. Korotkiy IA, Sahabutdinova GF, Shafrai AV. Analysis of parameters influencing period of vegetable semi-finished products freezing with combined method. Food Processing: Techniques and Technology. 2017;46(3):108–113. (In Russ.).

9. Wani SM, Masoodi FA, Haq E, Ahmad M, Ganai SA. Influence of processing methods and storage on phenolic compounds and carotenoids of apricots. LWT – Food Science and Technology. 2020;132. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109846.

10. Dzhey DzhM, Lessner MDzh, Gol′den DA. Sovremennaya pishchevaya mikrobiologiya [Modern food microbiology]. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy; 2017. 886 p. (In Russ.).

11. Alimov AV, Tsibizova ME. Microbiological assessment of vegetables during freezing and low temperature storage. Storage and Processing of Farm Products. 2015;(7):46–49. (In Russ.).

12. Efimochkina NR, Bykova IB, Markova YuM, Korotkevich YuV, Sheveleva SA. The study of influence of stresses on virulence genes expression in foodborne pathogens *Campylobacter jejuni*. Problems of Nutrition. 2016;85(1):66–74. (In Russ.).

13. Schetinin MP, Khodyreva ZR. Scientific bases of development of frozen dessert. Problems of Nutrition. 2018;87(3):72–78. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10034.

14. Shcherbakov AV, Shcherbakova EN, Mulina SA, Rots PYu, Daryu RF, Kiprushkina EI, et al. Psychrophilic endophytic *Pseudomonas* as potential agents in biocontrol of phytopathogenic and putrefactive microorganisms during potato storage. Agricultural Biology. 2017;52(1):116–128. (In Russ.). https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.1.116rus.

15. Vinuesa P, Ochoa-Sánchez LE, Contreras-Moreira B. GET_PHYLOMARKERS, a software package to select optimal orthologous clusters for phylogenomics and inferring pan-genome phylogenies, used for a critical geno-taxonomic revision of the genus *Stenotrophomonas*. Frontiers in Microbiology. 2018;9. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00771.

16. Liu Y, Vick-Majors TJ, Priscu JC, Yao T, Kang S, Liu K, et al. Biogeography of cryoconite bacterial communities on glaciers of the Tibetan Plateau. FEMS Microbiology Ecology. 2017;93(6). https://doi.org/10.1093/femsec/fix072.

17. Mikheenko A, Prjibelski A, Saveliev V, Antipov D, Gurevich A. Versatile genome assembly evaluation with QUAST-LG. Bioinformatics. 2018;34(13):i142–i150. https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bty266.

18. Zhang Y, Jiang F, Chang X, Qiu X, Ren L, Qu Z, et al. *Flavobacterium collinsense* sp. Nov., isolated from a till sample of an Antarctic glacier. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2016;66(1):172–177. https://doi.org/10.1099/ijsem.0.000688.

19. Ikhlov BL, Melnichenko AV, Oshchepkov AYu. The impact of microwave electromagnetic field on microbes. Journal of New Medical Technologies. 2017;24(2):141–146. (In Russ.). https://doi.org/10.12737/article_5947d3b2beb626.09180440.

20. Kolokolova AYu, Ilyuhina NV, Trishkaneva MV, Korolev AA. The effect of combining microwave and ultraviolet methods of plant materials processing on *Salmonella* culture inhibition. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2020;82(1)(83):76–81. (In Russ.). https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-1-76-81.

2021 Т. 51 № 1 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-39-52
УДК 664.1.037

Оригинальная статья
http://fptt.ru

Вероятностное моделирование удельной массовой скорости роста сахарных кристаллов

Д. В. Арапов[1,*], В. А. Курицын[2], С. М. Петров[3], Н. М. Подгорнова[3], М. А. Зайцева[1]

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

[2] ЗАО «Инженерные системы автоматизации», Воронеж, Россия

[3] Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ), Москва, Россия

Дата поступления в редакцию: 25.11.2020 *Дата принятия в печать: 30.12.2020*

**e-mail: arapovdv@gmail.com*
© Д. В. Арапов, В. А. Курицын, С. М. Петров, Н. М. Подгорнова, М. А. Зайцева, 2021

Аннотация.
Введение. Для описания промышленной кристаллизации сахара разработана обобщенная математическая модель удельной скорости роста множества кристаллов, зависящая от температуры, содержания сухих веществ, чистоты раствора, концентрации и среднего размера кристаллов. Модель включает вероятностную компоненту скорости роста монокристалла и уменьшающую поправку стесненного роста кристаллов, зависящую от содержания и среднего размера кристаллов.
Объекты и методы исследования. Массовая кристаллизация сахарозы, включая скорость роста монокристалла и множества кристаллов в утфеле. Математическая обработка опытных данных выполнена комплексом методов нелинейного программирования.
Результаты и их обсуждение. На основе 421 опыта создана вероятностная математическая модель удельной массовой скорости роста сахарного монокристалла, зависящая от температуры раствора, чистоты и содержания сухих веществ. Погрешность модели ± 11,3 %. Модель охватывает диапазон изменения температуры, концентрации сухих веществ и чистоты раствора. Стесненность кристаллов учитывается зависимостью относительной скорости роста от их концентрации и среднего размера, погрешность которой равна ± 1,3 %. Диапазон применения поправки: концентрация кристаллов 5–60 мас. %, средний размер 0,25–1,50 мм.
Выводы. Разработана обобщенная математическая модель кристаллизации, учитывающая температуру, чистоту и содержание сухих веществ в утфеле, концентрацию кристаллов сахарозы и их средний размер. Сравнение расчетных и опытных величин удельной массовой скорости роста сахарного монокристалла и безразмерной поправки роста множества кристаллов от их линейного размера и концентрации показало близость расчетных величин к экспериментальным и позволило сделать вывод об адекватности разработанной обобщенной математической модели кристаллизации. Результаты работы могут быть использованы при исследовании и оптимизации процесса массовой кристаллизации сахара.

Ключевые слова. Сахар, растворимость, кристаллизация, скорость роста

Финансирование. Работа выполнена на базе кафедры высшей математики и информационных технологий Воронежского государственного университета инженерных технологий (ВГУИТ).

Для цитирования: Вероятностное моделирование удельной массовой скорости роста сахарных кристаллов / Д. В. Арапов, В. А. Курицын, С. М. Петров [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 39–52. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-39-52.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

Specific Mass Growth Rate of Sugar Crystals: Probabilistic Modeling

Denis V. Arapov[1,*], Vladimir A. Kuritsyn[2], Sergey M. Petrov[3], Nadezda M. Podgornova[3], Mariya A. Zaitseva[1]

[1] Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

[2] CJSC Engineering systems of automation, Voronezh, Russia

[3] K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Moscow, Russia

Received: November 25, 2020 *Accepted: December 30, 2020*

**e-mail: arapovdv@gmail.com*
© D.V. Arapov, V.A. Kuritsyn, S.M. Petrov, N.M. Podgornova, M.A. Zaitseva, 2021

Abstract.
Introduction. The present research featured industrial sugar crystallization. The article introduces a generalized mathematical model of specific growth rate of sugar crystals depending on temperature, solids, and the purity of solution, as well as on the concentration and average size of crystals. The model includes the probabilistic component of growth rate of monocrystals and the reduced adjustment of the constrained crystal growth depending on the abovementioned as-pects.
Study objects and methods. The research focused on mass crystallization of sucrose, including the growth rate of monocrystals and the number of crystals in the fill mass. The obtained experimental data were processed using nonlinear programming.
Results and discussion. 421 experiments made it possible to develop a probabilistic mathematical model of specific mass growth rate of sugar monocrystals and its dependence on the solution temperature, purity, and solids content. Model error: ± 11.3%. The model covers the temperature range, concentration of solids, and purity of the solution. The proximity of crystals was calculated according to the dependence of the growth rate on their concentration and the average size (error: ± 1.3%). The adjustment range: concentration of crystals = 5–60%, average size = 0.25–1.50 mm.
Conclusion. The present generalized mathematical model of crystallization considered the temperature, as well as the purity and solids content in the fill mass, the concentration of sucrose crystals and their average size. The research compared the effect of linear size and concentration of sugar monocrystals on the calculated and experimental sizes of specific mass growth rate and the dimensionless adjustment of growth rate. The calculated sizes proved to be close to the ex-perimental data, which showed adequacy to the developed crystallization model. The research results can be used to optimize the process of mass sugar crystallization.

Keywords. Sugar, solubility, crystallization, growth rate

Funding. The research was performed on the premises of the Department of Higher Mathematics and Information Technologies, Voronezh State University of Engineering Technologies (VSUET).

For citation: Arapov DV, Kuritsyn VA, Petrov SM, Podgornova NM, Zaitseva MA. Specific Mass Growth Rate of Sugar Crystals: Probabilistic Modeling. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):39–52. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-39-52.

Введение

Кристаллизация сахара – это нелинейный, нестационарный процесс. От количества растворенной сахарозы зависит либо дальнейшее растворение твердой фазы, либо ее рост. Сахароза в ненасыщенном ею растворе продолжает растворяться, а в пересыщенном – расти [1]. В поликомпонентном производственном растворе растворенную сахарозу можно условно разделить на две части. Первая соединена с водой, а вторая связана с несахарами. Многочисленными исследованиями установлено, что относительно небольшая концентрация несахаров в поликомпонентной жидкой фазе снижает растворимость сахарозы, а их высокая концентрация резко увеличивает коэффициент ее растворимости [1–3]. Предполагается, что в поликомпонентном сахарном растворе образуется сложное неустойчивое химическое соединение из сахара (CX), несахара (HCX) и воды (H_2O):

$$mCX + nHCX + kH_2O \underset{K_p}{\overset{K_o}{\rightleftarrows}} (CX)_m (HCX)_n (HOH)_k \quad (1)$$

где m, n, k – стехиометрические коэффициенты; K_o, K_p – скорости реакций образования и разложения неустойчивого вещества.

В разбавленном поликомпонентном растворе реакция сдвинута вправо, в пересыщенном – влево, в насыщенном растворе система находится в равновесном состоянии. Эта гипотеза является основной при объяснении происхождения мелассы [1]. Зарождение и рост кристаллической фазы без разрыва межмолекулярных водородных связей между сахарозой и водой невозможны. В лабораторных кристаллах сахара, которые получены при незначительных пересыщениях из чистых растворов, вода отсутствует. Но при получении товарного сахара из производственных поликомпонентных растворов некоторые молекулы воды (0,04 ± 0,15 % к массе сахарозы) попадают в твердую фазу предположительно с неупорядоченными сахарными ассоциатами. В статье I. Z. Maria показано, что для роста кристаллической фазы необходим разрыв определенного количества молекулярных связей между сахарозой и водой в растворе и переход на новый энергетический уровень молекул сахара [2]. Определенную роль в образовании кристаллической фазы играют явления флуктуации. Благодаря им повышается энергия активации части сталкивающихся молекул. Они могут выходить

из потенциальной ямы, преодолев энергетический барьер. При столкновениях сахарозных частиц могут образовываться ассоциаты: $A_{n-1} + A \rightleftarrows A_n$ [3]. При числе молекул в ассоциате 80–10 и размере около 2 нм он становится зародышем и в дальнейшем может служить центром отложения сахарозных молекул.

Выявлено нестационарное автокалитическое образование зародышей сахарных кристаллов, преобладание вторичного зародышеобразования на конечной стадии роста твердой фазы, прямо пропорциональная зависимость от температуры как приращения кристаллической массы, так и зародышеобразования, но с преобладанием скорости приращения твердой фазы [4]. Состав твердой фазы при массовой кристаллизации сахара зависит от одновременно протекающих процессов роста кристаллов, образования зародышей, их растворения, агрегации и коагуляции ассоциатов, включений маточного раствора и воды в кристаллы [4]. Средний размер кристаллов зависит от пересыщения. При высоких пересыщениях наблюдается активное «склеивание» кристаллов в агрегаты, а прироста кристаллической массы практически не происходит. Более мелкие кристаллы твердой фазы образуются при перемешивании поликомпонентного раствора, которое немного снижает воздействие пересыщения [1, 3].

Изучено отрицательное воздействие примесей на приращение кристаллической фазы [5, 6]. Примесь внедряется в кристаллическую решетку, снижает скорость роста твердой фазы, нарушает габитус кристалла с образованием дефектов кристаллической решетки. В центре кристалла откладывается 80 % посторонних включений несахаров [5, 6]. Твердая фаза, которая образуется при самопроизвольной кристаллизации, практически не имеет посторонних включений. Установлено, что отложение несахаров в кристаллической фазе обусловлено их высокой положительной гидратацией [7].

Известно четыре основных теорий кристаллизации: диффузионная, молекулярно-кинетическая, термодинамическая и дислокационная. Они описывают как непрерывный (диффузионная), так и дискретный (остальные теории) рост твердой фазы [3, 8, 9].

Теория диффузионного роста описана в [3, 4, 10–14]. Согласно ей кристаллизация реализуется за счет межфазного обмена и заключается в диффузии к твердой фазе растворенных сахарозных молекул, их адсорбции на кристалле с одновременным разрывом водородной связи сахароза–вода и образованием двумерной частицы, поверхностной диффузии двумерных зародышей и последующего вхождения их в кристаллическую решетку [3–5, 12, 13]:

$$V_D = k_D \left(C_V - C_P\right);\ V_{KX} = k_{KX} \left(C_P - C_H\right)^n \qquad (2)$$

где V_D и V_{KX} − скорость роста, определяемая диффузионной и кристаллохимической компонентами соответственно, кг/м^2·с; k_D и k_{KX} − коэффициенты компонент скорости роста, м/с; C_V, C_P, C_H − плотность в объеме раствора на границе твердой и жидкой фазы и насыщенного раствора, кг/м^3; n = 2 − порядок реакции (кажущийся) [8, 9, 13]. Иногда считают, что

$$\begin{matrix} n = 1 \\ V_D = V_{\ K} = V \end{matrix} \qquad (3)$$

где V_K − массовая скорость роста твердой фазы [3, 11, 14].

Установлено, что некоторая часть растворенного вещества из-за постоянного движения границы раздела фаз захватывается твердой фазой непосредственно из пограничной зоны без участия диффузии [9].

Полное время реакции роста кристаллической фазы зависит от скоростей диффузии в объеме раствора и на поверхности твердой фазы, а также времени вхождения двумерного зародыша в кристалл [13]. Невысокая скорость роста твердой фазы наблюдается при небольшом пересыщении раствора. Определяющей стадией в этом случае служит реагирование сахарозных молекул с поверхностью. С увеличением пересыщения раствора увеличивается значимость процесса диффузии и он становится определяющим.

Основанная на диффузионном механизме детерминированная математическая модель для описания удельной массовой скорости роста сахарных кристаллов приведена в [8]:

$$K_{KP} = \frac{dm}{d\tau \cdot F} = k_D \left(C_П - C_H\right) + k_P \left(C_П - C_H\right)^2 \qquad (4)$$

где K_{KP} − удельная скорость роста, кг/м^2·с; $C_П$, C_H − концентрации растворов (пересыщенного и насыщенного), моль/кг.

Недостаток модели заключается в том, что она не отображает вероятностный характер роста твердой фазы. B. Bubnik и его соавторы наблюдали диффузионный механизм роста при температурах раствора больше 60 °С, а смешанный механизм при более низких температурах [10].

Однако в рамках диффузионной теории необъяснимы экспериментально установленные многими исследователями моменты:

1) константа скорости реакции $K_{кх}$ является функцией от размера кристалла и изменяется при переходе от одной грани к другой [1, 9];

2) при определенных условиях, которые устанавливаются в процессе массовой кристаллизации, дислокационный механизм роста проявляется всегда [9];

3) коэффициент диффузионного переноса изменяется по поверхности грани [9, 12];

4) минимальная концентрация вещества определяется в центре грани, а максимальная на ее углах [9, 12];

5) отложение слоев на кристаллических гранях реализуется дискретными порциями [9, 10];
6) кристаллы, размер которых меньше 50 мкм, растут при коэффициенте пересыщения > 1,038 и только за счет поверхностной реакции [15].

В книге J. W. Mullin выдвинуто предположение о совместной одновременной реализации молекулярно-диффузионного, послойного и блокового роста кристаллической фазы, который достаточно хорошо определяется при высоких коэффициентах пересыщения [9].

При математическом описании процесса кристаллизации рассматривают скорость наращивания кристаллической массы (массовую скорость) или линейную скорость роста одиночного кристалла либо множества кристаллов [3, 5, 8, 11, 16–21]. В своей работе Я. Грабка привел базовые кинетические зависимости между средним линейным размером промышленного кристалла, его массой, площадью поверхности и количеством кристаллов в 1 кг [18]. Достаточно точная (погрешность ± 4,6 %) многопараметрическая регрессионная модель для оценки размера промышленного сахарного кристалла описана в [19]. В статье Y. Meng с соавторами представлена гибридная математическая модель процесса кристаллизации тростникового сахара, используемая для управления и позволяющая прогнозировать пересыщение маточного раствора, его чистоту, содержание кристаллов и основные параметры распределения кристаллов по размерам [20]. Модель описана системой дифференциальных, интегральных и алгебраических уравнений баланса веществ утфеля, теплового баланса, моментов распределения. Динамическая модель, использующая программное обеспечение (ПО) SysCAD, разработана для имитации работы вакуум-аппарата периодического действия и отображает зависимость пересыщения маточного раствора от скорости испарения воды при обогреве аппарата паром низкого давления [21]. Имитационная модель процесса уваривания сахарного утфеля, в которой установлена взаимосвязь между основными технологическими параметрами, описана в [22]. В работе B. J. C. de Castro и др. с использованием ПО EMSO разработана феноменологическая модель, позволяющая определять концентрацию кристаллов в утфеле, чистоту мелассы и утфеля, а также распределение кристаллов по размерам [23]. Отмечается, что стоимость ПО EMSO составляет значительную часть производственных затрат. Управление работой вакуум-аппарата в пределах ширины метастабильной зоны с использованием механистических кинетических моделей реализовано в [24]. Отмечается существенное улучшение гранулометрического состава сахарного песка.

Основная трудность в изучении роста кристаллов в промышленном производстве заключается в отсутствии инструментов для непосредственного измерения определяющих параметров процесса [25]. Инструменты SeedMaster, разработанные K-Patents Oy, позволили реализовать непосредственное измерение перенасыщения, концентрации кристаллов и чистоты межкристального раствора [25, 26]. Учет этих измерений позволил разработать многопараметрическую модель линейной скорости роста сахарных кристаллов модульного типа. Посредством системы дифференциальных уравнений изменения размера кристалла, концентрации кристаллов в утфеле и моментов случайной величины (размера кристаллов) моделируется процесс кристаллизации сахаристых веществ [27–29]. В работе V. Myronchuk с соавторами на основе материального баланса по сахарозе, несахарам, сухим веществам и воде, а также полиномиальной модели растворимости сахарозы в нечистых растворах рассчитывается кристаллизация сахарозы при охлаждении [30]. Получено экспериментальное распределение кристаллов желтого сахара по размерам в результате политермической кристаллизации в системе вертикального и горизонтального аппаратов.

Изменение фазового состояния пересыщенного сахарного раствора осуществляется путем зарождения и роста сахарных кристаллов. В кристаллизующейся системе различают гомогенное образование кристаллических зародышей (образование «муки») и гетерогенный рост кристаллов вокруг искусственно введенных и гомогенно образовавшихся зародышей [31–33]. Для зарождения кристаллов могут эффективно использоваться ультразвуковые волны [34]. Отмечается существенное улучшение гранулометрического состава кристаллического сахара по сравнению с затравкой пудрой или пастой.

Скорость массовой кристаллизации сахарозы в стесненных промышленных условиях в большой степени зависит от среднего линейного размера кристаллов ($l_{кр}$) и их концентрации в утфеле (φ). Это установлено экспериментально и выявлено теоретически [1, 3, 9, 10, 35–37]. Однако этот вопрос находится на стадии изучения. С помощью метода искусственных утфелей детальные экспериментальные исследования данного вопроса провели украинские ученые [36]. Но полученные результаты использовать в промышленном производстве затруднительно, ввиду того что авторы не смогли получить математическую модель, описывающую зависимость скорости кристаллизации от этих характеристик.

Анализ литературных источников позволяет сделать вывод, что процесс промышленной кристаллизации сахара-песка имеет вероятностный характер. В нем кристаллы, кроме отдельных молекул сахарозы, могут встраиваться в ассоциаты

этих молекул, молекулы и ионы воды и несахаров, присутствующие в маточном растворе.

Целью работы является разработка вероятностной математической модели, позволяющая описать удельную массовую скорость роста твердой фазы с учетом температуры поликомпонентного раствора, концентрации в нем сухих веществ и сахара, содержания кристаллов и их среднего линейного размера.

Объекты и методы исследования

Вычислительные эксперименты проводились в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» на кафедре высшей математики и информационных технологий.

Экспериментальной основой вероятностной модели удельной скорости роста сахарных кристаллов стали выполненные за последние 70–80 лет обширные исследования (421 опыт), опубликованные известными учеными: А. Бригель-Мюллером, Г. Вавринцем, И. А. Кухаренко, А. А. Герасименко и П. В. Головиным, Ю. М. Жвирблянским, М. И. Нахмановичем и И. Ф. Зеликманом, А. Ван-Гуком и другими. Данные исследования отличаются методиками: пересыщенный чистый или поликомпонентный раствор находился как в статическом, так и в динамическом состоянии; прирост кристаллов измеряли путем взвешивания пробы с высокой точностью на аналитических весах разной конструкции [5, 8]. Для моделирования нами отбирались только те опыты, авторы которых исследовали зависимость удельной массовой скорости роста $K_{кр}$ от температуры, концентрации сухих веществ и доброкачественности пересыщенного раствора. При кристаллизации у поверхности образца образуются восходящие концентрационные потоки (рис. 1).

Критерий Архимеда при восходящих потоках равен:

$$Ar = \frac{g \cdot \rho_{П}^2 \cdot l^3}{\mu^2} \cdot \frac{\rho_{П} - \rho_{Н}}{\rho_{Н}} \quad (5)$$

где $\rho_{П}$, $\rho_{Н}$ – плотность пересыщенного и насыщенного раствора; μ – вязкость динамическая насыщенного раствора; g – ускорение свободного падения.

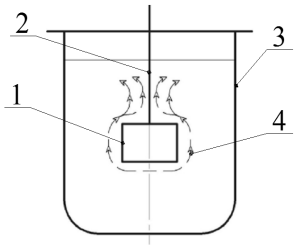


Рисунок 1. Схема проведения опытов при кристаллизации сахарозы: 1 – кристалл; 2 – нить; 3 – сосуд с пересыщенным раствором; 4 – восходящие концентрационные потоки

Figure 1. Scheme of experiments with sucrose crystallization: 1 – crystal; 2 – thread; 3 – vessel with supersaturated solution; 4 – ascending concentration flows

Характерный размер кристалла l определяется через диаметр эквивалентного кристаллу шара $V_{Ш}$:

$$l = d_{экв} = \left(\frac{6V_{Ш}}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

Объектом исследования был выбран процесс массовой кристаллизации сахара на основе производственных и искусственных утфелей (28 экспериментов) [35, 36]. В опытах И. К. Поперека и Ю. Д. Кота в качестве основы твердой фазы использовались сахарозные кристаллы. Размер кристаллов составил 0,25, 0,50, 1,00 и 1,50 мм, массовое содержание в утфеле 20–55 %. Температура в опытах снижалась за два часа с постоянной скоростью 10 °С/ч от 60 до 40 °С [36]. Массу кристаллической фазы после опыта определяли взвешиванием. Условия кристаллизации в опытах: пересыщение, скорость перемешивания, продолжительность опытов и перепад температур были одинаковы. Изменялась масса твердой фазы относительно общего объема двухфазной системы.

Аналогичные эксперименты с поликомпонентными сахарными растворами выполнил коллектив исследователей под руководством Ю. М. Жвирблянского [35]. В их опытах содержание кристаллов в поликомпонентном пересыщенном растворе изменялось в диапазоне 5–45 мас. %. В обеих сериях экспериментов, которые дополняют друг друга, получены гладкие функциональные зависимости скорости роста твердой фазы от массовой концентрации кристаллов в диапазоне 5–60 мас. %. Было установлено монотонное уменьшение скорости кристаллизации при увеличении содержания твердой фазы. Выявленная гладкость и непрерывность позволяет экстраполировать эксперименты до концентрации твердой фазы 5 и 60 мас. % соответственно [36]. Таким способом установили максимальную и минимальную скорости роста твердой фазы [36]. Максимальная скорость равна 1085 мг/(м^2·мин) для φ_{M} = 5 мас. %, $l_{кр}$ = 1,5 мм. Эта величина подтверждается А. И. Требиным с соавторами, которые исследовали скорость роста одиночного кристалла [37]. Они установили скорость роста равную 1100 мг/(м^2·мин) при таких же параметрах эксперимента, как и в [36].

Таким образом, скорость кристаллизации множества кристаллов, содержащегося в сахарном растворе в количестве 5 мас. % и менее, практически равна скорости роста одиночного кристалла при одинаковых условиях роста. Этот вывод не входит в противоречие с теоретическими представлениями о скорости роста твердой фазы в стесненных условиях [1, 3, 9–11].

Таблица 1. Экспериментальные значения безразмерной относительной скорости роста сахарных кристаллов в зависимости от их концентрации и среднего размера [35, 36]

Table 1. Experimental values of the dimensionless relative growth rate of sugar crystals depending on their concentration and average size [35, 36]

Относительная скорость кристаллизации	Средний размер кристалла, мм	Массовая концентрация кристаллов, %
1	2	3
0,714286	1,50	20
0,496774	1,00	20
0,416000	0,50	20
0,336406	0,25	20
0,543779	1,50	30
0,344999	1,00	30
0,304148	0,50	30
0,230415	0,25	30
0,382489	1,50	40
0,247926	1,00	40
0,216590	0,50	40
0,152074	0,25	40
0,271889	1,50	50
0,184332	1,00	50
0,158525	0,50	50
0,110599	0,25	50
1,000000	1,50	5
0,751152	1,00	5
0,646001	0,50	5
0,554999	0,25	5
0,884793	1,50	10
0,668203	1,00	10
0,565000	0,50	10
0,470999	0,25	10
0,183410	1,50	60
0,147465	1,00	60
0,137999	0,50	60
0,098618	0,25	60

Влияние стесненности кристаллов в утфеле на скорость кристаллизации может быть описано безразмерной относительной скоростью роста, для получения которой разделили данные опытов [36] и [35] на величину 1085 мг/(м^2·мин). Получили значения безразмерных относительных скоростей кристаллизации $K_{отн}$, представленных в таблице 1. В работе Y. Meng с соавторами приведена величина $K_{отн}$, которая равна 0,16 при объемной концентрации кристаллов в утфеле 60 %, но без указания их среднего размера [20]. Сравнение этой величины с данными таблицы 1 при 50–60 мас. % показывает их тесную близость.

Результаты и их обсуждение

В [8, 30] описана математическая модель процесса массовой политермической кристаллизации сахарозы, включающая материальный и тепловой баланс аппарата. Однако материальный баланс не учитывает стесненности кристаллов, включение в них из пересыщенных поликомпонентных растворов несахаров и воды. С учетом этих явлений уравнения материального баланса кристаллизатора запишутся следующим образом:

$$M_y = M_{кр.н} + M_{мн} = M_{кр.к} + M_{мк} \text{ – общий баланс} \quad (7)$$

$$M_y \cdot CV_y \cdot Q_y = M_{мн} \cdot CV_{мн} \cdot Q_{мн} + M_{кр.н} = M_{мк} \cdot CV_{мк} \cdot Q_{мк} + (M + \Delta M_{нсх} + \Delta M_в)_{кр.к} -$$

баланс по сахару (8)

$$M_y \cdot CV_y \cdot (1 - Q_y) = M_{мн} \cdot CV_{мн} \cdot (1 - Q_{мн}) = M_{мк} \cdot CV_{мк} \cdot (1 - Q_{мк}) + (\Delta M_{нсх})_{кр.к} -$$

баланс по несахарам (9)

$$M_y \cdot CV_y = M_{мн} \cdot CV_{мн} + M_{кр.н} = M_{мк} \cdot CV_{мк} + (M + \Delta M_{нсх})_{кр.к} -$$

баланс по сухим веществам (10)

$$M_y \cdot (1 - CV_y) = M_{мн} \cdot (1 - CV_{мн}) = M_{мк} \cdot (1 - CV_{мк}) + (\Delta M_в)_{кр.к} -$$

баланс по воде (11)

где M, $M_{сх}$, $M_{нсх}$, $M_в$, M_y, $M_м$ – массовые расходы кристаллического и растворенного сахара, несахаров, воды, утфеля и мелассы, кг/с; Q_y, $Q_м$ – чистота субстанции (утфеля, мелассы), масс. доли; CV_y, $CV_м$ – концентрация сухих веществ в утфеле, мелассе, масс. доли; индексы: «*н*» и «*к*» – начало и конец кристаллизации, «*кр.*» – твердая фаза.

Величина выкристаллизовавшегося сахара $(M + \Delta M_{нсх} + \Delta M_в)_{кр.к}$ определяется через удельную массовую скорость кристаллизации K, равную $K = K_{кр} \cdot K_{отн}$ в кг/(м^2·с), с использованием базовых соотношений между размером кристалла, его массой и площадью [8, 18].

Для определения расчетных формул удельной массовой скорости роста одиночного кристалла $K_{кр}$ и безразмерной относительной скорости кристаллизации множества кристаллов $K_{отн}$ их экспериментальные значения были обработаны на ЭВМ с помощью методов нелинейного программирования: наименьших квадратов, штрафных функций, генетического алгоритма и способа конфигураций Хука-Дживса [5, 8, 16]. При поиске коэффициентов математических моделей минимизировался квадратичный критерий:

$$R = \sum_{i=1}^{L} \left(1 - \frac{K_i^{рас}(\mathbf{A})}{K_i^{экс}} \right)^2 \xrightarrow[\mathbf{A}]{} \min \quad (12)$$

где L – количество экспериментальных данных; $K_i^{рас}$, $K_i^{экс}$ – соответственно расчетное и экспериментальное

значение удельной массовой скорости кристаллизации (или безразмерной относительной скорости роста множества кристаллов); **A** – вектор коэффициентов математической модели.

Согласно критерию (12) на основе обширных экспериментов, проведенных в СССР и других странах, нами разработана аддитивная математическая модель кристаллизации, имеющая вероятностный характер.

Модель состоит из восьми слагаемых:

$$K_{KP}=\frac{dm}{d\tau\cdot F}=K_{1D}+K_{2D}+K_{1KX}+K_{2KX}+K_{3X}+K_{P3}+K_{HCX}+K_B=k_{1D}\Delta C_1\cdot\exp\left(-\beta_1\Delta C_1\right)+$$

$$+k_{2D}\left[C_П\cdot\exp\left(\beta_2C_П\right)-C_H\cdot\exp\left(\beta_3C_H\right)\right]^{\alpha_1}+k_{1KX}\cdot\left(C_H/C_П\right)^{\exp(6,45)}\left[\Delta C_2\exp\left(-\beta_4\cdot\Delta C_2\right)\right]^2+$$

$$+k_{2KX}\left[\Delta C_2\exp\left(-\beta_5\Delta C_2\right)\right]^2+k_{3X}\left[\Delta C_3\cdot\exp\left(-\beta_6\Delta C_3\right)\right]^{\alpha_2}+k_{P3}C_H\cdot\exp\left(\beta_7C_H\right)\cdot\exp\left(-C_H\right)+K_{HCX}+K_B \quad (13)$$

где $\Delta C_1=C_П-\beta_8\cdot C_H$; $\Delta C_2=\beta_9\cdot C_П-C_H$; $\Delta C_3=1,5\cdot C_П-C_H$;

$$k_{1D}=\left(\left(\beta_{10}\cdot\frac{\alpha_H^2}{\mu}+\beta_{11}\cdot\frac{\alpha_H}{\mu}+\beta_{12}\cdot\frac{\alpha_H}{\mu^2}+\beta_{13}\cdot\frac{T}{\mu^{1,788}}\right)/\frac{\left(\beta_{14}+N\right)^{2,6}}{Z^{0,6832}}\right)^{\alpha_3}; \quad (14)$$

$$k_{2D}=\beta_{15}\cdot\frac{T}{\mu^2}\left(\exp\left(-\beta_{16}\cdot Q\cdot CV\cdot\frac{T}{273,15}\cdot9,80665\cdot\frac{\rho_П^2}{\mu^2}\cdot\frac{\rho_П-\rho_H}{\rho_H}\right)\right)^{\alpha_4}; \quad (15)$$

$$k_{1KX}=\beta_{16}\cdot T^{\alpha_5};\ k_{2KX}=\beta_{17}\cdot Q\cdot R_П\exp\left(-\beta_{18}\cdot R_П\right),\ R_П=\exp\left(\left(\beta_{19}+\beta_{20}\cdot Q^3+\beta_{21}\cdot Q^2+\beta_{22}\cdot Q\right)/T/\left(\beta_{23}+N\right)^{0,23}\right); \quad (16)$$

$$k_{3X}=\beta_{24}\sigma^{2,5}\exp\left(\beta_{24}\left(1-\beta_{25}\cdot Q\right)^{-\alpha_6}+\beta_{26}+T^{-0,75}\left(\beta_{27}+\beta_{28}T+\beta_{29}T^2\right)+\beta_{30}\sigma^{\alpha_7}\right);$$

$$k_{P3}=\beta_{31}\cdot Q\cdot\left(\frac{\alpha_H}{\mu}\right)^{\alpha_8}\cdot\exp\left(-\beta_{32}\cdot\frac{\alpha_H}{\mu}\right) \quad (17)$$

где $K_{1D},K_{2D},K_{1KX},K_{2KX},K_{3X},K_{P3}$ – основные компоненты модели, отображающие отложение сахара (диффузионная (два слагаемых), реакционная кристаллохимическая (две составляющих)), непосредственного захвата частичек сахара и распада промежуточных соединений, состоящих из сахарозы, несахаров и воды; K_{HCX},K_B – слагаемые, отображающие включение несахаров и воды в сахарный кристалл; Q – чистота раствора; CV – содержание сухих веществ; Z, N – соотношение сахар/вода и несахар/вода в пересыщенном растворе соответственно; T – абсолютная температура; $C_П$, C_H – термодинамические активности пересыщенного и насыщенного раствора; α_H – коэффициент насыщения; $\beta_1,...,\beta_{32}$, $\alpha_1,...,\alpha_8$ – регрессионные параметры.

Двойные слагаемые в диффузионной и кристаллохимической составляющих модели объясняются установленными фактами изменения диффузионного переноса вещества по поверхности грани и зависимости константы скорости кристаллохимической реакции от вида грани.

Включение несахаров в сахарный кристалл описано случайным законом распределения Пуассона и зависит от температуры, динамической вязкости и отношения несахара к воде [5]:

$$K_{HCX}=0,1558\cdot10^{-11}\cdot N\cdot\exp\left(N\right)\cdot\left(0,3761\cdot N\cdot\exp\left(N\right)\right)^{13}\times\exp\left(-0,3761\cdot N\cdot\exp\left(N\right)\right)\cdot\left(\mu/T\right)^{0,0275} \quad (18)$$

Рост кристалла за счет включения воды зависит от чистоты раствора, содержания сухих веществ, абсолютной температуры, динамической вязкости и описывается формулой:

$$K_B=\frac{0,1757875\cdot10^{-15}}{Q}\cdot\left(1-CV+0,27007\cdot\left(1-CV\right)\cdot\left(1-Q\right)\right)^{5,31}\cdot\left(\frac{T}{\mu}\right)^{1,85} \quad (19)$$

По формулам (18) и (19) можно установить количество примесей (несахаров и воды), встроившихся в кристаллическую фазу из поликомпонентного раствора.

Концентрации (термодинамические) $C_П$, C_H и коэффициент насыщения определяются на основе следующих зависимостей [38]:

$$C_П=Z\cdot\exp\left\{2,3026\left[1,7579\cdot10^{-2}\cdot Z-\frac{1,1107}{Z}-11636,2711\cdot\frac{Z}{T^2}+9,02563\cdot\frac{Z}{T\left(Z-0,9882N\right)}-\right.\right.$$

$$\left.\left.-314,578\left[\frac{Z}{T\left(Z-1,0509\cdot N\right)}\right]^2\right]\right\}\cdot\exp\left(-0,0486\left(N+10^{-10}\right)^{2,6}-\frac{2,15\cdot10^{-13}}{2,15\cdot10^{-13}+N}\right); \quad (20)$$

$$C_H = Z_к\alpha_H \exp\left\{2,3026\cdot\left[0,0191\cdot Z_к\alpha_H - \frac{1,0016}{Z_к\cdot\alpha_H} - 13780,2866\,Z_к\cdot\alpha_H / T^2 + 11,4785\frac{Z_к\alpha_H}{T\left(Z_к\alpha_H - 0,9951N\right)} - \right.\right.$$

$$\left.\left. -187,1981\left[\frac{Z_к\alpha_H}{T\left(Z_к\alpha_н - 0,9929N\right)}\right]^2\right]\right\}\cdot\exp\left(-0,04857\left(N+10^{-10}\right)^{2,6} - \frac{2,15\cdot10^{-13}}{2,15\cdot10^{-13}+N}\right); \quad (21)$$

$$\alpha_H = 1 - 0,9171\cdot10^{-2}\cdot N\cdot t + 0,252\cdot N\cdot\lg(t) - 0,2748\cdot10^{-4}\cdot N\cdot t^2 - 0,144\cdot10^{-2}\cdot N^2\cdot t + 0,0376\cdot N^2\cdot\lg(t) -$$

$$-0,4028\cdot10^{-5}\cdot N^2\cdot t^2 - 0,438\left(N\cdot t\right)^{1,09} / Z_к^{4,022} \quad (22)$$

где t – температура, °С; $Z_к$ – отношение сахара к воде в состоянии насыщения в чистом растворе.

Математическая модель (13)–(22) позволяет рассчитать скорость роста твердой фазы как при изобарической испарительной кристаллизации в вакуум-аппаратах, так и при политемической кристаллизации в вертикальных и горизонтальных кристаллизаторах. Среднеквадратичное отклонение модели от экспериментальных значений составляет ± 11,3 %. Это почти в два раза точнее обобщения И. С. Скрипко и В. А. Трегуба: примерно 100 опытов по кристаллизации сахарозы, ошибка которого равна ± 20 % [39].

На рисунке 2 показаны графические зависимости скорости роста твердой фазы при температурах 50 и 70 °С, рассчитанные по модели (13)–(22). От содержания СВ зависимость экстремальна, с уменьшением чистоты раствора скорость роста резко падает.

Объемная концентрация кристаллов в утфельной массе достигает 50 %. Кристаллы находятся в стесненном состоянии, они сталкиваются, разрушаются, трутся, слепляются и, в зависимости от локального пересыщения, могут частично растворяться. «Стесненный» рост кристаллов осуществляется намного медленнее, чем рост при свободной кристаллизации единичного кристалла. Поэтому при расчете массовой кристаллизации сахарного песка с использованием модели (13)–(22) необходимо ввести поправку на стесненность кристаллов, которая учитывается математической зависимостью относительной скорости кристаллизации от среднего размера кристаллов и их объемного содержания $\varphi_{об}$:

$$K_{отн} = a_0 - a_1\varphi_{об} + a_2\varphi_{об}^2 + a_3\varphi_{об}^3 - a_4\varphi_{об}l_{кр} + a_5 l_{кр} - a_6 l_{кр}^2 + a_7 l_{кр}^3 - a_8 l_{кр}^{a_9}\varphi_{об}^{a_{10}} + a_{11}l_{кр}^{a_{12}} / \left(l_{кр} + a_{13}\right); \quad (23)$$

$$\varphi_{об} = \frac{\varphi_м\cdot\rho_{кр}}{\varphi_м\cdot\rho_{кр} + \left(100-\varphi_м\right)\rho}; \quad (24)$$

$$\rho_{кр} = \frac{1589,7}{1+1,1\cdot10^{-4}\left(t-15\right)}; \quad (25)$$

$$\rho = \left(1-0,01\cdot CV\right) / \left[0,001+1,32\cdot10^{-8}\cdot\left(t-4\right)^{1,775}\right] + \left(15,6377-0,006\cdot t\right)\cdot CV - \left(1,58951+1,025\cdot10^{-3}\cdot t\right)\times$$

$$\times\left(1-0,01\cdot CV\right)\cdot CV^{1,03}; \quad (26)$$

где $K_{отн}$ – относительная скорость роста, учитывающая стесненность кристаллов, доли ед.; $\varphi_м$ – массовая концентрация твердой фазы, %; $\rho_{кр}$, ρ – плотность твердой и жидкой фазы, кг/м^3; CV – концентрация СВ в жидкой фазе, %. Модель (23) работоспособна при: $\varphi_м$ = 5–60 масс. %; $l_{кр}$ = 0,25–1,50 мм; ее среднеквадратичное отклонение равно ± 1,3 %. Количество использованных для построения модели (23) (табл. 1) экспериментов равно 28.

Формулы (24)–(26) позволяют пересчитать в объемную массовую концентрацию твердой фазы [3, 8, 40, 41].

Коэффициенты модели (23) равны: a_0 = 0,18822524; a_1 = 1,4168116; a_2 = 0,61027645; a_3 = 0,62882917; a_4 = 0,32209431; a_5 = 0,29126081; a_6 = 0,29813377; a_7 = 0,21398706; a_8 = 0,015677561; a_9 = 7,5; a_{10} = 0,62516922; a_{11} = 0,66918776; a_{12} = 0,37433054; a_{13} = 2,0826152.

Формулы (23)–(26) служат для пересчета скорости роста свободного монокристалла (формулы (13)–(22)) в удельную скорость роста стесненного коллектива кристаллов, средний размер которых $l_{кр}$, а концентрация в утфеле $\varphi_{об}$. Расчет относительной скорости по формуле (23) существенно точнее квадратичной зависимости, используемой при расчете стесненной кристаллизации в [25], регрессионной и предиктивной моделях [19, 28].

На рисунке 3 показана 3D-зависимость величины $K_{отн}$ от размера и концентрации кристаллов. На обоих графиках массовая концентрация кристаллов изменяется от 5 до 60 %. Анализ графических зависимостей (рис. 3) относительной скорости роста показывает, что влияние массового содержания кристаллов, по сравнению с их объемной концентрацией, выражено более контрастно.

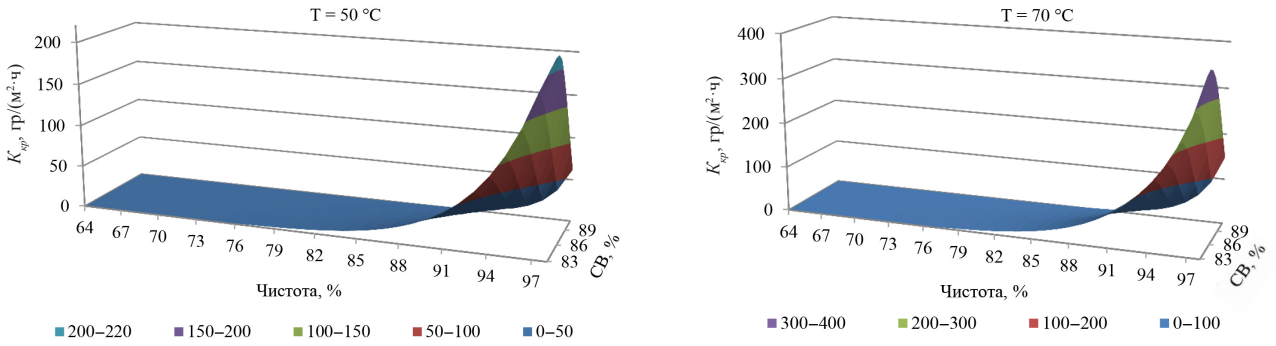


Рисунок 2. Графики зависимости скорости кристаллизации от содержания сухих веществ и доброкачественности раствора при температуре 50 и 70 °С

Figure 2. Effect of solids content and solution quality on the crystallization rate at 50 and 70°C

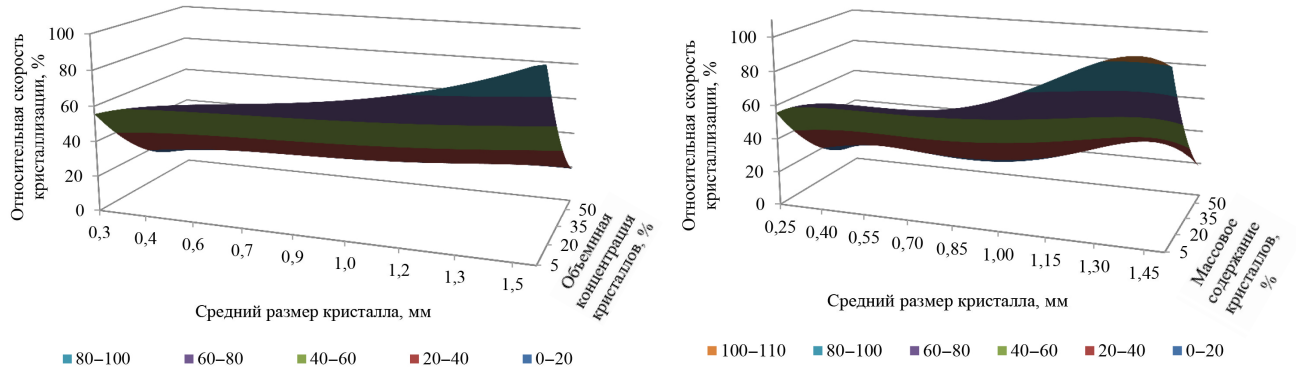


Рисунок 3. Графики зависимости относительной скорости кристаллизации от среднего размера кристалла и концентрации (объемной и массовой) кристаллов

Figure 3. Effect of the average crystal size and concentration (volume and mass) on the relative crystallization rate

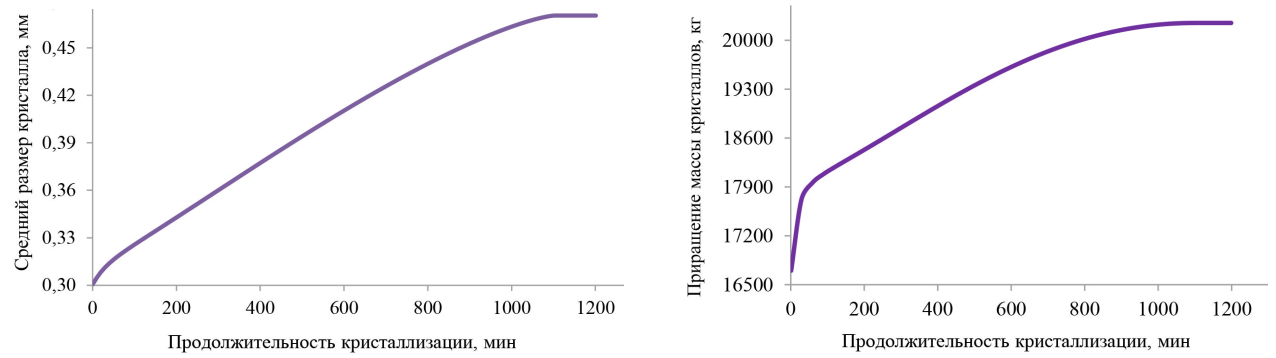


Рисунок 4. Результаты моделирования не стесненной кристаллизации

Figure 4. Models of unconstrained crystallization

Результаты имитационного моделирования процесса политермической кристаллизации сахара с использованием разработанной математической модели показаны на рисунках 4 и 5. На графиках отображены изменения величины среднего линейного размера сахарных кристаллов и приращения кристаллической массы в процессе политермической кристаллизации без учета (рис. 4) и с учетом стесненности кристаллов (рис. 5).

При учете стесненности кристаллов прирост твердой фазы за время политермической кристаллизации, которое равно 20 ч, уменьшается на 3 тонны желтого сахара, по сравнению с нестесненной кристаллизацией, а средний размер кристалла уменьшается на 14,7 %.

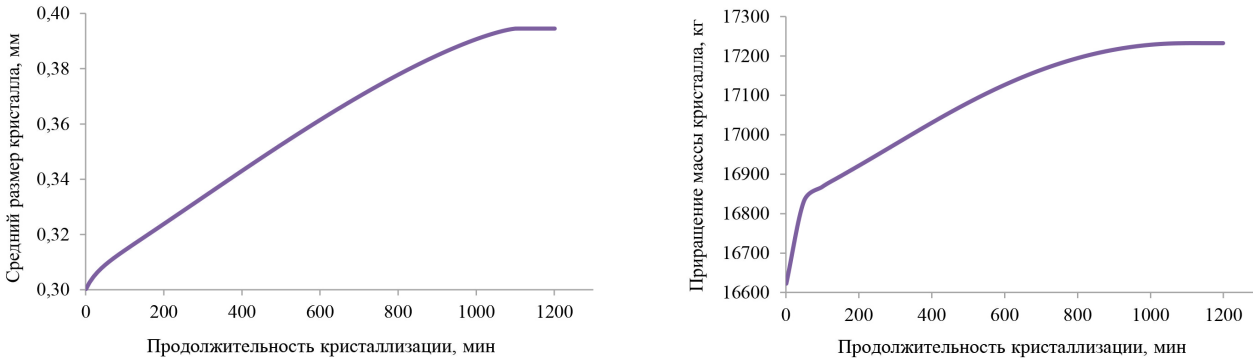


Рисунок 5. Результаты моделирования стесненной кристаллизации

Figure 5. Models of constrained crystallization

Выводы

Уточнены уравнения материального баланса кристаллизационного аппарата, учитывающие включение несахаров и воды в твердую фазу. Получено на базе многочисленных экспериментов обобщенное математическое выражение для расчета удельной массовой скорости роста сахарного монокристалла, разработанное с использованием положений теории вероятности на основе физико-химических закономерностей процесса [42, 43]. Модель позволяет оценить количество несахаров и воды, захватываемых кристаллом в процессе роста. Относительная погрешность модели равна ± 11,3 %. Она позволяет в два раза точнее описать процесс кристаллизации сахарозы, чем известное обобщение [39].

Разработана корректирующая поправка, позволяющая с высокой точностью (ошибка ± 1,3 %) пересчитать скорость роста одиночного кристалла сахара, измеряемую в ед. массы/ед. площади/ед. времени, в скорость роста множества кристаллов при испарительной изобарической и политермической массовой кристаллизации в промышленных условиях. Таким образом, создана обобщенная вероятностная математическая модель (13)–(26) для описания удельной скорости роста кристаллов при массовой кристаллизации сахарозы, которая может быть использована при имитационном моделировании процесса, его исследовании и для оптимального управления в промышленном производстве. Идентификация модели может быть реализована подстройкой коэффициента a_0 в формуле (23).

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в подготовке и написании статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for information published in this article.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Experimental data and estimation of sucrose solubility in impure solutions / C. E. Crestani, A. Bernardo, C. B. B. Costa [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2018. – Vol. 218. – P. 14–23. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.08.023.

2. Maria, I. Z. The mechanism of crystal growth in solution [Mecanismul crester cristalelor din solutie] / I. Z. Maria // Physics Studies and Research [Studii si Cercetari de Fizica]. – 1980. – Vol. 32, № 1. – P. 77–93. (In Rom.).

3. Poel, P. W. Sugar technology: beet and cane sugar manufacture / P. W. Poel, H. Schiweck, T. K. Schwartz. – Berlin : Verlag Dr Albert Bartens KG, 1998. – 1120 p. https://doi.org/10.36961/ST.

4. Khvorova, L. S. Glucose nucleation in the presence of surface active agents / L. S. Khvorova, N. D. Lukin, L. V. Baranova // Foods and Raw Materials. – 2018. – Vol. 6, № 1. – P. 219–229. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-219-229.

5. Петров, С. М. Вероятностная модель включения несахаров в растущие кристаллы сахара / С. М. Петров, Д. В. Арапов, В. А. Курицын // Сахар. – 2011. – № 8. – С. 34–38.

6. Mantovani, G. Growth and morphology of the sucrose crystal / G. Mantovani // International Sugar Journal. – 1991. – Vol. 93, № 1106. – P. 23–27.

7. Schlumbach, K. Effect of quality and origin of technical sucrose solutions on the inclusion of colourants into the sugar crystal matrix / K. Schlumbach, M. Scharfe, E. Floter // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2018. – Vol. 98, № 8. – P. 2953–2963. https://doi.org/10.1002/jsfa.8792.

8. Арапов, Д. В. Оптимизация температурного режима вертикального кристаллизатора / Д. В. Арапов, В. А. Курицын // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 12. – С. 31–36.

9. Mullin, J. W. Crystallizaton / J. W. Mullin. – Oxford : Butterworth – Heinemann, 2001. – 600 p.

10. Sugar technology manual / Z. Bubnik, P. Kadlec, D. Urban [et al.]. – Berlin : Verlag Dr Albert Bartens KG, 1998. – 416 p.

11. Семенов, Е. В. К расчету процесса массопереноса в системе «раствор+продукт» / Е. В. Семенов, А. А. Славянский, С. А. Макарова // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2017. – Т. 7, № 3 (22). – С. 161–168. https://doi.org/10.21285/2227-2925-2017-7-3-161-168.

12. Dahiya, O. Mathematical modeling and performance evaluation of A-pan crystallization system in a sugar industry / O. Dahiya, A. Kumar, M. Saini // SN Applied Sciences. – 2019. – Vol. 1, № 4. https://doi.org/10.1007/s42452-019-0348-0.

13. Ekelhof, B. Complete model of the crystallization kinetics of sucrose in pure and impure solutions [Gesamtmodell der Kristallisationskinetik der Saccharose in reinen und unreinen Lösungen] / B. Ekelhof. – Berlin : Bartens, 1997. – 120 p. (In Germ.).

14. Gros, H. Continuous cooling crystallization from solution / H. Gros, T. Kilpio, J. Nurmi // Powder Technology. – 2001. – Vol. 121, № 1. – P. 106–115. https://doi.org/10.1016/S0032-5910(01)00382-5.

15. Heffels, S. K. Growth rate of small sucrose crystals at 70 °C / S. K. Heffels, E. J. Jong, D. J. Sinke // Zuckerindustrie. – 1987. – Vol. 112, № 6. – P. 511–518.

16. Intensification of cooling fluid process / A. A. Slavyanskiy, E. V. Semenov, B. S. Babakin // Foods and Raw Materials. – 2020. – Vol. 8, № 1. – P. 171–176. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-171-176.

17. Elahi, M. Investigations on optimisation of the cooling rate of cooling crystallisation of afterproduct massecuite during sucrose recovery: doc. thesis / Elahi Mohammad. – Berlin, 2004. – 135 p. (In Germ).

18. Грабка, Я. Процесс уваривания утфелей при заводке кристаллов специальной пастой / Я. Грабка // Сахарная промышленность. – 1987. – № 12. – С. 22–25.

19. Felix, E. P. A regression model for estimating sugar crystal size in a fed-batch vacuum evaporative Crystalliser / E. P. Felix, S. B. Alabi, A. M. Umo // Chemical Engineering Transactions. – 2019. – Vol. 75. – P. 553–558. https://doi.org/10.3303/CET1975093.

20. Hybrid modeling based on mechanistic and data-driven approaches for cane sugar crystallization / Y. Meng, S. Yu, J. Zhang [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2019. – Vol. 257. – P. 44–55. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.026.

21. Broadfoot, R. Why the emerging strong interest in vertical continuous pans? / R. Broadfoot, D. Rackemann, D. Moller // Proceeding of the 40th Annual conference Australian society of sugar cane technologists. – Mackay, 2018. – P. 512–525.

22. Modeling of the process of boiling sugar massecuite of the first product / A. Chochowski, A. Ladanyuk, R. Sokol [et al.] // Annals of Warsaw University of Life Sciences. – 2018. – № 71. – P. 89–98. https://doi.org/10.22630/AAFE.2018.71.9.

23. Sucrose crystallization: Modeling and evaluation of production responses to typical process fluctuations / B. J. C. de Castro, M. Marciniuk, M. Giulietti [et al.] // Brazilian Journal of Chemical Engineering. – 2019. – Vol. 36, № 3. – P. 1237–1253. https://doi.org/10.1590/0104-6632.20190363s20180240.

24. Sanchez-Sanchez, K. B. Analysis of operating conditions for cane sugar batch crystallization based on MSZW coupled with mechanistic kinetic models / K. B. Sanchez-Sanchez, E. Bolanos-Reynoso, G. R. Urrea-Garcia // Revista Mexicana de Ingenieria Quimica. – 2017. – Vol. 16, № 3. – P. 1029–1052.

25. Rozsa, L. Crystal growth and crystallization control tactics in industrial sugar crystallizers. Part 1. Crystal growth / L. Rozsa, J. Rozsa, S. Kilpinen // International Sugar Journal. – 2016. – Vol. 118, № 1414.

26. On-line measurement of the real size and shape of crystals in stirred tank crystalliser using non-invasive stereo vision imaging / R. Zhang, C. Ma, J. Liu [et al.] // Chemical Engineering Science. – 2015. – Vol. 137. – P. 9–21. https://doi.org/10.1016/j.ces.2015.05.053.

27. Modeling of sucrose crystallization kinetics: The influence of glucose and fructose / S. Ouiazzane, B. Messanaoki, S. Abderafi [et al.] // Journal of Crystal Growth. – 2008. – Vol. 310, № 15. – P. 3498–3503. https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2008.04.042.

28. Umo, A. M. Predictive model for post-seeding super-saturation of sugar massecuite in a fed-batch evaporative crystalliser / A. M. Umo, S. B. Alabi // International Journal of Food Engineering. – 2016. – Vol. 2, № 2. – P. 119–123. https://doi.org/10.18178/ijfe.2.2.119-123.

29. Umo, A. M. Advances in super-saturation measurement and estimation methods for sugar crystallization process / A. M. Umo, S. B. Alabi // International Journal of Food Engineering. – 2016. – Vol. 2, № 2. – P. 108–112. https://doi.org/10.18178/ijfe.2.2.108-112.

30. Myronchuk, V. Sucrose cooling crystallization modeling / V. Myronchuk, O. Yeshchenko, M. Samilyk // Journal of Faculty of Food Engineering. – 2013. – Vol. 12, № 2. – P. 109–114.

31. Modeling freezing process of high concentrated systems / E. Lopez-Quiroga, R. Wang, O. Gouseti [et al.] // IFAC-PapersOnLine. – 2015. – Vol. 48, № 1. – P. 749–754. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.05.140.

32. Crystallisation in concentrated systems: A modeling approach / E. Lopez-Quiroga, R. Wang, O. Gouseti [et al.] // Food and Bioproducts Processing. – 2016. – Vol. 100. – P. 525–534. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.07.007.

33. Короткая, Е. В. Моделирование кристаллизации влаги при замораживании бактериальных заквасок / Е. В. Короткая, И. А. Короткий, К. И. Васильев [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 2. – С. 252–260. DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-2-252-260.

34. Madho, S. Nucleation induced by high frequency sound for the production of sugar refinery seed crystals: diss.… Master in Science in Engineering (Chemical): Madho Shaun. – Durban, 2016. – 119 p.

35. Жвирблянский, Ю. М. Кинетика кристаллизации сахарозы в нечистых сахарных растворах / Ю. М. Жвирблянский, А. К. Волобуева, Д. Р. Абрагам // Сахарная промышленность. – 1949. – № 1. – С. 10–15.

36. Поперека, И. К. Влияние содержания кристаллов в утфеле на скорость кристаллизации сахара при разных их размерах / И. К. Поперека, Ю. Д. Кот // Сахарная промышленность. – 1970. – № 1. – С. 25–27.

37. Требин, Л. И. Скорость растворения сахарозы / Л. И. Требин, В. Ф. Черненко, Ю. М. Журбицкий // Сахарная промышленность. – 1984. – № 4. – С. 24–26.

38. Simulation of solubility by the example of a sugar solution / D. V. Arapov, V. A. Kuritsyn, S. G. Tikhomirov [et al.] // Zuckerindustrie. – 2019. – Vol. 144, № 11. – P. 660–664. https://doi.org/10.36961/si23792.

39. Кулинченко, В. Р. Промышленная кристаллизация сахаристых веществ / В. Р. Кулинченко, В. Г. Мирончук. – Киев : НУПТ, 2012. – 426 с.

40. Modeling of aerosol coating of sugar crystals based on study of physical and chemical properties of stevioside solutions / S. M. Petrov, N. M. Podgornova, K. S. Petrov [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2019. – Vol. 255. – P. 61–68. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.018.

41. Schlumbach, K. The influence of the linear growth velocity on the properties of sucrose crystals produced from mixed syrups / K. Schlumbach, M. Schwenkler, E. Floter // Journal of Food Process Engineering. – 2018. – Vol. 41, № 4. https://doi.org/10.1111/jfpe.12678.

42. Panfilov, V. A. Engineering of complex technological systems in the agroindustrial complex / V. A. Panfilov, S. P. Andreev // Foods and Raw Materials. – 2018. – Vol. 6, № 1. – P. 23–29. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-23-29.

43. Software-algorithmic complecx for the synthesis of catalyst of ethylene acetoxylation process / D. V. Arapov, O. V. Karmanova, S. G. Tikhomirov [et al.] // 17th International Multidisciplinari Scientific GeoConference SGEM 17. – Albena, 2017. – P. 587–594. https://doi.org/10.5593/sgem2017/21/S07.075.

References

1. Crestani CE, Bernardo A, Costa CBB, Giulietti M. Experimental data and estimation of sucrose solubility in impure solutions. Journal of Food Engineering. 2018;218:14–23. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.08.023.

2. Maria IZ. The mechanism of crystal growth in solution [Mecanismul crester cristalelor din solutie]. Physics Studies and Research [Studii si Cercetari de Fizica]. 1980;32(1):77–93. (In Rom.).

3. Poel PW, Schiweck H, Schwartz TK. Sugar technology: beet and cane sugar manufacture. Berlin: Verlag Dr Albert Bartens KG; 1998. 1120 p. https://doi.org/10.36961/ST.

4. Khvorova LS, Lukin ND, Baranova LV. Glucose nucleation in the presence of surface active agents. Foods and Raw Materials. 2018;6(1):219–229. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-219-229.

5. Petrov SM, Arapov DV, Kuritsyn VA. Veroyatnostnaya model′ vklyucheniya nesakharov v rastushchie kristally sakhara [Probabilistic model of the inclusion of non-sugars in growing sugar crystals]. Sugar. 2011;(8):34–38. (In Russ.).

6. Mantovani G. Growth and morphology of the sucrose crystal. International Sugar Journal. 1991;93(1106):23–27.

7. Schlumbach K, Scharfe M, Floter E. Effect of quality and origin of technical sucrose solutions on the inclusion of colourants into the sugar crystal matrix. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2018;98(8):2953–2963. https://doi.org/10.1002/jsfa.8792.

8. Arapov DV, Kuritsyn VA. Optimization of a temperature mode of a vertical crystalhzer in sugar-beef manufac ture. Mechatronics, Automation, Control. 2008;(12):31–36. (In Russ.).

9. Mullin JW. Crystallizaton. Oxford: Butterworth – Heinemann; 2001. 600 p.

10. Bubnik Z, Kadlec P, Urban D, Bruhns M. Sugar technology manual. Berlin: Verlag Dr Albert Bartens KG; 1998. 416 p.

11. Semenov EV, Slavyanskiy AA, Makarova SA. For the calculation process of mass transfer in the “solution + product”. Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2017;7(3)(22):161–168. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2925-2017-7-3-161-168.

12. Dahiya O, Kumar A, Saini M. Mathematical modeling and performance evaluation of A-pan crystallization system in a sugar industry. SN Applied Sciences. 2019;1(4). https://doi.org/10.1007/s42452-019-0348-0.

13. Ekelhof B. Complete model of the crystallization kinetics of sucrose in pure and impure solutions [Gesamtmod-ell der Kristallisationskinetik der Saccharose in reinen und unreinen Lösungen]. Berlin: Bartens; 1997. 120 p. (In Germ.).

14. Gros H, Kilpio T, Nurmi J. Continuous cooling crystallization from solution. Powder Technology. 2001;121(1):106–115. https://doi.org/10.1016/S0032-5910(01)00382-5.

15. Heffels SK, Jong EJ, Sinke DJ. Growth rate of small sucrose crystals at 70°C. Zuckerindustrie. 1987;112(6):511–518.

16. Slavyanskiy AA, Semenov EV, Babakin BS, Lebedeva NN. Intensification of cooling fluid process. 2020;8(1):171–176. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-171-176.

17. Elahi M. Investigations on optimisation of the cooling rate of cooling crystallisation of afterproduct massecuite during sucrose recovery. Doc. thesis. Berlin: Technische Universität Berlin; 2004. 135 p.

18. Grabka Ya. Protsess uvarivaniya utfeley pri zavodke kristallov spetsial′noy pastoy [Boiling the fill mass during the filling of crystals with a specialized paste]. Sakharnaya promyshlennost' [Sugar Industry]. 1987;(12):22–25. (In Russ.).

19. Felix EP, Alabi SB, Umo AM. A regression model for estimating sugar crystal size in a fed-batch vacuum evaporative Crystalliser. Chemical Engineering Transactions. 2019;75:553–558. https://doi.org/10.3303/CET1975093.

20. Meng Y, Yu S, Zhang J, Qin J, Dong Z, Lu G, et al. Hybrid modeling based on mechanistic and data-driven approaches for cane sugar crystallization. Journal of Food Engineering. 2019;257:44–55. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.026.

21. Broadfoot R, Rackemann D, Moller D. Why the emerging strong interest in vertical continuous pans? Proceeding of the 40th Annual conference Australian society of sugar cane technologists; 2018; Mackay. Mackay: Australian Society of Sugar Cane Technologists; 2018. p. 512–525.

22. Chochowski A, Ladanyuk A, Sokol R, Reshetiuk V, Smityuh Ya, Yeshchenko O. Modeling of the process of boiling sugar massecuite of the first product. Annals of Warsaw University of Life Sciences. 2018;(71):89–98. https://doi.org/10.22630/AAFE.2018.71.9.

23. De Castro BJC, Marciniuk M, Giulietti M, Bernardo A. Sucrose crystallization: Modeling and evaluation of production responses to typical process fluctuations. Brazilian Journal of Chemical Engineering. 2019;36(3):1237–1253. https://doi.org/10.1590/0104-6632.20190363s20180240.

24. Sanchez-Sanchez KB, Bolanos-Reynoso E, Urrea-Garcia GR. Analysis of operating conditions for cane sugar batch crystallization based on MSZW coupled with mechanistic kinetic models. Revista Mexicana de Ingenieria Quimica. 2017;16(3):1029–1052.

25. Rozsa L, Rozsa J, Kilpinen S. Crystal growth and crystallization control tactics in industrial sugar crystallizers. Part 1. Crystal growth. International Sugar Journal. 2016;118(1414).

26. Zhang R, Ma C, Liu J, Wang XZ. On-line measurement of the real size and shape of crystals in stirred tank crystalliser using non-invasive stereo vision imaging. Chemical Engineering Science. 2015;137:9–21. https://doi.org/10.1016/j.ces.2015.05.053.

27. Ouiazzane S, Messanaoki B, Abderafi S, Wouters J, Bounahmidi T. Modeling of sucrose crystallization kinetics: The influence of glucose and fructose. Journal of Crystal Growth. 2008;310(15):3498–3503. https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2008.04.042.

28. Umo AM, Alabi SB. Predictive model for post-seeding super-saturation of sugar massecuite in a fed-batch evaporative crystalliser. International Journal of Food Engineering. 2016;2(2):119–123. https://doi.org/10.18178/ijfe.2.2.119-123.

29. Umo AM, Alabi SB. Advances in super-saturation measurement and estimation methods for sugar crystallization process. International Journal of Food Engineering. 2016;2(2):108–112. https://doi.org/10.18178/ijfe.2.2.108-112.

30. Myronchuk V, Yeshchenko O, Samilyk M. Sucrose cooling crystallization modeling. Journal of Faculty of Food Engineering. 2013;12(2):109–114.

31. Lopez-Quiroga E, Wang R, Gouseti O, Fryer PJ, Bakalis S. Modeling freezing process of high concentrated systems. IFAC-PapersOnLine. 2015;48(1):749–754. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.05.140.

32. Lopez-Quiroga E, Wang R, Gouseti O, Fryer PJ, Bakalis S. Crystallisation in concentrated systems: A modeling approach. Food and Bioproducts Processing. 2016;100:525–534. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.07.007.

33. Korotkaya EV, Korotkiy IA, Vasiliev KI, Ostroumov LA. Modeling of moisture crystallization of bacterial starter cultures during freezing. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(2):252–260. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-2-252-260.

34. Madho S. Nucleation induced by high frequency sound for the production of sugar refinery seed crystals. Master in Science in Engineering (Chemical) diss. Durban: University of KwaZulu-Natal; 2016. 119 p.

35. Zhvirblyanskiy YuM, Volobueva AK, Abragam DR. Kinetika kristallizatsii sakharozy v nechistykh sakharnykh rastvorakh [Kinetics of sucrose crystallization of in impure sugar solutions]. Sakharnaya promyshlennost′ [Sugar Industry]. 1949;(1):10–15. (In Russ.).

36. Popereka IK, Kot YuD. Vliyanie soderzhaniya kristallov v utfele na skorost′ kristallizatsii sakhara pri raznykh ikh razmerakh [Effect of the content of crystals in the fill mass on the sugar crystallization rate at different sizes]. Sakharnaya promyshlennost′ [Sugar Industry]. 1970;(1):25–27. (In Russ.).

37. Trebin LI, Chernenko VF, Zhurbitskiy YuM. Skorost′ rastvoreniya sakharozy [Dissolution rate of sucrose]. Sakharnaya promyshlennost′ [Sugar Industry]. 1984;(4):24–26. (In Russ.).

38. Arapov DV, Kuritsyn VA, Tikhomirov SG, Denisenko VV. Simulation of solubility by the example of a sugar solution. Zuckerindustrie. 2019;144(11):660–664. https://doi.org/10.36961/si23792.

39. Kulinchenko VR, Mironchuk VG. Promyshlennaya kristallizatsiya sakharistykh veshchestv [Industrial crystallization of sugary substances]. Kiev: NUFT; 2012. 426 p. (In Russ.).

40. Petrov SM, Podgornova NM, Petrov KS, Ryazhskih VI. Modeling of aerosol coating of sugar crystals based on study of physical and chemical properties of stevioside solutions. Journal of Food Engineering. 2019;255:61–68. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.018.

41. Schlumbach K, Schwenkler M, Floter E. The influence of the linear growth velocity on the properties of sucrose crystals produced from mixed syrups. Journal of Food Process Engineering. 2018;41(4). https://doi.org/10.1111/jfpe.12678.

42. Panfilov VA, Andreev SP. Engineering of complex technological systems in the agroindustrial complex. Foods and Raw Materials. 2018;6(1):23–29. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-23-29.

43. Arapov DV, Karmanova OV, Tikhomirov SG, Denisenko VV. Software-algorithmic complecx for the synthesis of catalyst of ethylene acetoxylation process. 17th International Multidisciplinari Scientific GeoConference SGEM 17; 2017; Albena. Albena: STEF92 Technology; 2017. p. 587–594. https://doi.org/10.5593/sgem2017/21/S07.075.

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-53-66
УДК 637.12.04/.07

Оригинальная статья
http://fptt.ru

Оценка влияния полиморфизма гена к-казеина в сухом молоке на технологические свойства кислотно-индуцированных молочных гелей

А. Г. Кручинин*, С. Н. Туровская, Е. Е. Илларионова, А. В. Бигаева

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия

Дата поступления в редакцию: 08.12.2020

Дата принятия в печать: 30.12.2020

**e-mail: a_kruchinin@vnimi.org*

© А. Г. Кручинин, С. Н. Туровская, Е. Е. Илларионова, А. В. Бигаева, 2021

Аннотация.

Введение. Характеристики устойчивости структуры и консистенции йогурта напрямую зависят от состава и свойств сырья (в т. ч. влияния генетических факторов), технологических факторов и соблюдения температурных условий хранения. Поэтому целью данной работы являлась оценка влияния полиморфизма гена к-казеина в сухом молоке на технологические свойства кислотно-индуцированных молочных гелей при имитации различных температурных условий хранения.

Объекты и методы исследования. Образцы йогурта, приготовленные из сухого молока, идентифицированного соответственно генотипам *AA* и *BB* по гену *CSN3*. Также были приготовлены модельные системы йогурта из сухого «сборного» молока, смешанного по массовой доле белка в соотношении AA^2:BB^2 75:25, 50:50 и 25:75 % соответственно. Образцы анализировали стандартизованными методами, а также с использованием оптических методов, методов динамической вискозиметрии, ПЦР-ПДРФ.

Результаты и их обсуждение. Установлена закономерность в усилении структурно-механических свойств (СМС), формоустойчивости (КУС) и поверхностного натяжения (ПН) в модельных системах десертного йогурта с повышением массовой доли сухого «сборного» молока, детектированного по гену *CSN3* как *BB*. Повышение температуры хранения с 4 ± 2 до 12 ± 2 °С показало снижение СМС, КУС, ПН и влагоудерживающей способности при сохранении установленных ранее зависимостей. Исследование плотности сгустка после сквашивания показало отсутствие значимого влияния полиморфизма гена *CSN3*. Существенные отличия между аллельными вариантами *AA* и *BB* гена *CSN3* проявляются после полного охлаждения и структурирования продукта.

Выводы. Полученные результаты позволяют сделать вывод о косвенном влиянии полиморфизма гена к-казеина на СМС, ассоциированного с генетическим влиянием на средний диаметр мицелл казеина в исходном молоке и происходящими в результате этого биохимическими и изотермическими процессами. Результаты исследования позволяют оценить влияние полиморфизма гена *CSN3* на технологические свойства сухого молока в процессе его переработки на кисломолочные продукты.

Ключевые слова. Молоко, молочный белок, казеин, йогурт, генотип, ПЦР-ПДРФ, структурно-механические свойства, температура хранения

Для цитирования: Оценка влияния полиморфизма гена к-казеина в сухом молоке на технологические свойства кислотно-индуцированных молочных гелей / А. Г. Кручинин, С. Н. Туровская, Е. Е. Илларионова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 53–66. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-53-66.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

Evaluation of the Effect of к-casein Gene Polymorphism in Milk Powder on the Technological Properties of Acid-Induced Milk Gels

Alexandr G. Kruchinin*, Svetlana N. Turovskaya, Elena E. Illarionova, Alana V. Bigaeva

All-Russian Scientific Research Institute of the Dairy Industry, Moscow, Russia

Received: December 08, 2020

Accepted: December 30, 2020

**e-mail: a_kruchinin@vnimi.org*

© A.G. Kruchinin, S.N. Turovskaya, E.E. Illarionova, A.V. Bigaeva, 2021

Abstract.
Introduction. Yoghurt has become one of the most popular acid-induced dairy products in the world. Consumers see yoghurt not only as a tasty, protein-rich, and calcium-fortified dessert, but also as a product that improves intestinal microflora and prevents obesity, metabolic syndrome, type II diabetes, and cardiovascular diseases. The stability of the structure and consistency of yoghurt directly depend on the composition and properties of raw materials, including genetic and technological factors and compliance with temperature storage conditions. Yoghurt formulations include various dairy raw materials, e.g. milk powder. The research objective was to assess the effect of κ-casein gene polymorphism in milk powder on the technological properties of acid-induced milk gels when simulating different temperature storage conditions.
Study objects and methods. The research featured yoghurt samples prepared from milk powder of *CSN3* gene (*AA* and *BB*). Model systems of yoghurt were prepared from dry bulk milk, mixed by mass fraction of protein in the ratio of AA^2:BB^2 as 75:25, 50:50, and 25:75%, respectively. The experiment involved standard methods, optical methods, dynamic viscometry, and PCR-RFLP.
Results and discussion. As the mass fraction of *BB* dry bulk milk increased, the structural and mechanical properties, dimensional stability, and surface tension increased, too. As the storage temperature fell from 4 ± 2 to 12 ± 2°C, the structural and mechanical properties, dimensional stability, surface tension, and moisture-holding ability decreased while maintaining the previously established dependencies. The *CSN3* gene polymorphism proved to have no effect on the curd tension after fermentation. Significant differences between the allelic variants *AA* and *BB* became obvious only after complete cooling and structuring of the product.
Conclusion. The obtained experimental results and the analysis of related publications suggested an indirect effect of the κ-casein gene polymorphism on the structural and mechanical properties, associated with a genetic effect on the average diameter of casein micelles in the original milk and the resulting biochemical and isothermal processes. The research made it possible to assess the effect of the C*SN3* gene polymorphism on the technological properties of dry milk during its processing into fermented milk products.

Keywords. Milk, milk protein, casein, yogurt, genotype, PCR-RFLP, structural and mechanical properties, storage temperature

For citation: Kruchinin AG, Turovskaya SN, Illarionova EE, Bigaeva AV. Evaluation of the Effect of κ-casein Gene Polymorphism in Milk Powder on the Technological Properties of Acid-Induced Milk Gels. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):53–66. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-53-66.

Введение

Современное состояние структуры питания в мире показывает рост удельного веса потребления молочных продуктов как на территории Российской Федерации, так и во всем мире [1]. Привлекательность молочных продуктов для потребителей обусловлена наличием в их составе белка с высокой пищевой и биологической ценностью. Он обладает высоким коэффициентом перевариваемости, а также значительным содержанием кальция, находящегося в оптимальном соотношении с фосфором, который способствует его максимальному усвоению организмом [2, 3].

Среди разнообразия молочных продуктов, подвергнутых кислотно-индуцированному воздействию с образованием молочных гелей, популярным и потребляемым во всем мире является йогурт [4]. За последние 5 лет в странах с крупнейшими экономиками произошел рост объемов продаж йогурта более чем на 10 % [5]. Большинство потребителей рассматривают йогурт не только как богатый белком десерт формата «To go», но и как продукт для профилактики тех или иных заболеваний [6, 7]. Ряд авторов отмечает, что употребление йогурта способствует нормализации кишечной микрофлоры, профилактике ожирения, метаболического синдрома, сахарного диабета II типа и сердечно-сосудистых заболеваний, остеопороза, дисбактериоза и многих других заболеваний [8–12].

Общий мировой интерес к таким продуктам возрос наряду с ростом затрат на здравоохранение, увеличением продолжительности жизни и стремлением к высокому качеству жизни [13].

Однако, несмотря на доказанные положительные эффекты при потреблении йогурта, значимым для потребителя является вопрос качества и начальной привлекательности органолептических свойств продукта. Они предопределяют текстурные свойства и физическую стабильность йогурта, в т. ч. при хранении на полках магазина. Потребителями воспринимаются такие текстурные свойства продукта, как плотность и кремообразность сгустка на ложке, визуальная вязкость, гладкость и блеск поверхности. Физическая стабильность десертного йогурта характеризуется отсутствием синерезиса, а также видимых или воспринимаемых глазом хлопьев белка в продукте [14].

Свойства йогурта зависят как от сырьевых (в том числе генетических факторов) и технологических факторов при его производстве, так и от соблюдения холодильной цепочки движения продукта от завода до потребителя. Наибольшая нестабильность температурных режимов хранения кисломолочной продукции наблюдается в жаркий летний период при перевозке продукции в авторефрижераторах, а также при ее хранении в холодильных витринах открытого типа в потребительском отделе супермаркетов, где температурные условия способны достигать 12 ± 2 °C. Хранение кислотно-индуцированных молочных гелей при температурах, превышающих нормативно разрешенные значения (выше 6 °C), способно оказывать непосредственное влияние

на потребительские свойства продуктов, снижая заявленные сроки годности.

Одним из основных технологических факторов, влияющих на потребительские свойства десертного йогурта, является гомогенизация молочной смеси (при условии соблюдения режимов сквашивания). Гомогенизация молока способствует увеличению общей площади поверхности жировых шариков и препятствует отстаиванию, а также окислению молочного жира. Образующийся в процессе гомогенизации новый поверхностный слой жировых шариков состоит из мицелл казеина и их фрагментов, белков сыворотки и разрушенных оболочек жировых шариков. Новый поверхностный слой позволяет жировым шарикам взаимодействовать как частицы псевдоказеина в структуре кислого протеинового геля, увеличивая количество взаимодействующих частиц. Таким образом, увеличение площади поверхности жировых шариков в гомогенизированной молочной основе йогурта повышает плотность йогурта. Кроме того, снижение размера жировых шариков и частично белков напрямую коррелирует с визуально воспринимаемой повышенной гладкостью и пониженной мучнистостью йогурта [15].

Другим технологическим фактором является тепловая обработка молочной смеси. Нагрев молока до температуры 92 ± 2 °С с выдержкой от 3 до 5 мин обеспечивает практически полную денатурацию сывороточных белков – 95–99 %. Денатурированный сывороточный белок и к-казеин образуют комплексы, которые улучшают консистенцию йогурта (гладкая и блестящая поверхность), придают плотность сгустку, повышают влагоудерживающую способность и т. д. [16, 17].

Поскольку йогурт является кисломолочным продуктом с повышенным содержанием сухих веществ за счет введения в рецептуру сухого молока, то от его качества и технологических свойств напрямую зависит качество готовой продукции, особенно если йогурт полностью производят на основе сухого молока. Сухое молоко, по сравнению с другими видами молочного сырья, обладает рядом преимуществ, а именно повышенной пищевой и биологической ценностью, длительными сроками хранения в широком диапазоне температур, способностью нивелирования качественных и количественных сезонных колебаний сырья. Качество сухого молока зависит от генетических (наследственность, порода животного, его генотип), паратипических (возраст, состояние здоровья, период лактации, рацион кормления животного и т. д.) и технологических (сыропригодность, термоустойчивость, растворимость и т. д.) факторов. Значимым свойством сухого молока при производстве десертных йогуртов является его способность к коагуляции под действием заквасочной микрофлоры, первостепенная роль в которой принадлежит молочным белкам [3, 15].

Белковый состав молока и его влияние на технологические свойства уже давно являются предметом интереса мировых исследователей молочной отрасли. На сегодняшний день проведен большой объем работ по изучению влияния полиморфизма гена к-казеина (*CSN3*) на технологические свойства (термоустойчивость и сыропригодность) молока-сырья. Как следствие, информация о влиянии генотипа животного по гену *CSN3* на состав и технологические свойства получаемого молока может быть использована для их улучшения и направленной селекции крупного рогатого скота с помощью исследуемых маркеров без необходимости фенотипирования больших групп потомства [18–20].

Рассматривая полиморфизм гена *CSN3*, особую актуальность приобретает изучение его влияния в чистом и в смешанном виде (сборное молоко) на технологические свойства сухого молока после его восстановления при производстве десертного йогурта и устойчивость готового продукта, в т. ч. в процессе хранения.

Целью данной работы являлась оценка влияния полиморфизма гена к-казеина в сухом молоке на технологические свойства кислотно-индуцированных молочных гелей при имитации различных температурных условий хранения.

Объекты и методы исследования

Характеристика образцов сухого молока. Молоко-сырье, полученное от коров (КФХ «Мухаметшин», Россия, Татарстан) с генотипами *AA* и *BB* по гену к-казеина, было подвергнуто сублимационной сушке в камерах «TG-50» («Hochvakuum», Германия). Сухое сублимированное молоко было исследовано по основным физико-химическим показателям (табл. 1).

Образцы сухого молока хранились в холодильной камере при температуре 4 ± 2 °С в герметично упакованной полимерной таре на протяжении 4 месяцев. Перед проведением исследований образцы восстанавливали до массовой доли белка 3,2 %. На их основе были приготовлены смоделированные варианты образцов «сборного» молока, смешанные по массовой доле белка в соотношении AA^2:BB^2 75:25, 50:50 и 25:75 %. Навески модельных систем для восстановления сухого «сборного» молока представлены в таблице 2.

Сублимированное сухое молоко восстанавливали дважды прокипяченной дистиллированной водой с температурой 40 ± 2 °С в многофункциональном блендере-диспергаторе «Thermomix TM 31» («Vorwerk», Германия).

После внесения сухого молока в емкость смесь диспергировали в течение 10 мин при скорости

Таблица 1. Физико-химический состав образцов сухого молока и восстановленного сухого молока

Table 1. Physicochemical composition of milk powder and reconstituted milk powder samples

Наименование показателя	± неопределенность	Фактические значения						
		Сухое молоко		Восстановленное сухое молоко				
		AA[1]	*BB*[1]	AA^2:BB^2 (100:0 %)	AA^2:BB^2 (75:25 %)	AA^2:BB^2 (50:50 %)	AA^2:BB^2 (25:75 %)	AA^2:BB^2 (0:100 %)
Массовая доля жира, %	± 0,150	29,55	31,39	3,99	4,03	4,06	4,07	4,10
Массовая доля общего белка, %	± 0,060	23,79	24,50	3,21	3,20	3,23	3,21	3,20
Массовая доля сывороточных белков, %	± 0,200	6,06	6,54	0,82	0,85	0,85	0,83	0,86
Массовая доля казеиновых белков, %	± 0,033	18,11	18,14	2,44	2,43	2,42	2,44	2,37
Массовая доля влаги, %	± 0,200	2,57	2,33	86,85	86,94	86,99	87,07	87,23
Массовая доля СОМО, %	± 0,400	97,43	97,67	9,16	9,03	8,95	8,86	8,67
Массовая доля лактозы, %	± 0,350	39,40	38,37	5,31	5,20	5,25	5,15	5,02
Содержание Са, мг/кг	± 0,500	881,85	812,05	118,96	116,10	112,57	110,82	106,17
Активная кислотность, ед. pH	± 0,020	–	–	6,83	6,84	6,79	6,80	6,78

Таблица 2. Состав модельных систем для восстановления сухого «сборного» молока, полученного из молока-сырья коров, генотипированных по гену *CSN3*

Table 2. Composition of model systems for the reconstitution of dry bulk milk obtained from raw milk of cows genotyped by the *CSN3* gene

Наименование сырья	Наименование модельных систем				
	AA^2:BB^2 (100:0 %)	AA^2:BB^2 (75:25 %)	AA^2:BB^2 (50:50 %)	AA^2:BB^2 (25:75 %)	AA^2:BB^2 (0:100 %)
Сухое молоко, полученное из молока-сырья коров с генотипом *AA* по гену *CSN3*, г	135,00	101,25	67,50	33,75	–
Сухое молоко, полученное из молока-сырья коров с генотипом *BB* по гену *CSN3*, г	–	32,68	65,35	98,03	130,70
Вода, г	865,00	866,07	867,15	868,22	869,30
Итого	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00

500–1000 об/мин. Затем смесь охлаждали до температуры 20 ± 2 °С и оставляли в покое для набухания белков. Физико-химические показатели восстановленных образцов представлены в таблице 1.

Приготовление образцов йогурта. Образцы восстановленного молока после сублимационной сушки, стандартизованные до массовой доли белка 3,2 % и массовой доли жира 4,0 %, предварительно нагревали до температуры 60 °С и гомогенизировали с использованием лабораторного гомогенизатора («Manton Gaulin», США) при давлении 15,0 МПа. Гомогенизированное молоко подвергали тепловой обработке при температуре 92 ± 2 °С в течение 5 мин, после чего охлаждали до температуры 42 °С. Охлажденное молоко заквашивали йогуртной заквасочной культурой YO-PROX 700 («BIOPROX», Франция). Лиофилизированную закваску предварительно активировали охлажденной кипяченной дистиллированной водой в единой емкости. Молочную смесь сквашивали при температуре 42 °С в течение 5–6 ч до образования сгустка с кислотностью pH 4,6–4,7. Образцы йогурта медленно охлаждали до температуры 20 ± 2 °С и перемешивали сгусток до однородной консистенции. Каждый образец йогурта делили на 2 части и расфасовывали по стаканчикам и доохлаждали. Одну часть йогуртов хранили при температуре 4 ± 2 °С, а другую – при 12 ± 2 °С. Инструментальные измерения были выполнены через 48 ч после окончания технологического процесса.

Молекулярно-генетический анализ молока. В исследуемых образцах сухого молока выполняли оценку полиморфизма гена *CSN3* по *A*- и *B*-аллельным вариантам посредством ПЦР-ПДРФ-анализа.

ДНК из образцов сухого молока выделяли с помощью набора «ДНК-сорб-С-М» ФБУН Центральный НИИ эпидемиологии Роспотребнадзора, используя его инструкцию.

Амплификацию гена *CSN3* осуществляли на программируемом приборе «Терцик» (Россия) с реагентами производства СибЭнзим (Россия) в реакционных смесях объемом по 20 мкл, включающих:

– 2 мкл смеси dNTP (0,25 мМ каждого);
– 2 мкл буфера для Taq ДНК полимеразы (1×);
– 0,2 мкл Taq ДНК полимеразы (1 ед.);
– 0,4 мкл праймеров JK5: 5′-ATCATTTATGGCCA-

TTCCACCAAAG-3′ и JK3: 5′-GCCCATTTCGCCTTC TCTGTAACAGA-3′ (0,5 мкМ каждого);
– 2 мкл пробы ДНК.

Использовали следующий режим амплификации: ×1:94 °С – 4 мин; ×35:94 °С – 10 с, 63 °С – 10 с, 72 °С – 10 с; ×1:72 °С – 7 мин.

ПДРФ-идентификацию генотипов по аллельным вариантам *A* и *B* гена *CSN3* проводили путем обработки 20 мкл ПЦР-пробы 5 ед. рестриктазы *Hinf*I в SE-буфере «О» (СибЭнзим, Россия) с инкубацией при 37 ºС в течение 12 ч.

В результате генотипирования образцов по аллелям *A* и *B* гена *CSN3* с использованием пары праймеров JK5 и JK3 и рестриктазы *Hinf*I были получены ПЦР-продукт размером 350 bp и *CSN3*-ПДРФ-*Hinf*I профили: *BB* = 265/85 bp, *AA* = 134/131/85, *AB* = 265/134/131/85.

Для детекции полученных результатов инкубированные ПЦР-ПДРФ-фрагменты окрашивали буфером для нанесения образцов на агарозный гель (4× Gel Loading Dye, Blue, ЗАО «Евроген», Россия) в соотношении 3:1. Окрашенные амплификаты вносили в лунки 2 % агарозного геля, приготовленного путем плавления 2 г агарозы (Biotechnology Grade, «Amresco», США) в 100 мл трис-ацетатного электродного буфера (500 мл 1× ТАЕ буфера, 15 мкл 1 % раствора бромистого этидия). Детекцию осуществляли посредством горизонтального электрофореза при использовании камеры «SE-2» («Хеликон», Россия) и источника питания «Эльф-4» («ДНК-Технология», Россия) с визуализацией результатов на трансиллюминаторе системы гель-документирования Gel Doc XR+ с поддержкой программного обеспечения Image Lab («Bio-Rad», США). Используемый режим электрофореза: выходное напряжение – 180 В, выходной ток – 150 мА, время электрофореза – 45 мин [21].

Физико-химический анализ образцов. Определение основных физико-химических показателей сухого и восстановленного молока проводили по стандартизованным методикам:
– массовую долю жира определяли кислотным методом Гербера в соответствии с ГОСТ Р ИСО 2446-2011, ISO 19662:2018 [IDF 238:2018] и ISO 11870:2009 [IDF 152:2009];
– массовую долю белка определяли по методу Кьельдаля по ISO 1871:2009 и ISO 8968-1:2014 [IDF 20-1:2014] на анализаторе белка «Kjeltec-2400 Auto Analyzer» («Foss Electric», Дания);
– массовую долю сывороточных белков и фракций казеина определяли путем кислотного осаждения казеина и измерения общего азота в фильтрате по ISO 17997-1:2004 [IDF 29-1:2004];
– массовую долю сухих веществ в молоке определяли термогравиметрическими методами по ГОСТ ISO 6731/IDF 21-2012;
– массовую долю лактозы определяли поляриметрическим методом в соответствии ГОСТ Р 54667-2011 и ферментативным методом в качестве контрольного по ISO 26462:2010;
– содержание Са определяли титриметрическим методом по ISO 12081:2010 [IDF 36:2010];
– активную кислотность определяли потенциометрическим методом с использованием pH-метра «InoLab pH Level 1», оснащенного комбинированным pH-электродом «Sen Tix 61».

Определение плотности сгустка. Анализ профиля текстуры был выполнен на структурометре «СТ-2» (ООО «Лаборатория качества», Россия) с использованием теста на деформацию, подключенного к компьютеру, который запрограммирован с помощью программного обеспечения для анализа текстуры. К подвижной тензобалке прикрепляли индентор «Конус 90» (СТ-2.33.00.004) из дюрали. Скорость тензобалки была установлена на уровне 30 мм/мин. Образец йогурта измеряли при температуре 20 ± 2 °С до момента перемешивания сгустка. Начало измерения фиксировали при появлении сопротивления, а окончание при погружении индентора в продукт на 12 мм ниже поверхности йогурта.

Определение динамической вязкости и степени тиксотропности сгустка. Измерение динамической вязкости десертного йогурта проводили с помощью ротационного вискозиметра «Rheotest 2» («Medingen», Германия) в диапазоне I b и II b на системе коаксиальных цилиндров S/S1 при температуре хранения образцов 4 ± 2 и 12 ± 2 °С соответственно. Угол сдвига измерялся с использованием 12 скоростей сдвига в восходящем направлении и 11 скоростей в нисходящем направлении. Степень тиксотропности определяли как площадь петли гистерезиса между кривыми течения в диапазоне изменения скоростей сдвига от 1,5 до 656 $с^{-1}$ при прямом и обратном ходе, выраженной в процентах. Пересчет значений проводили в соответствии с методическими указаниями компании-изготовителя прибора [22].

Определение влагоудерживающей способности. Образец йогурта в количестве 25 г помещали в пластиковый фалькон с крышкой объемом 50 мл и центрифугировали при скорости 8000 об/мин в течение 15 мин. После окончания центрифугирования выделившуюся надосадочную жидкость аккуратно сливали и взвешивали. Массовая доля надосадочной жидкости использовалась как показатель синерезиса сыворотки (мг/100 г десертного йогурта).

Определение краевого угла смачивания. Измерение краевого угла смачивания (КУС), характеризующий способность десертного йогурта сохранять форму, осуществляли методом лежачей капли на анализаторе формы капли «DSA25»



Рисунок 1. Поверхность шлифованной пластины из нержавеющей стали марки «AISI 304»

Figure 1. Surface of an AISI 304 grinded stainless steel plate

(«KRÜSS», Германия) с программным обеспечением ADVANCE. КУС измеряли в момент нахождения капли йогурта в статическом состоянии на твердой поверхности. В качестве твердой поверхности были выбраны пластины из нержавеющей стали марки «AISI 304» с идентичным индексом шероховатости (рис. 1).

Подготовленный образец йогурта при заданной температуре набирали в измерительный шприц. Шприц закрепляли в подвижной каретке прибора, выравнивали иглу перпендикулярно по отношению к поверхности и калибровали прибор перед каждым измерением. Для измерения КУС десертного йогурта была подобрана игла диаметром 0,77 мм, объем выдавливаемой капли 6,0–7,0 мкл. Подача продукта осуществлялась до момента касания капли с твердой поверхностью, после чего игла удалялась. Капля стабилизировалась в течение 3 мин. Измерение КУС проводилось при помощи встроенной камеры высокой четкости. Эта операция повторялась 3–5 раз, затем фиксировалось среднее значение и отклонение. Результаты были обсчитаны автоматически при помощи программного обеспечения, поставляемого с прибором.

Определение поверхностного натяжения. Измерение поверхностного натяжения (ПН) осуществляли методом висячей капли на оптическом анализаторе формы капли «DSA25» («KRÜSS», Германия) с программным обеспечением ADVANCE. Шприц с продуктом закрепляли в подвижной каретке и производили калибровку оптического прибора. Для измерения ПН была подобрана игла диаметром 0,66 мм, объем выдавливаемой капли составлял 5–6 мкл. Подача продукта была автоматизированной исходя из максимального объема капли, способного удержаться на игле. Подвешенную на игле каплю оставляли в покое на 1 минуту для уравновешивания, после чего проводили измерения. Измерения продукта проводили при температурах его хранения. Средние значения и отклонения обсчитывались автоматически при помощи предустановленного программного обеспечения.

Моделирование эксперимента обеспечивало его проведение в 3-х кратной повторности. Обработку массивов полученных данных проводили при помощи офисных программ Microsoft Excel 2019.

Результаты и их обсуждение

Оценка плотности сгустка сквашенного йогурта. Первоочередной задачей исследований с точки зрения энергоемкости технологического процесса перемешивания йогурта являлось изучение влияния полиморфизма гена *CSN3* на плотность сгустков, образованных в результате сквашивания и охлаждения до температуры 20 ± 2 °С модельных систем «сборного» молока йогуртной заквасочной культурой (рис. 2).

Исследования показали, что образцы йогурта, сквашенные на молоке с 100 %-ным преобладанием генотипов *AA* и *BB* по гену *CSN3*, а также образец, смешанный по казеину в соотношении 50:50 %, имели приблизительно равную нагрузку для деформации на уровне 30,0–31,5 г при среднем уровне погружении конусного индентора и 103–105 г при максимальном уровне погружения. Смешивание молока с генотипами *AA* и *BB* в соотношении 75:25 и 25:75 % приводило к образованию более слабого сгустка, где нагрузка при средней глубине пенетрации составляла 25,8 и 27,8 г, а при максимальной глубине пенетрации 92,9 и 93,5 г соответственно. Таким образом, плотность сквашенных сгустков отличалась на 10 %. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии явных закономерностей, коррелирующих с генетическими факторами, влияющими на плотность охлажденного сгустка после сквашивания.

Исследование структурно-механических свойств десертного йогурта. Динамическая вязкость и способность десертного йогурта восстанавливаться после приложенных к нему механических воздействий, таких как встряхивание, относятся к факторам, формирующим качество кисломолочного продукта. Конструктивные особенности открытых магазинных витрин, перегрузка их продукцией, неисправности в системе охлаждения, несоблюдение температурных условий хранения – все это способно привести к снижению структурно-механических свойств продукта, а значит ухудшить их качество. Поэтому целью дальнейших исследований было выявление зависимостей влияния факторов полиморфизма гена к-казеина на динамическую вязкость, степень тиксотропности и устойчивости к «тепловому шоку». Для этого в структурированных после перемешивания десертных йогуртах, приготовленных на модельных системах сухого

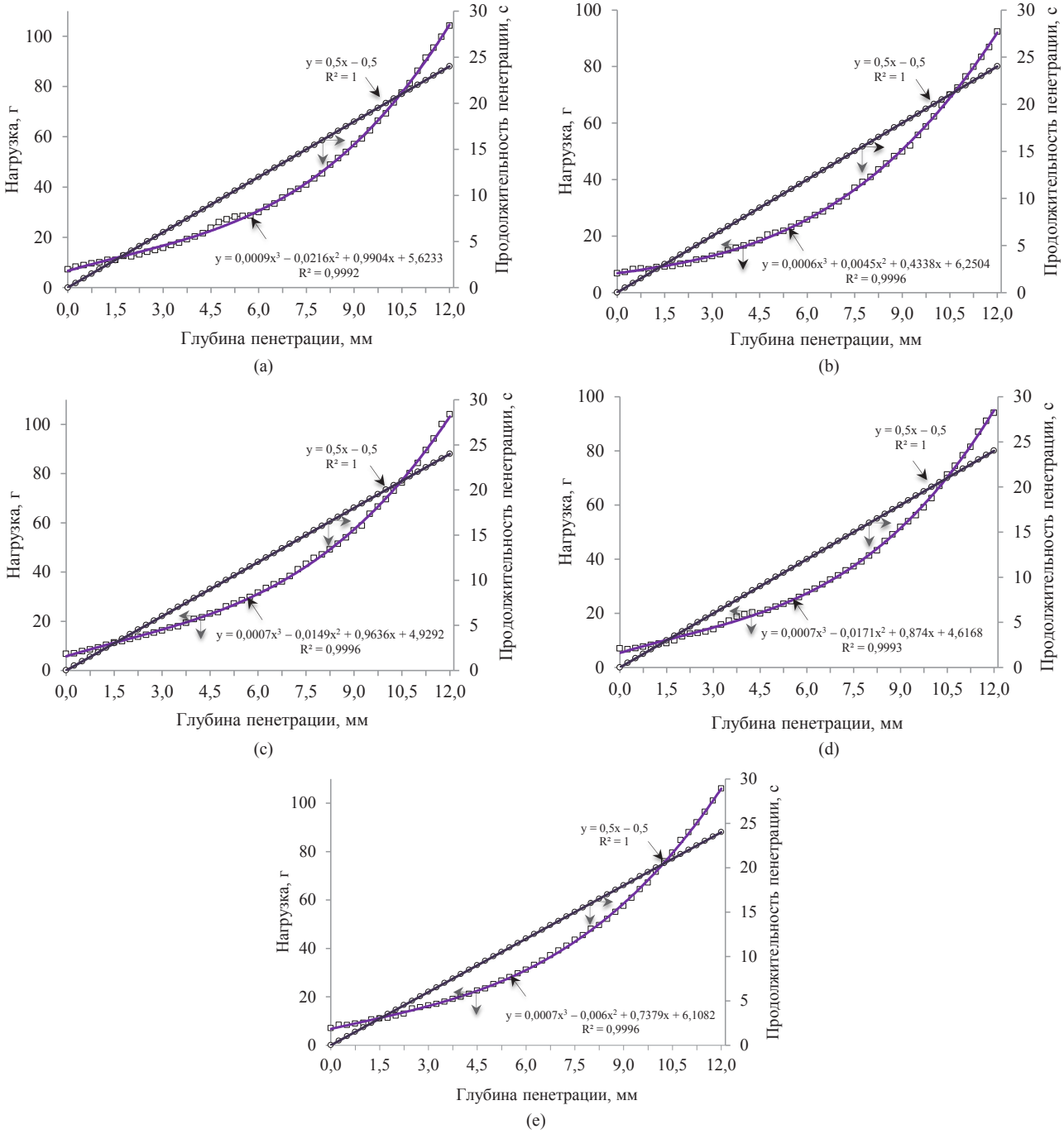


Рисунок 2. Исследование плотности сквашеного сгустка десертного йогурта после охлаждения до температуры 20 ± 2 °С: a) AA^2:BB^2 (100:0 %); b) AA^2:BB^2 (75:25 %); c) AA^2:BB^2 (50:50 %); d) AA^2:BB^2 (25:75 %); e) AA^2:BB^2(0:100 %)

Figure 2. Fermented curd tension of dessert yogurt after cooling to temperature 20 ± 2°C: a) AA^2:BB^2 (100:0%); b) AA^2:BB^2 (75:25%); c) AA^2:BB^2 (50:50%); d) AA^2:BB^2 (25:75%); e) AA^2:BB^2 (0:100%)

«сборного» молока, полученного от коров с генотипами *AA* и *BB* по гену *CSN3*, спустя 48 ч была исследована динамическая вязкость и степень тиксотропности при температуре хранения 4 ± 2 и 12 ± 2 °С (рис. 3, 4).

Анализ полученных данных показал, что наименьшей динамической вязкостью обладал десертный йогурт, приготовленный на сухом восстановленном молоке, полученном от коров с генотипом *AA* по гену *CSN3*. Выявлена зависимость повышения динамической вязкости десертного йогурта с увеличением в «сборном» сухом молоке количества молока, полученного от коров с генотипом *BB* по *CSN3*. Динамическая вязкость образца десертного йогурта AA^2:BB^2 (0:100 %) была выше на 67 %, у образца AA^2:BB^2 (50:50 %) выше на

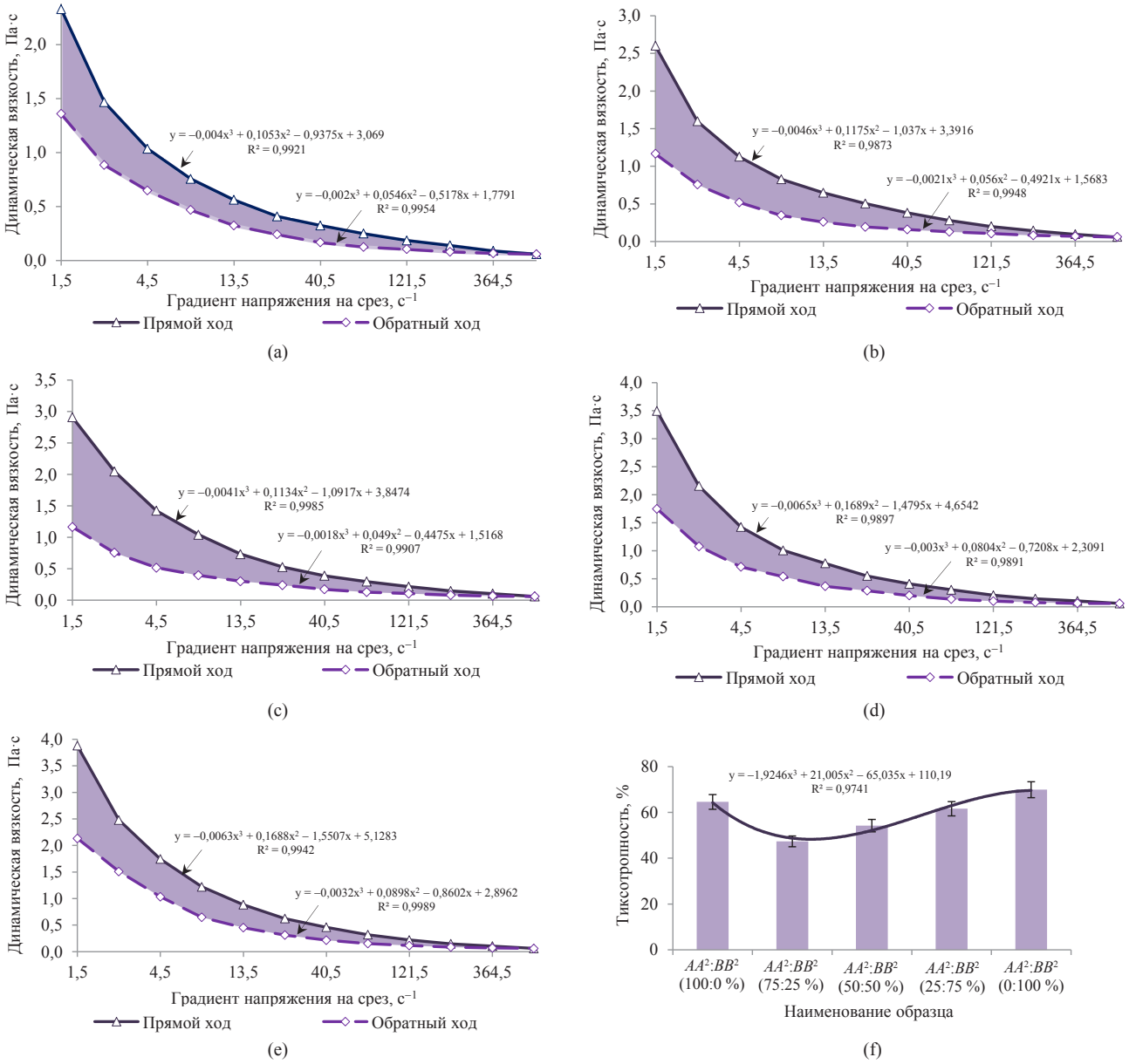


Рисунок 3. Исследование структурно-механических свойств десертного йогурта при температуре 4 ± 2 °С: a) AA^2:BB^2 (100:0 %); b) AA^2:BB^2 (75:25 %); c) AA^2:BB^2 (50:50 %); d) AA^2:BB^2 (25:75 %); e) AA^2:BB^2 (0:100 %); f) степень тиксотропности

Figure 3. Structural and mechanical properties of dessert yoghurt at temperature 4 ± 2°C: a) AA^2:BB^2 (100:0%); b) AA^2:BB^2 (75:25%); c) AA^2:BB^2 (50:50%); d) AA^2:BB^2 (25:75%); e) AA^2:BB^2 (0:100%); f) degree of thixotropy

25 %, чем у образца AA^2:BB^2 (100:0 %). Данный факт связан с размером мицелл казеина, формирующих молочный гель.

Ряд авторов в своих исследованиях показал, что молоко с маленьким размером мицелл казеина образует гель с более высокой вязкостью и твердостью, чем молоко с крупным размером мицелл. Высказано предположение, что повышенную способность к гелеобразованию можно отнести к увеличению количества *CSN3* в малых мицеллах казеина. Это увеличивает содержание растворимых комплексов сывороточных белков и *CSN3* в пастеризованном молоке. Однако высокое содержание растворимых комплексов в молочной основе йогурта с небольшими мицеллами казеина образует большее количество точек соприкосновения во время сквашивания [15]. Другие авторы отмечают, что молоко, полученное от коров с генотипом *BB* по гену *CSN3*, характеризуется меньшим средним диаметром мицелл казеина, чем молоко от коров с генотипом *AA* по гену *CSN3* [23, 24]. Таким образом, полиморфизм гена *CSN3* способен косвенным

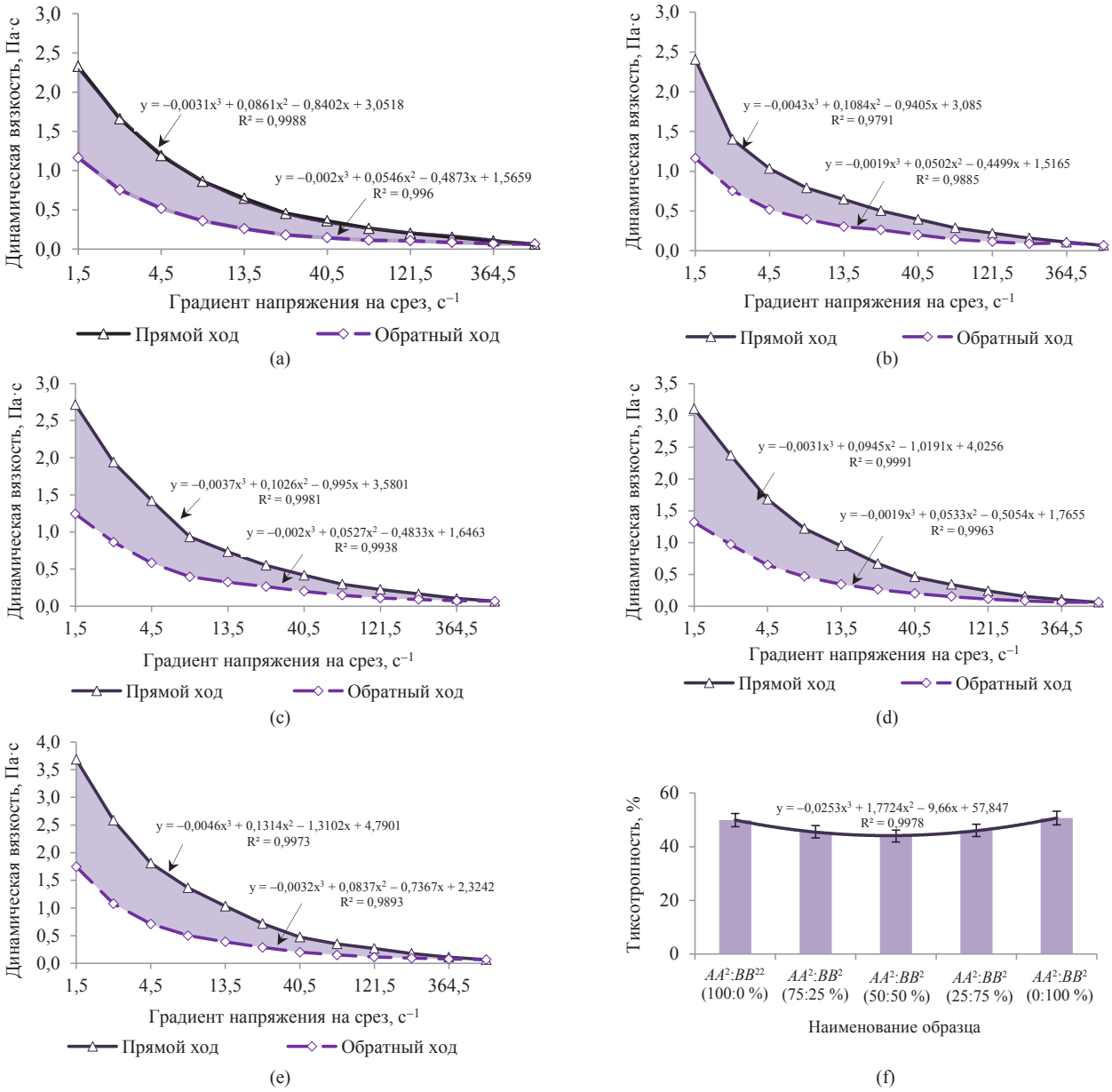


Рисунок 4. Исследование структурно-механических свойств десертного йогурта при температуре 12 ± 2 °С: a) AA^2:BB^2 (100:0 %); b) AA^2:BB^2 (75:25 %); c) AA^2:BB^2 (50:50 %); d) AA^2:BB^2 (25:75 %); e) AA^2:BB^2 (0:100 %); f) степень тиксотропности

Figure 4. Structural and mechanical properties of dessert yoghurt at temperature 12 ± 2°C: a) AA^2:BB^2 (100:0 %); b) AA^2:BB^2 (75:25%); c) AA^2:BB^2 (50:50%); d) AA^2:BB^2 (25:75%); e) AA^2:BB^2 (0:100%); f) degree of thixotropy

образом влиять на динамическую вязкость десертных йогуртов.

Анализируя тиксотропность кисломолочных гелей, можно отметь схожую зависимость в увеличении степени тиксотропности с повышением в модельных системах процентного содержания молока от коров с генотипом *BB* по гену *CSN3*. Исключением является образец десертного йогурта AA^2:BB^2 (100:0 %). Данная динамика может объясняться внедрением в белковую матрицу сгустка, состоящего из мицелл с крупным диаметром, мицеллярных центров с гораздо меньшим размером. Такое построение белковой матрицы восстанавливается быстрее, чем меньшие колебания дисперсности казеиновых мицелл.

Параллельно были проведены аналогичные исследования в хранении образцов десертного йогурта при температуре 12 ± 2 °С.

Исследования влияния полиморфизма гена *CSN3* на динамическую вязкость образцов при температуре 12 ± 2 °С показали схожиее зависимости с проведеными выше исследованиями. Динамическа

Таблица 3. Исследование краевого угла смачивания (формоустойчивости) десертного йогурта, произведенного из сухого молока, полученного от коров с полиморфизмом гена *CSN3*

Table 3. Wetting angle (dimensional stability) of dessert yogurt made from milk powder obtained from cows with *CSN3* gene polymorphism

Наименование образца	Хранение при температуре 4 ± 2 °С			Хранение при температуре 12 ± 2 °С		
	Средний краевой угол смачивания, °	Средний объем капли, мкл	Средний диаметр, мм	Средний краевой угол смачивания, °	Средний объем капли, мкл	Средний диаметр, мм
AA^2:BB^2 (100:0 %)	51,98 ± 1,51	6,58 ± 0,03	3,90 ± 0,06	49,71 ± 1,70	6,51 ± 0,02	3,98 ± 0,06
AA^2:BB^2 (75:25 %)	58,37 ± 1,27	6,53 ± 0,04	3,69 ± 0,08	50,49 ± 1,96	6,54 ± 0,03	3,91 ± 0,07
AA^2:BB^2 (50:50 %)	62,67 ± 1,92	6,55 ± 0,07	3,61 ± 0,08	52,41 ± 1,37	6,47 ± 0,03	3,89 ± 0,04
AA^2:BB^2 (25:75 %)	66,66 ± 1,96	6,50 ± 0,04	3,53 ± 0,08	54,20 ± 1,92	6,49 ± 0,02	3,83 ± 0,07
AA^2:BB^2 (0:100 %)	68,94 ± 1,61	6,48 ± 0,05	3,47 ± 0,23	56,81 ± 1,79	6,53 ± 0,04	3,75 ± 0,05

вязкость образца AA^2:BB^2 (0:100 %) была выше на 26 %, чем у образца AA^2:BB^2 (50:50 %) и больше на 59 %, чем у образца AA^2:BB^2 (100:0 %). Вязкость промежуточных образцов AA^2:BB^2 (75:25 %) и AA^2:BB^2 (25:75 %) полностью коррелировала с выявленной зависимостью. Сравнительный анализ динамической вязкости десертных йогуртов при температуре хранения 12 ± 2 °С показал снижение данного показателя на 7 % по отношению к соответствующим образцам, хранившимся при температуре 4 ± 2 °С. Исключением являлся образец йогурта AA^2:BB^2 (100:0 %), снижение показателя вязкости которого было минимальным и составило менее 1 %. Это может быть связано как с изначально меньшей вязкостью данного образца, так и возможным влиянием генетической изменчивости гена *CSN3* на устойчивость кисломолочного геля к повышенным температурным условиям. Что касается тиксотропных свойств, то выявленные ранее зависимости (при температуре хранения 4 ± 2 °С) невелировались. Степень тиксотропности всех образцов десертного йогурта, хранившегося при температуре 12 ± 2 °С, находилась на уровне 50 %, что является низким показателем для качественного продукта.

Исследование краевого угла смачивания десертного йогурта. Для уточнения факторов влияния генетической изменчивости гена *CSN3* на способность к сохранению формы был проведен блок исследований по измерению краевого угла смачивания образцов десертного йогурта. Нанесение кисломолочного продукта на шлифованную пластину из пищевой нержавеющей стали и измерение краевого угла смачивания способно охарактеризовать формоустойчивость образца при температуре хранения 4 ± 2 и 12 ± 2 °С (табл. 3).

Исследование краевого угла смачивания показало тенденцию к сохранению формы, выраженную в увеличение КУС в образцах с повышением содержания в десертном йогурте сухого восстановленного молока, полученного от коров с генотипом *BB* по гену *CSN3*. Формоустойчивость десертного йогурта AA^2:BB^2 (0:100 %) при температуре хранения 4 ± 2 °С была значительно выше, чем у образца AA^2:BB^2 (100:0 %). Разница в краевом угле смачивания между образцами составляла 17°. Замещение в сухом молоке AA^2:BB^2 (0:100 %) каждых 25 % белка на белок сухого молока AA^2:BB^2 (0:100 %) в готовом десертном йогурте приводило к увеличению КУС на 4° при средней неопределенности 1,65°.

Исследование КУС десертных йогуртов при температуре хранения 12 ± 2 °С подтвердило отмеченную ранее тенденцию (табл. 3): продукт AA^2:BB^2 (0:100 %) характеризовался более высокой формоустойчивостью, чем AA^2:BB^2 (100:0 %). Разница краевого угла смачивания между образцами составила 4°. Сравнительный анализ данных КУС хранения продукта при разных температурах (табл. 3) показал, что образец десертного йогурта AA^2:BB^2 (100:0 %) был подвержен наименьшему изменению формы (в пределах погрешности). Однако он также характеризовался наименьшей вязкостью. Влияние повышенной температуры хранения (12 ± 2 °С) десертного йогурта негативно сказалось на формоустойчивости образцов: КУС образца AA^2:BB^2 (50:50 %) изменился на 10°, в то время как у образцов AA^2:BB^2 (25:75 %) и AA^2:BB^2 (0:100 %) КУС снизился на 12°. Полученные данные коррелирует с результатами исследования динамической вязкости и могут служить частичным подтверждением гипотезы о влиянии полиморфизма гена *CSN3* на структурно-механические свойства.

Исследование поверхностного натяжения десертного йогурта. На следующем этапе исследований в образцах десертного йогурта было изучено поверхностное натяжение как одно из составляющих КУС. Непосредственное влияние на формирование ПН в молочных системах оказывает температура, состояние жира, а также фракционный состав белков. к-казеин как фракция, расположенная на поверхности мицелл казеина, способна оказывать непосредственное влияние на формирование ПН в молочных системах. Поэтому в работе было исследовано ПН в образцах десертного йогурта, приготовленных на модельных системах

Таблица 4. Поверхностное натяжение десертного йогурта, произведенного из сухого молока, полученного от коров с полиморфизмом гена *CSN3*

Table 4. Surface tension of dessert yoghurt made from milk powder obtained from cows with *CSN3* gene polymorphism

Наименование образца	Хранение при температуре 4 ± 2 °С			Хранение при температуре 12 ± 2 °С		
	Среднее поверхностное натяжение, мН/м	Средняя площадь капли, мм²	Средний параметр формы капли	Среднее поверхностное натяжение, мН/м	Средняя площадь капли, мм²	Средний параметр формы капли
AA^2:BB^2 (100:0 %)	41,77 ± 2,63	15,58 ± 0,04	0,62 ± 0,01	36,95 ± 2,65	13,62 ± 0,06	0,64 ± 0,03
AA^2:BB^2 (75:25 %)	43,96 ± 2,22	14,20 ± 0,25	0,59 ± 0,04	42,28 ± 1,24	14,32 ± 0,02	0,59 ± 0,01
AA^2:BB^2 (50:50 %)	51,12 ± 1,88	16,00 ± 0,11	0,55 ± 0,01	42,77 ± 0,51	14,64 ± 0,01	0,59 ± 0,01
AA^2:BB^2 (25:75 %)	52,80 ± 0,80	14,48 ± 0,10	0,53 ± 0,02	45,57 ± 0,06	13,61 ± 0,02	0,55 ± 0,01
AA^2:BB^2 (0:100 %)	53,73 ± 0,20	14,98 ± 0,02	0,52 ± 0,01	47,71 ± 0,43	14,94 ± 0,04	0,56 ± 0,01

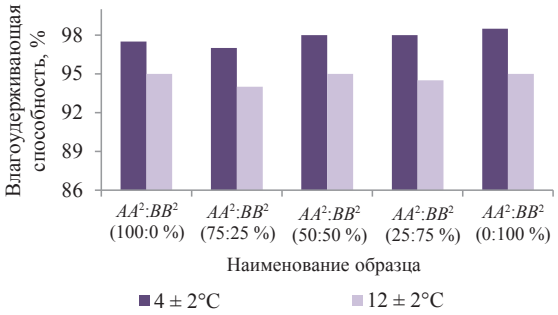


Рисунок 5. Исследование ВУС десертного йогурта при температурах хранения 4 ± 2 и 12 ± 2 °С

Figure 5. Moisture-holding ability of dessert yogurt at storage temperatures of 4 ± 2 and 12 ± 2°C

сухого «сборного» молока, полученного от коров с генотипами *AA* и *BB* по гену *CSN3* при разных температурах хранения (табл. 4).

Оценка поверхностного натяжения исследуемых образцов при температуре хранения 4 ± 2 °С показала повышение ПН в линейке смешивания образцов от AA^2:BB^2 (100:0 %) к AA^2:BB^2 (0:100 %). Разница значений между образцами составила 12 мН/м. Так как ПН является изотермически обратимым процессом, то значения исследования ПН в десертных йогуртах при температуре хранения 12 ± 2 °С были ниже, чем при температуре 4 ± 2 °С. Однако общая тенденция снижения поверхностного натяжения была схожа и составляла среднюю разницу 11 мН/м между соответствующими образцами. Данная тенденция тесно связана, как и динамическая вязкость, со средним размером мицелл казеина. Образцы десертного йогурта с преобладанием в составе сухого «сборного» молока от коров с генотипом *BB* по гену *CSN3* содержат большее количество гидрофильных частей и более высокое содержание растворимых комплексов сывороточных белков и *CSN3*, что способно оказывать непосредственное положительное влияние на ПН [24].

Немаловажным фактором при хранении десертного йогурта как с точки зрения потребителя, так и с точки зрения производителя, является влагоудерживающая способность (ВУС). ВУС исследуемых образцов представлена на рисунке 5.

Анализ данных, представленных на рисунке 5, показывает отсутствие какого-либо значимого влияния полиморфизма гена *CSN3* на изменении ВУС десертного йогурта. Отмечено негативное влияние температуры хранения 12 ± 2 °С на влагоудерживающую способность десертного йогурта. У всех без исключения образцов, хранившихся при данной температуре, происходил отстой сыворотки (синерезис) как при исследовании центрифужным методом, так и при статическом хранении в холодильнике.

Выводы

Результаты проведенных исследований показали, что с повышением в модельных системах десертного йогурта сухого «сборного» молока, полученного от коров с генотипом *BB* по гену *CSN3*, структурно-механические свойства, формоустойчивость и поверхностное натяжение повышаются. Анализ литературных данных и полученные результаты исследования позволяют сделать вывод о косвенном влиянии полиморфизма гена *CSN3* на структурно-механические показатели, связанные с генетическим влиянием на средний диаметр мицелл казеина в исходном молоке и происходящими в результате этого биохимическими и изотермическими процессами.

Полученные данные по хранению продукта при температуре 12 ± 2 °С показали снижение структурно-механических показателей, КУС, ПН, ВУС по сравнению с хранением десертного йогурта при температуре 4 ± 2 °С. Однако сохранились зависимости положительного влияния на технологические свойства десертного йогурта повышения в его составе процентного содержаия сухого восстановленного молока, полученного от коров с генотипом *BB* по гену *CSN3*. Исследование плотности сгустка после охлаждения показало отсутствие значимого влияния полиморфизма гена

CSN3. Таким образом, наиболее значимые отличия между аллельными вариантами *A* и *B* в десертном йогурте проявляются только после полного охлаждения и структурирования продукта.

Полученные данные позволяют оценить влияние полиморфизма гена *CSN3* на технологические свойства сухого молока в процессе его переработки на молочные продукты, вырабатываемые кислотно-индуцированным способом с образованием молочных гелей. В перспективе полученные данные могут войти в молекулярно-генетическую систему оценки технологических свойств сухого молока и будут способствовать совершенствованию систем закупочного ценообразования на перерабатываемое молочное сырье.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в подготовке и написании статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for information published in this article.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Мировой и отечественный опыт в развитии рынка молока и молочных продуктов / Н. М. Сурай, В. В. Носов, Ж. Н. Диброва [и др.] // Экономические науки. – 2019. – № 171. – P. 71–79. https://doi.org/10.14451/1.171.71.

2. Chandan, R. C. Role of milk and dairy foods in nutrition and health / R. C. Chandan, A. Kilara // Dairy processing and quality assurance / R. C. Chandan. – John Wiley and Sons, 2008. – P. 411–428. https://doi.org/10.1002/9780813804033.ch18.

3. Зобкова, З. С. История производства йогурта / З. С. Зобкова // Молочная промышленность. – 2017. – № 8. – С. 24–25.

4. Kumar, B. V. Trends in dairy and non-dairy probiotic products – a review / B. V. Kumar, S. V. N. Vijayendra, O. V. S. Reddy // Journal of Food Science and Technology. – 2019. – Vol. 52, № 10. – P. 6112–6124. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1795-2.

5. Chandan, R. C. Yogurt: Historical background, health benefits, and global trade / R. C. Chandan, A. Gandhi, N. P. Shah // Yogurt in health and disease prevention / N. P. Shah. – Academic Press, 2017. – P. 3–29. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805134-4.00001-8.

6. Выбор рациональных условий производства йогурта, обогащенного биофлавоноидами / З. С. Зобкова, Т. П. Фурсова, Д. В. Зенина [и др.] // Молочная промышленность. – 2018. – № 4. – С. 32–33. https://doi.org/10.31515/1019-8946-2018-4-32-33.

7. Выделение перспективных штаммов из национальных продуктов и определение их свойств / А. В. Бегунова, И. В. Рожкова, Т. И. Ширшова [и др.] // Молочная промышленность. – 2020. – № 5. – С. 38–41. https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-05-38-40.

8. Fernandez, M. A. Potential health benefits of combining yogurt and fruits based on their probiotic and prebiotic properties / M. A. Fernandez, A. Marette // Advances in Nutrition. – 2017. – Vol. 8, № 1. – P. 155S–164S. https://doi.org/10.3945/an.115.011114.

9. Sarkar, S. Potentiality of probiotic yoghurt as a functional food – a review / S. Sarkar // Nutrition and Food Science. – 2019. – Vol. 49, № 2. – P. 182–202. https://doi.org/10.1108/NFS-05-2018-0139.

10. Probiotics and prebiotics in intestinal health and disease: from biology to the clinic / M. E. Sanders, D. J. Merenstein, G. Reid [et al.] // Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology. – 2019. – Vol. 16, № 10. – P. 605–616. https://doi.org/10.1038/s41575-019-0173-3.

11. The interplay between immune system and microbiota in osteoporosis / P. Locantore, V. Del Gatto, S. Gelli [et al.] // Mediators of Inflammation. – 2020. – Vol. 2020. https://doi.org/10.1155/2020/3686749.

12. Processing cottage cheese whey components for functional food production / E. Yu. Agarkova, A. G. Kruchinin, N. A. Zolotaryov [et al.] // Foods and Raw Materials. – 2020. – Vol. 8, № 1. – P. 52–59. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-52-59.

13. Ozen, A. E. Worldwide consumption of functional foods: a systematic review / A. E. Ozen, A. Pons, J. A. Tur // Nutrition Reviews. – 2012. – Vol. 70, № 8. – P. 472–481. https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2012.00492.x.

14. The role of exopolysaccharide-producing cultures and whey protein ingredients in yoghurt / P. Buldo, C. Benfeldt, D. M. Folkenberg [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 72. – P. 189–198. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.050.

15. Processing of high-protein yoghurt – A review / C. E. Jorgensen, R. K. Abrahamsen, E. O. Rukke [et al.] // International Dairy Journal. – 2019. – Vol. 88. – P. 42–59. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.08.002.

16. Mahomud, M. S. Role of whey protein-casein complexes on yoghurt texture / M. S. Mahomud, N. Katsuno, T. Nishizu // Reviews in Agricultural Science. – 2017. – Vol. 5. – P. 1–12. https://doi.org/10.7831/ras.5.1.

17. Результаты перспективного сравнительного открытого рандомизированного исследования по изучению эффективности йогурта, обогащенного пребиотиками и пробиотиками, у детей раннего возраста, перенесших острую респираторную инфекцию / А. И. Хавкин, О. Б. Федотова, Г. В. Волынец [и др.] // Вопросы детской диетологии. – 2019. – Т. 17, № 1. – С. 29–37. https://doi.org/10.20953/1727-5784-2019-1-29-37.

18. Молекулярно-генетические модификации к-казеина / А. Г. Кручинин, С. Н. Туровская, Е. Е. Илларионова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2020. – Т. 376, № 4. – С. 12–16. https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.4.3.

19. Тюлькин, С. В. Влияние генотипа коров на их продуктивность и качество молока / С. В. Тюлькин // Пищевые системы. – 2018. – Т. 1, № 3. – С. 38–43. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-3-38-43.

20. Егорашина, Е. В. Молочная продуктивность коров разных пород во взаимосвязи с генотипами по каппа-казеину и бета-лактоглобулину / Е. В. Егорашина, Р. В. Тамарова // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2019. – Т. 27, № 2. – С. 79–85. https://doi.org/10.35523/2307-5872-2019-27-2-79-85.

21. Разработка способа проведения аллель-специфичной ПЦР для генотипирования крупного рогатого скота по аллелям *A* и *B* гена каппа-казеина / С. В. Тюлькин, А. В. Муратова, И. И. Хатыпов [и др.] // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2015. – Т. 222, № 2. – С. 221–224.

22. Реотест 2: инструкция по эксплуатации. – Берлин : МРМ, 1978. – 22 р.

23. Composition and effect of blending of noncoagulating, poorly coagulating, and well-coagulating bovine milk from individual Danish Holstein cows / P. D. Frederiksen, K. K. Andersen, M. Hammershoj [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2011. – Vol. 94, № 10. – P. 4787–4799. https://doi.org/10.3168/jds.2011-4343.

24. Factors influencing casein micelle size in milk of individual cows: Genetic variants and glycosylation of κ-casein / E. Bijl, R. de Vries, H. van Valenberg [et al.] // International Dairy Journal. – 2014. – Vol. 34, № 1. – P. 135–141. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.08.001.

References

1. Sarah NM, Nosov VV, Dibrova ZN, Bobkov AN, Eidinow HT. International and domestic experience in the development of the market of milk and dairy products. Economic sciences. 2019;(171):71–79. (In Russ.). https://doi.org/10.14451/1.171.71.

2. Chandan RC, Kilara A. Role of milk and dairy foods in nutrition and health. In: Chandan RC, editor. Dairy processing and quality assurance. John Wiley and Sons; 2008. pp. 411–428. https://doi.org/10.1002/9780813804033.ch18.

3. Zobkova ZS. The history of yogurt production. Dairy Industry. 2017;(8):24–25. (In Russ.).

4. Kumar BV, Vijayendra SVN, Reddy OVS. Trends in dairy and non-dairy probiotic products – a review. Journal of Food Science and Technology. 2019;52(10):6112–6124. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1795-2.

5. Chandan RC, Gandhi A, Shah NP. Yogurt: Historical background, health benefits, and global trade. In: Shah NP, editor. Yogurt in health and disease prevention. Academic Press; 2017. pp. 3–29. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805134-4.00001-8.

6. Zobkova ZS, Fursova TP, Zenina DV, Gavrilina AD, Shelaginova IR. Selection of the rationalconditions for production of the yogurt enrichedwith bioflavonoids. Dairy Industry. 2018;(4):32–33. (In Russ.). https://doi.org/10.31515/1019-8946-2018-4-32-33.

7. Begunova AV, Rozhkova IV, Shirshova TI, Krysanova YuI. Isolation of promising strains from national products and determination of their properties. Dairy Industry. 2020;(5):38–41. (In Russ.). https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-05-38-40.

8. Fernandez MA, Marette A. Potential health benefits of combining yogurt and fruits based on their probiotic and prebiotic properties. Advances in Nutrition. 2017;8(1):155S–164S. https://doi.org/10.3945/an.115.011114.

9. Sarkar S. Potentiality of probiotic yoghurt as a functional food – a review. Nutrition and Food Science. 2019;49(2):182–202. https://doi.org/10.1108/NFS-05-2018-0139.

10. Sanders ME, Merenstein DJ, Reid G, Gibson GR, Rastall RA. Probiotics and prebiotics in intestinal health and disease: from biology to the clinic. Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology. 2019;16(10):605–616. https://doi.org/10.1038/s41575-019-0173-3.

11. Locantore P, Del Gatto V, Gelli S, Paragliola RM, Pontecorvi A. The interplay between immune system and microbiota in osteoporosis. Mediators of Inflammation. 2020;2020. https://doi.org/10.1155/2020/3686749.

12. Agarkova EYu, Kruchinin AG, Zolotaryov NA, Pryanichnikova NS, Belyakova ZYu, Fedorova TV. Processing cottage cheese whey components for functional food production. Foods and Raw Materials. 2020;8(1):52–59. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-52-59.

13. Ozen AE, Pons A, Tur JA. Worldwide consumption of functional foods: a systematic review. Nutrition Reviews. 2012;70(8):472–481. https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2012.00492.x.

14. Buldo P, Benfeldt C, Folkenberg DM, Jensen HB, Amigo JM, Sieuwerts S, et al. The role of exopolysaccharide-producing cultures and whey protein ingredients in yoghurt. LWT – Food Science and Technology. 2016;72:189–198. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.050.

15. Jorgensen CE, Abrahamsen RK, Rukke EO, Hoffmann TK, Johansen AG, Skeie SB. Processing of high-protein yoghurt – A review. International Dairy Journal. 2019;88:42–59. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.08.002.

16. Mahomud MS, Katsuno N, Nishizu T. Role of whey protein-casein complexes on yoghurt texture. Reviews in Agricultural Science. 2017;5:1–12. https://doi.org/10.7831/ras.5.1.

17. Khavkin AI, Fedotova OB, Volynets GV, Koshkarova YuA, Penkina NA, Komarova ON. The results of a prospective comparative open-label randomised study of the effectiveness of a probioticand prebiotic-fortified yogurt in small children after an acute respiratory infection. Pediatric Nutrition. 2019;17(1):29–37. (In Russ.). https://doi.org/10.20953/1727-5784-2019-1-29-37.

18. Kruchinin AG, Turovskaya SN, Illarionova EE, Bigaeva AV. Molecular genetic modifications of κ-casein. News of institutes of higher education. Food Technology. 2020;376(4):12–16. (In Russ.). https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.4.3.

19. Tyulkin SV. The effect of cows genotype on their productivity and milk quality. Food Systems. 2018;1(3):38–43. (In Russ.). https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-3-38-43.

20. Egorashina EV, Tamarova RV. Different cow breeds milkability depending on kappa-casein and beta-globulin genotypes. Agrarian journal of the upper Volga region. 2019;27(2):79–85. (In Russ.). https://doi.org/10.35523/2307-5872-2019-27-2-79-85.

21. Tyulkin SV, Muratova AV, Khatipov II, Ahmetov TM, Ravilov RH, Vafin RR. An invention of cattle genotyping means by kappa-casein gene of allele-specific PCR for alleles *A* and *B*. Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine. 2015;222(2):221–224. (In Russ.).

22. Reotest 2: instruktsiya po ehkspluatatsii [Reotest 2: instruction manual]. Berlin: MRM; 1978. 22 p. (In Russ.).

23. Frederiksen PD, Andersen KK, Hammershoj M, Poulsen HD, Sørensen J, Bakman M, et al. Composition and effect of blending of noncoagulating, poorly coagulating, and well-coagulating bovine milk from individual Danish Holstein cows. Journal of Dairy Science. 2011;94(10):4787–4799. https://doi.org/10.3168/jds.2011-4343.

24. Bijl E, de Vries R, van Valenberg H, Huppertz T, van Hooijdonk T. Factors influencing casein micelle size in milk of individual cows: Genetic variants and glycosylation of κ-casein. International Dairy Journal. 2014;34(1):135–141. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.08.001.

2021 Т. 51 № 1 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-67-76
УДК 634.739.2

Оригинальная статья
http://fptt.ru

Особенности клонального микроразмножения клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.)

С. С. Макаров[1,*], И. Б. Кузнецова[2], М. Т. Упадышев[3], С. А. Родин[4], А. И. Чудецкий[1]

[1] Центрально-европейская лесная опытная станция, Кострома, Россия

[2] Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Караваево, Россия

[3] Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, Москва, Россия

[4] Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, Пушкино, Россия

Дата поступления в редакцию: 18.01.2021 *Дата принятия в печать: 15.02.2021*

**e-mail: makarov_serg44@mail.ru*
© С. С. Макаров, И. Б. Кузнецова, М. Т. Упадышев, С. А. Родин, А. И. Чудецкий, 2021

Аннотация.
Введение. В последнее десятилетие среди потребителей недревесной продукции леса сильно возрос спрос на посадочный материал клюквы болотной (*Oxyccocus palustris* Pers.), которая обладает высокой пищевой и лекарственной ценностью. Для плантационного выращивания клюквы болотной оздоровленным посадочным материалом целесообразно применение метода клонального микроразмножения. Цель исследования – изучение влияния различных росторегулирующих веществ и их концентраций на всех этапах клонального микроразмножения клюквы болотной *in vitro* на биометрические показатели растений и приживаемость в нестерильных условиях *in vivo*.
Объекты и методы исследования. Растения клюквы болотной сорта «Дар Костромы» и гибридной формы 1-15-635. Использовали различные препараты и регуляторы роста, влияющие на биометрические показатели растений и приживаемость к нестерильным условиям *in vivo* на всех этапах клонального микроразмножения растений.
Результаты и их обсуждение. На этапе введения в культуру *in vitro* высокая жизнеспособность эксплантов клюквы болотной сорта «Дар Костромы» и гибридной формы 1-15-635 установлена при обработке $AgNO_3$ (95–96 %), препаратом Лизоформин 3000 (5 %) при экспозиции 10 мин, а также раствором препарата экостерилизатор 5 % в соотношении 1:1 при экспозиции 20 мин (90–95 %). На этапе «собственно микроразмножение» при возрастании в питательной среде WPM 1/4 концентрации цитокинина 2ip от 1,0 до 5,0 мг/л увеличивались количество, средняя длина и суммарный прирост побегов. На этапе укоренения *in vitro* максимальные значения количества, средней длины и суммарного прироста корней у растений-регенерантов клюквы болотной обоих сортов отмечены при добавлении в питательную среду препарата Корнерост в концентрации 5,0 мг/л. На этапе адаптации растений клюквы болотной к условиям *in vivo* максимальная приживаемость (94–100 %) отмечена в варианте с добавлением препарата Микогель в концентрации 0,2 мг/л.
Выводы. Различные росторегулирующие вещества и их концентрации оказывают влияние на биометрические показатели клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.) и ее приживаемость в нестерильных условиях *in vivo* на всех этапах клонального микроразмножения растения *in vitro*.

Ключевые слова. Клюква болотная, клональное микроразмножение, *in vitro*, *in vivo*, стерилизующий раствор, адаптация

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания «Проведение прикладных научных исследований» Федерального агентства лесного хозяйства России (Рослесхоз) (№ 1061).

Для цитирования: Особенности клонального микроразмножения клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.) / С. С. Макаров, И. Б. Кузнецова, М. Т. Упадышев [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 67–76. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-67-76.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

Clonal Micropropagation of Cranberry (*Oxycoccus palustris* Pers.)

Sergey S. Makarov[1,*], Irina B. Kuznetsova[2], Mikhail T. Upadyshev[3], Sergey A. Rodin[4], Anton I. Chudetsky[1]

[1] Central European Forest Experimental Station, Kostroma, Russia

[2] Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Russia

[3] Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia

[4] All-Russian Scientific Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, Pushkino, Russia

Received: January 18, 2021 *Accepted: February 15, 2021*

**e-mail: makarov_serg44@mail.ru*
© S.S. Makarov, I.B. Kuznetsova, M.T. Upadyshev, S.A. Rodin, A.I. Chudetsky, 2021

Abstract.
Introduction. The last decade saw a considerable increase in the demand for European cranberry planting material (*Oxyccocus palustris* Pers.) among consumers of non-timber forest products. Cranberry possesses high nutritional and medicinal value. Cultivars and hybrids of European cranberry prove extremely productive for plantation growth using the method of clonal micropropagation with revitalized planting material.
Study objects and methods. The research featured European cranberry plants of the Dar Kostromy cultivar and its hybrid form 1-15-635. The study focused on the effect of various medications and growth regulators on the biometric profile of European cranberry and its adaptation to non-sterile conditions at all stages of *in vivo* clonal micropropagation.
Results and discussion. During the introduction stage, the highest viability belonged to the explants treated with $AgNO_3$ (95–96%) and Lizoformin 3000 (5%) as the main sterilizing solutions at a 10-min exposure and a 5% solution of Ecosterilizer (1:1) at a 20-min exposure (90–95%). During the micropropagation proper, the number, average length, and total growth of shoots increased as the concentration of cytokinin 2ip in the WPM 1/4 nutrient medium rose from 1.0 to 5.0 mg/L. At the stage of *in vitro* rooting, the maximal number, average length, and total growth of roots in regenerated plants for both cultivars were observed when Kornerost 5.0 mg/L was added to the WPM 1/4 nutrient medium. At the stage of adaptation to *in vivo* conditions, Micogel 0.2 mg/L contributed to the highest survival rate (94–100%).
Conclusion. During clonal micropropagation *in vitro*, the biometric profile of European cranberry (*Oxyccocus palustris* Pers.) and its survival rate under non-sterile conditions *in vivo* proved to depend on various growth-regulating substances and their concentrations.

Keywords. European cranberry, clonal micropropagation, *in vitro*, *in vivo*, sterilizing solution, adaptation

Funding. The research was part of the State Task "Conducting Applied Scientific Research" of the Federal Forestry Agency of the Russian (No. 1061).

For citation: Makarov SS, Kuznetsova IB, Upadyshev MT, Rodin SA, Chudetsky AI. Clonal Micropropagation of Cranberry (*Oxycoccus palustris* Pers.). Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):67–76. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-67-76.

Введение

На сегодняшний день одним из актуальных и перспективных направлений лесного хозяйства, связанного с принципом многоцелевого, рационального, непрерывного и неистощительного лесопользования, является заготовка недревесных ресурсов леса для удовлетворения потребностей общества в них. Однако вмешательство антропогенных факторов в природные процессы стремительно сокращает запасы ягод клюквы, брусники, черники и др., а также снижает качество грибных угодий. В связи с увеличением площадей неиспользуемых лесных земель, нарушенных промышленными разработками, в том числе осушенных и выработанных торфяных месторождений, остается актуальным вопрос их рекультивации. Его можно разрешить с помощью создания плантаций лесных ягодных растений, произрастающих на болотных почвах. Также создание плантаций лесных ягодных растений на выработанных торфяниках позволит повысить эффективность работы сельскохозяйственной и лесной отрасли, обеспечивая рентабельность использования побочной продукции леса [1].

За последнее десятилетие среди потребителей и заготовителей недревесной продукции леса, в частности лесных ягодных растений, сильно возрос интерес и спрос на посадочный материал клюквы болотной (*Oxyccocus palustris* Pers.), связанный с высокой морозоустойчивостью, продуктивностью и продолжительностью жизни данного вида. По сравнению с клюквой крупноплодной (*Oxyccocus macrocarpus* (Ait.) Pers.) клюква болотная менее урожайна, сильнее угнетается сорными растениями и сложнее поддается механизированной уборке урожая ягод. Однако в таежной зоне европейской России клюква болотная, в силу невысокой потребности в тепле, более перспективна для культивирования, чем клюква крупноплодная. Различными исследованиями установлено, что при выращивании на плантациях она показывает высокий процент урожая, чем в естественных зарослях. Кроме того, выращивание

высокопродуктивных сортов и гибридов клюквы болотной способствует повышению урожайности плантаций данной ягодной культуры [2].

Благодаря уникальному химическому составу клюква обладает высокой пищевой и лекарственной ценностью. Плоды клюквы содержат сахара, органические кислоты, бензойную и хлорогеновую кислоты, пектиновые вещества, витамины (С, B_1, B_2, B_5, B_6, РР, K_1), макро- и микроэлементы (калий, фосфор, кальций, железо, марганец, медь, молибден, магний, йод, бор, барий, кобальт, цинк, серебро, алюминий и др.), а также бетаин и биофлавоноиды (антоцианы, лейкоантоцианы, катехины, флавонолы, фенолокислоты) [3–5]. Плоды клюквы широко используются в пищевой промышленности и народной домашней кулинарии как в сыром, так и переработанном виде. Наиболее популярны соки, морсы, кисели, настойки, соусы, добавки в консервированные заготовки и квашеные продукты, а также множество других способов приготовления. Экстракт ягод обладает разнообразными профилактическими и лечебными свойствами. Он оказывает антисептическое, гипотензивное, противовоспалительное, антисклеротическое и противоцинготное действие. Влияет на водно-солевой обмен, стимулирует деятельность поджелудочной железы и проявление гемостатического эффекта. Способствует повышению уровня гемоглобина, поддержанию работы сердца, повышению эластичности стенок сосудов. Экстракт ягод клюквы может успешно применяться при простудных заболеваниях, ангине, ревматизме, цинге, малокровии, почечнокаменной болезни, повышенном кровяном давлении, заболеваниях мочевого пузыря и мочевыводящих путей, заболеваниях желудка и печени, гипо- и авитаминозе С, кожных заболеваниях и др., а также в качестве антипаразитарного средства. Клюква тонизирует, освежает, придает бодрость, повышает умственную и физическую трудоспособность, а содержащиеся в ягодах клюквы пектиновые вещества обладают способностью связывать и обезвреживать соединения свинца, кобальта, цезия, стронция и других тяжелых металлов и их радиоактивных изотопов [6–10].

Плантационное выращивание лесных ягодных растений на неиспользуемых лесных и нелесных землях требует большого количества высококачественного посадочного материала. Удовлетворить данные потребности можно путем разработки перспективных способов получения посадочного материала, учитывающих биологические особенности лесных ягодных растений и обеспечивающих высокую эффективность их размножения. Поскольку существующие традиционные способы размножения не всегда обеспечивают стабильность результатов, трудозатратны и не находят широкого применения, то необходимо использовать экономически успешный способ размножения растений: клональное микроразмножение. Этот способ размножения осуществляют на искусственных питательных средах в культуре *in vitro*. Основными достоинствами данного метода являются высокий коэффициент размножения и возможность получения заданного количества высококачественного и здорового посадочного материала вне сезонности в условиях небольшой по площади лаборатории [11].

Отечественными и зарубежными авторами исследовались особенности клонального микроразмножения клюквы крупноплодной, в частности методами активации пазушных меристем и индукции адвентивных почек тканями экспланта, с использованием регуляторов роста цитокининовой (2ip, кинетин, зеатин) и ауксиновой (ИУК, ИМК) групп [12–14]. Однако в России до сих пор мало уделяется должного внимания культуре *in vitro* высших растений [15].

Цель исследования – изучение влияния различных росторегулирующих веществ и их концентраций на всех этапах клонального микроразмножения клюквы болотной *in vitro* на биометрические показатели растений и приживаемость в нестерильных условиях *in vivo*.

Объекты и методы исследования

Исследование проводилось в лаборатории клонального микроразмножения растений на базе филиала ФБУ ВНИИЛМ «Центрально-европейская лесная опытная станция» в 2019–2020 гг. по общепринятым методикам, адаптированным к местным условиям произрастания [11]. Объектами исследований служили растения клюквы болотной сорта «Дар Костромы» и гибридной формы 1-15-635, отобранные на опытных участках на месте выработанных месторождений торфа переходного типа в Костромском районе Костромской области.

Сорт «Дар Костромы» получен на Костромской лесной опытной станции ВНИИЛМ в результате селекционной работы, направленной на создание сверхранних и хорошо адаптированных к климатическим условиям российского Нечерноземья сортов, путем отбора из массового посева семян клюквы болотной из природных популяций данного вида в Рязанской области. Сорт среднего срока созревания. Представляет собой вегетативно-подвижный кустарничек шпалерного типа. Стелющийся побег имеет бурую окраску, среднюю облиственность, волосистое опушение; приподнимающийся побег средней длины характеризуется промежуточным типом роста, красно-коричневой окраской, средней облиственностью, волосистым опушением. Лист

стелющегося и приподнимающегося побега длинный, средней ширины, широко-ланцетной формы зеленой окраски. Цветковая почка крупная, на побеге – одна (верхушечная). Плод (ягода) крупного размера (12,5×16,5 мм) плоскоокруглой формы с ребристой поверхностью. Средняя масса ягоды 1,5–1,6 г. Сорт средне самоплодный. Плодоношение начинается на 3 год после посадки черенков. На 4 год отмечается возрастание урожая ягод. С 5 года после посадки черенков ежегодно отмечается присущий сорту урожай с небольшими колебаниями по годам. В пору плодоношения урожайность высокая (1,6–1,9 кг/м^2). Период товарного плодоношения продолжительный. Сорт среднего срока цветения и созревания ягод. В условиях Центрально-европейской части России, в частности в южно-таежном лесной районе Европейской части России (Костромская область), начало цветения отмечено в начале первой декады июня, а ягоды полностью созревают в первой декаде сентября. Сорт малозимостойкий в бесснежный период, высокозимостойкий под снегом или при вмораживании заросли в лед; слабо устойчив к снежной плесени без вмораживания. Устойчив к вредителям (вересковый листоед, античная волнянка, пятнистая волнянка). К достоинствам сорта относятся крупноплодность и высокий уровень урожайности. Недостатками данного сорта являются формирование большей части урожая внутри зарослей и неодномерность ягод.

Крупноплодная и высокоурожайная гибридная форма 1-15-635 отобрана из гибридной семьи ♀15V×♂Virussaare на Центрально-европейской лесной опытной станции ВНИИЛМ. Материнская форма 15V отобрана из естественной популяции (клюквенное болото Южной Карелии) сотрудниками Института биологии Карельского научного центра по принципу исключительной крупноплодности. Отцовский высокоурожайный сорт Virussaare создан в Эстонии. Форма среднеспелая, очень быстро начинает плодоносить. Средняя масса одной ягоды 1,36–1,89 г. Ягоды крупные (до 3,09–3,26 г), округлые, темно-красные. Средняя урожайность 1,5–2,0 кг/м^2.

Процесс клонального микроразмножения состоит из 4 этапов:

– введение в культуру *in vitro* включает в себя выбор растения-донора, изолирование эксплантов и получение стерильной культуры;

– «собственно микроразмножение» включает обычно 3–4 пассажа на питательную среду с добавлением регуляторов роста цитокининовой группы с целью получения нужного количества растений-регенерантов;

– укоренение *in vitro* подразумевает укоренение размноженных побегов на питательной среде с добавлением регуляторов роста ауксиновой группы;

– адаптация к условиям *in vivo*, а затем к почвенным условиям: выращивание растений в условиях теплицы и подготовка их к высадке в открытый грунт [11].

На этапе введения в культуру *in vitro* изучали влияние различных стерилизующих растворов и экспозиции обработки на жизнеспособность эксплантов клюквы болотной. В качестве эксплантов использовали одревеснившие черенки с двумя почками. Очищенные и промытые черенки клюквы болотной на 0,5 мин помещали в стакан с 70 % спиртом, после этого промывали в 5 порциях стерильной дистиллированной воды. В качестве основных стерилизаторов использовали растворы сулемы (0,2 %), азотнокислого серебра $AgNO_3$ (0,2 %), экостерилизатора бесхлорного 5 % (в соотношении 1:1), хлорной извести (в соотношении 1:1), препарата Лизоформин 3000 (5 %). Время экспозиции 5, 10, 15 и 20 мин. В каждом варианте опыта по 100 эксплантов. Учитывали жизнеспособность эксплантов по соотношению живых эксплантов к общему количеству введенных в культуру на питательную среду с минеральной основой WPM, разбавленной в 4 раза.

Далее растения-регенеранты клюквы болотной культивировали на питательной среде WPM, разбавленной в 4 раза, в условиях световой комнаты при температуре воздуха +23–25 °С, относительной влажности 75–80 % и фотопериоде 16/8 часов. На этапе «собственно микроразмножение» изучали влияние различных концентраций (1,0, 2,0, 3,0, 4,0, 5,0 и 6,0 мг/л) регулятора роста цитокининовой группы 2ip в питательной среде на биометрические показатели растений-регенерантов клюквы болотной. Повторность опыта 3-х кратная, по 10 микрорастений в каждом варианте. Учитывали количество, среднюю длину и суммарный прирост микропобегов у исследуемых растений-регенерантов.

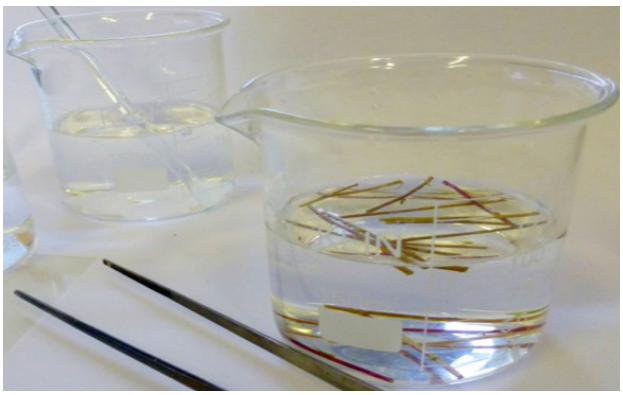


Рисунок 1. Процесс стерилизации эксплантов клюквы болотной для введения в культуру *in vitro*

Figure 1. Sterilization of European cranberry explants to be introduced into *in vitro* culture

Таблица 1. Жизнеспособность эксплантов (%) клюквы болотной в зависимости от стерилизующих агентов и времени экспозиции

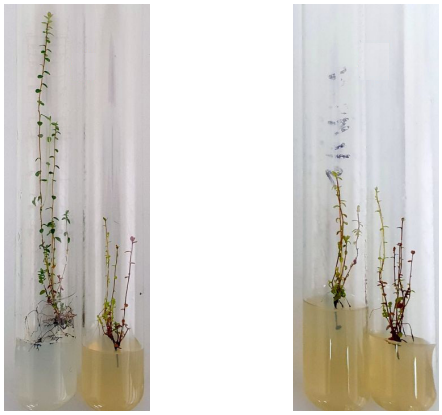
Table 1. Viability of explants (%) of European cranberry, depending on sterilizing agents and exposure time

Время экспозиции, мин	Стерилизующий агент				
	Сулема 0,2 %	$AgNO_3$ 0,2 %	Экостерилизатор бесхлорный 5 % 1:1	Хлорная известь 1:1	Лизоформин 3000 5 %
Сорт «Дар Костромы»					
5	25	5	5	9	15
10	23	96	72	45	90
15	83	41	54	75	87
20	10	8	95	81	58
Гибридная форма 1-15-635					
5	24	8	6	5	14
10	20	95	42	36	89
15	82	50	62	78	82
20	13	12	90	85	60

На этапе укоренения растений *in vitro* заложили опыт по изучению влияния препарата Корнерост в различных концентрациях (1,0, 2,0, 3,0, 4,0 и 5,0 мг/л) на количество и длину корней клюквы болотной. Использовали также питательную среду WPM, разбавленную в 4 раза. Повторность опыта 3-х кратная, по 10 микрорастений в каждом варианте. Учитывали количество, среднюю длину и суммарный прирост корней растений *in vitro*.

На этапе адаптации к нестерильным условиям *in vivo* укорененные растения клюквы в условиях адаптационной комнаты пересаживали на различные субстраты (торф верхового типа; торф переходного типа; торф + песок в соотношении 1:1; кокосовый субстрат), которые предварительно стерилизовали путем пропаривания, потом промачивали растворами исследуемых препаратов в концентрациях 1,0 или 2,0 мг на 10 л воды. Через 7 дней укоренившиеся *in vitro* растения высаживали на субстраты, которые мульчировали мхом сфагнумом. Изучали приживаемость адаптированных растений клюквы болотной в зависимости от обработки субстратов различными препаратами (хитозановый стимулятор роста растений «Слокс Эко Артемия» и препараты микоризного типа – Микогель, Микориза, Биомикориза).

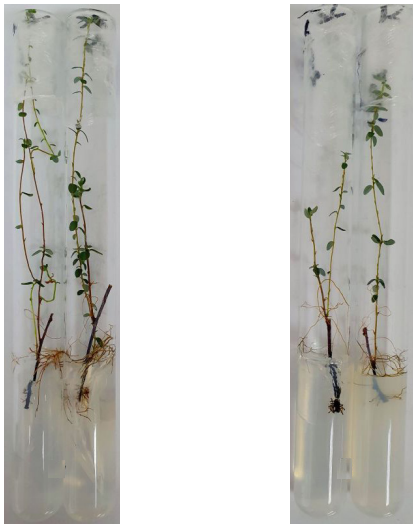
Статистическая обработка данных проводилась с помощью программного обеспечения AGROS v.2.11 и пакета Microsoft Office 2016. Наименьшую



(a) (b)

Рисунок 2. Образование микропобегов растений клюквы болотной *in vitro* при добавлении цитокинина 2ip: a – сорт «Дар Костромы»; b – гибридная форма 1-15-635

Figure 2. Microshoots of European cranberry plants *in vitro* after adding cytokinin 2ip: a – Dar Kostromy; b – hybrid 1-15-635



(a) (b)

Рисунок 3. Корнеобразование растений клюквы болотной *in vitro* при добавлении препарата Корнерост: a – сорт «Дар Костромы»; b – гибридная форма 1-15-635

Figure 3. Roots of European cranberry plants *in vitro* after adding Kornerost: a – Dar Kostromy; b – hybrid 1-15-635

Таблица 2. Влияние концентрации цитокинина 2ip на биометрические показатели одного растения клюквы болотной *in vitro*

Table 2. Effect of cytokinin 2ip concentration on the biometric profile of one European cranberry plant *in vitro*

Концентрация цитокинина 2ip, мг/л	Биометрические показатели		
	Количество побегов, шт.	Средняя длина побегов, см	Суммарный прирост побегов, см
Сорт «Дар Костромы»			
1,0	3,8 ± 0,2	10,8 ± 0,9	41,5 ± 3,3
2,0	4,1 ± 0,1	11,1 ± 1,0	46,5 ± 2,5
3,0	4,9 ± 0,3	12,3 ± 1,2	60,2 ± 3,6
4,0	5,9 ± 0,2	12,9 ± 1,2	76,1 ± 2,8
5,0	8,8 ± 0,5	14,5 ± 1,5	127,6 ± 2,4
6,0	7,8 ± 0,4	13,7 ± 1,3	106,9 ± 3,9
$НСР_{05}$	0,58	1,15	2,09
Гибридная форма 1-15-635			
1,0	4,0 ± 0,2	11,2 ± 0,8	44,8 ± 2,3
2,0	4,5 ± 0,3	11,6 ± 1,1	52,2 ± 3,4
3,0	5,9 ± 0,3	12,2 ± 1,2	72,6 ± 2,6
4,0	7,6 ± 0,2	13,5 ± 1,2	102,6 ± 2,9
5,0	9,2 ± 0,5	15,1 ± 1,5	140,2 ± 2,5
6,0	8,1 ± 0,4	14,3 ± 1,2	116,3 ± 2,1
$НСР_{05}$	0,64	1,21	2,21

существенную разницу ($НСР_{05}$) рассчитывали по общепринятой методике дисперсионного анализа.

Результаты и их обсуждение

Проведенные наблюдения показали, что на этапе введения в культуру *in vitro* оптимальная экспозиция обработки эксплантов зависит от стерилизующего раствора (рис. 1).

Высокая жизнеспособность эксплантов у сорта «Дар Костромы» и гибридной формы 1-15-635 установлена при стерилизации азотнокислым серебром $AgNO_3$ 0,2 % (95–96 %) и препаратом Лизоформин 3000 5 % (89–90%) при экспозиции 10 мин. При использовании раствора сулемы 0,2 % при экспозиции 15 мин жизнеспособность составила 82–83 %, а в вариантах обработки растворами препарата экостерилизатора бесхлорного 5 % (в соотношении 1:1) и хлорной извести (в соотношении 1:1) при экспозиции 20 мин – 90–95 и 81–85 % соответственно (табл. 1).

На этапе «собственно микроразмножение» установлено, что при возрастании концентрации цитокинина 2ip от 1,0 до 5,0 мг/л в питательной среде WPM, разбавленной в 4 раза, увеличивались количество, средняя длина и суммарный

Таблица 3. Влияние препарата Корнерост на биометрические показатели одного растения клюквы болотной *in vitro*

Table 3. Effect of Kornerost on the biometric profile of one European cranberry plant *in vitro*

Концентрация препарата Корнерост, мг/л	Биометрические показатели		
	Количество корней, шт.	Средняя длина корней, см	Суммарный прирост корней, см
Сорт «Дар Костромы»			
1,0	4,0 ± 0,2	6,1 ± 0,4	24,5 ± 1,4
2,0	4,5 ± 0,2	6,9 ± 0,9	31,1 ± 1,8
3,0	5,2 ± 0,3	7,2 ± 0,6	37,5 ± 1,9
4,0	5,6 ± 0,3	8,2 ± 0,2	46,2 ± 1,0
5,0	6,3 ± 0,2	9,2 ± 0,5	58,6 ± 1,1
$НСР_{05}$	0,74	0,83	2,30
Гибридная форма 1-15-635			
1,0	4,2 ± 0,2	6,2 ± 0,4	26,4 ± 1,3
2,0	4,7 ± 0,2	7,0 ± 0,6	32,9 ± 1,9
3,0	5,8 ± 0,3	7,3 ± 0,8	42,4 ± 1,8
4,0	5,5 ± 0,3	8,6 ± 0,4	47,3 ± 1,0
5,0	6,0 ± 0,2	9,5 ± 0,7	57,3 ± 1,1
$НСР_{05}$	0,76	0,92	2,32

Таблица 4. Приживаемость растений клюквы болотной *in vitro* в нестерильных условиях *in vivo* в зависимости от типа субстрата (%)

Table 4. Survival rate of European cranberry plants *in vitro* under non-sterile conditions *in vivo*, depending on the type of substrate (%)

Вариант субстрата	Сорт	
	Сорт «Дар Костромы»	Гибридная форма 1-15-635
Торф верхового типа	96	92
Торф переходного типа	86	80
Торф + песок 1:1	62	64
Кокосовый субстрат	44	46

прирост побегов исследуемых растений клюквы болотной (рис. 2).

У растений сорта «Дар Костромы» при добавлении регулятора роста цитокининовой группы 2ip в концентрации 5,0 мг/л отмечено максимальное количество побегов (8,8 шт.). Их средняя длина достигала 14,5 см, а суммарный прирост – 127,6 см на одно растение; у перспективной гибридной формы 1-15-635 – 9,2 шт., 15,1 и 140,2 см соответственно. Различия статистически значимы. Однако при дальнейшем увеличении концентрации цитокинина 2ip до 6,0 мг/л наметилась тенденция к существенному снижению этих показателей (табл. 2).

На этапе «укоренение *in vitro*» выявлено, что количество, средняя длина и суммарный прирост корней у растений-регенерантов клюквы болотной увеличивались с повышением в питательной среде WPM, разбавленной в 4 раза, концентрации препарата Корнерост (рис. 3).

Отмечено, что они достигли максимальных значений при добавлении в питательную среду препарата Корнерост в концентрации 5,0 мг/л. В этом варианте у сорта «Дар Костромы» количество корней составляло 6,3 шт., их средняя длина – 9,2 см,



Рисунок 4. Растения клюквы болотной *in vitro*, адаптированные к условиям *in vivo* на субстрате из верхового торфа

Figure 4. European cranberry plants *in vitro* adapted to *in vivo* conditions in a high-moor peat substrate

Таблица 5. Влияние обработки субстрата различными препаратами на приживаемость (%) клюквы болотной в нестерильных условиях *in vivo*

Table 5. Effect of various medications on the survival rate (%) of marsh cranberries in non-sterile conditions *in vivo*

Вариант	Концентрация препарата, мг/л	
	0,1	0,2
Сорт «Дар Костромы»		
Вода (контроль)	48	
Слокс Эко Артемия	58	78
Микогель	86	94
Микориза	66	70
Биомикориза	68	78
Гибридная форма 1-15-635		
Вода (контроль)	50	
Слокс Эко Артемия	60	76
Микогель	90	100
Микориза	70	78
Биомикориза	90	92

суммарный прирост – 58,6 см; а у гибридной формы 1-15-635 – 6 шт., 9,5 и 57,3 см соответственно (табл. 3).

Для адаптации клюквы болотной *in vitro* к нестерильным условиям *in vivo* растения пересадили на различные субстраты из верхового торфа. Приживаемость различных сортов клюквы болотной, в зависимости от типа субстрата, приведена в таблице 4.

Наилучшие показатели приживаемости растений клюквы болотной обоих сортов были выявлены на субстрате из верхового торфа и составили 92–96 % (рис. 4).

Далее исследования проводили на субстрате из верхового торфа, показавшем лучшие результаты. Обработка торфяного субстрата различными препаратами оказала влияние на приживаемость адаптируемых к нестерильным условиям *in vivo* растений клюквы болотной. В контрольном варианте, где субстрат промачивали чистой водой, приживаемость оказалась самой низкой и составила 48–50 % (табл. 5).

В вариантах с использованием каждого из препаратов в концентрации 0,2 мг/л приживаемость адаптируемых растений была выше, чем при внесении их в питательную среду в концентрации 0,1 мг/л. Самая высокая приживаемость растений наблюдалась в вариантах с добавлением в субстрат из верхового торфа, содержащего микоризу, препарата Микогель в концентрации 0,2 мг/л и достигала: у сорта «Дар Костромы» – 94 %, у гибридной формы 1-15-635 – 100 %.

Выводы

При проведении исследований установлены следующие результаты.

При клональном микроразмножении клюквы болотной на этапе введения в культуру *in vitro* наиболее высокая приживаемость эксплантов (90–96 %) отмечена в вариантах с использованием в качестве основных стерилизующих растворов азотнокислого серебра $AgNO_3$ (0,2 %) и препарата Лизоформин 3000 (5 %) при экспозиции 10 мин, а также препарата экостерилизатор бесхлорный (5 %) в соотношении 1:1 при экспозиции 20 мин;

На этапе «собственно микроразмножение» максимальные показатели по количеству побегов, их средней длине и суммарному приросту у клонируемых растений клюквы болотной сорта «Дар Костромы» и гибридной формы 1-15-635 выявлены при добавлении в питательную среду WPM, разбавленную в 4 раза, цитокинина 2ip в концентрации 5,0 мг/л;

На этапе «укоренение *in vitro*» процесс корнеобразования у растений клюквы болотной обоих сортов наиболее интенсивно проходил при содержании в питательной среде WPM, разбавленной в 4 раза, препарата Корнерост в концентрации 5,0 мг/л;

Приживаемость адаптируемых к условиям *in vivo* растений клюквы болотной оказалась максимальной и достигала 94–100 % при обработке субстрата раствором препарата Микогель в концентрации 0,2 мг/л.

Критерии авторства

С. С. Макаров руководил проектом, проводил закладку лабораторного опыта на этапах введения в культуру *in vitro*, «собственно микроразмножение» и адаптации растений к условиям *in vivo*, проводил анализ литературных источников по вопросу использования биотехнологических методов размножения растений. И. Б. Кузнецова проводила закладку лабораторного опыта на этапах «собственно микроразмножение» и укоренения *in vitro*, проводила статистическую обработку данных. М. Т. Упадышев проводил анализ литературных источников по вопросу пищевой и лекарственной ценности клюквы болотной. С. А. Родин проводил анализ литературных источников по вопросу актуальности использования недревесных ресурсов леса в рамках многоцелевого лесопользования. А. И. Чудецкий проводил закладку лабораторного опыта на этапе адаптации растений к условиям *in vivo*, проводил статистическую обработку данных.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Выражаем благодарность канд. с.-х. наук И. А. Кореневу, канд. био. наук Г. Ю. Макеевой, канд. био. наук Г. В. Тяк, канд. с.-х. наук С. Ю. Цареградской, канд. био. наук Л. Е. Курлович, В. А. Макееву, А. В. Тяку.

Contribution

S.S. Makarov supervised the project, performed the laboratory experiments at the stages of introduction, micropropagation proper, and adaptation, and analyzed scientific publications on biotechnological methods in plant propagation. I.B. Kuznetsova participated in the laboratory experiment at the stages of micropropagation proper and rooting *in vitro*, as well as processed statistical data. M.T. Upadyshev analyzed available scientific sources on the nutritional and medicinal value of European cranberries. S.A. Rodin summarized scientific data on non-timber forest resources in multipurpose forest management. A.I. Chudetsky performed the laboratory experiments at the stage of plant adaptation to *in vivo* conditions and processed statistical data.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Acknowledgments

We express our gratitude to Cand.Sci.(Agri.) I.A. Korenev, Cand.Sci.(Bio.) G.Yu. Makeeva, Cand. Sci.(Bio.) G.V. Tyak, Cand.Sci.(Agri.) S.Yu. Tsaregradskaya, Cand.Sci.(Bio.) L.E. Kurlovich, V.A. Makeev, A.V. Tyak.

Список литературы

1. Проблемы использования и воспроизводства фитогенных пищевых и лекарственных ресурсов леса на землях лесного фонда Костромской области / С. С. Макаров, Е. С. Багаев, С. Ю. Цареградская [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2019. – Т. 372, № 6. – С. 118–131. https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.6.118.

2. Коренев, И. А. Создание новых сортов лесных ягодных растений и перспективы их интенсивного размножения (*in vitro*) / И. А. Коренев, Г. В. Тяк, С. С. Макаров // Лесохозяйственная информация. – 2019. – № 3. – С. 180–189. https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.3.15.

3. Comparison of bioactive potential of cranberry fruit and fruit-based products versus leaves / J. Oszmiański, A. Wojdiło, S. Lachowicz [et al.] // Journal of Functional Foods. – 2016. – Vol. 22. – P. 232–242. https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.01.015.

4. Research on the mineral composition of cultivated and wild blueberries and cranberries / A. Karlsons, A. Osvalde, G. Čekstere [et al.] // Agronomy Research. – 2018. – Vol. 16, № 2. – P. 454–463. https://doi.org/10.15159/AR.18.039.

5. How do anthocyanins paint our horticulture products? / K.-D. Gu, C.-K. Wang, D.-G. Hu [et al.] // Scientia Horticulturae. – 2019. – Vol. 249. – P. 257–262. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.034.

6. The antiadhesive activity of cranberry phytocomplex studied by metabolomics: Intestinal PAC-A metabolites but not intact PAC-A are identified as markers in active urines against uropathogenic *Escherichia coli* / G. Peron, S. Sut, A. Pellizzaro [et al.] // Fitoterapia. – 2017. – Vol. 122. – P. 67–75. https://doi.org/10.1016/j.fitote.2017.08.014.

7. Debnath, S. C. Antioxidant properties and structured biodiversity in a diverse set of wild cranberry clones / S. C. Debnath, D. An // Heliyon. – 2019. – Vol. 5, № 4. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01493.

8. Philip, N. Cranberry polyphenols: Natural weapons against dental caries / N. Philip, L. J. Walsh // Dentistry Journal. – 2019. – Vol. 7, № 1. https://doi.org/10.3390/dj7010020.

9. Effects of blueberry and cranberry consumption on type 2 diabetes glycemic control: A systematic review / D. M. U. P. Rocha, A. P. S. Caldas, B. P. da Silva [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2019. – Vol. 59, № 11. – P. 1816–1828. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1430019.

10. Coleman, C. M. Oligosaccharides and complex carbohydrates: A new paradigm for cranberry bioactivity / C. M. Coleman, D. Ferreira // Molecules. – 2020. – Vol. 25, № 4. https://doi.org/10.3390/molecules25040881.

11. Мацнева, О. В. Клональное микроразмножение земляники – перспективный метод современного питомниководства (обзор) / О. В. Мацнева, Л. В. Ташматова // Современное садоводство. – 2019. – № 4. – С. 113–119. https://doi.org/10.24411/2312-6701-2019-10411.

12. Sedlák, J. Micropropagation of cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) through shoot tip cultures – Short communication / J. Sedlák, F. Paprštein // Horticultural Science. – 2011. – Vol. 38, № 4. – P. 159–162. https://doi.org/10.17221/115/2010-HORTSCI.

13. Litwińczuk, W. Micropropagation of *Vaccinium* sp. by in vitro axillary shoot proliferation / W. Litwińczuk // Protocols for micropropagation of selected economically-important horticultural plants / M. Lambardi, E. A. Ozudogru, S. M. Jain. – Totowa : Humana Press, 2013. – P. 63–76. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-074-8_5.

14. Влияние состава питательных сред и регуляторов роста при клональном микроразмножении некоторых полиплоидных форм рода *Vaccinium* L. / Д. Н. Зонтиков, С. А. Зонтикова, К. В. Малахова [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2019. – Т. 21, № 2 (88). – С. 39–44.

15. Изучение физико-химических свойств и биологической активности экстрактов из высушенной биомассы каллусных, суспензионных клеток и корневых культур *in vitro* / Йонг Янг, Л. К. Асякина, О. О. Бабич [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 480–492. DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-480-492.

References

1. Makarov SS, Bagayev ES, Tsaregradskaya SYu, Kuznetsova IB. Problems of use and reproduction of phytogenic food and medicinal forest resources on the forest fund lands of the Kostroma region. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal). 2019;372(6):118–131. (In Russ.). https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.6.118.

2. Korenev IA, Tyak GV, Makarov SS. Creation of new varietiesof forest berry plantsand prospects of their intensive reproduction (*in vitro*). Forestry Information. 2019;(3):180–189. (In Russ.). https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.3.15.

3. Oszmiański J, Wojdiło A, Lachowicz S, Gorzelany J, Matłok N. Comparison of bioactive potential of cranberry fruit and fruit-based products versus leaves. Journal of Functional Foods. 2016;22:232–242. https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.01.015.

4. Karlsons A, Osvalde A, Čekstere G, Ponnale J. Research on the mineral composition of cultivated and wild blueberries and cranberries. Agronomy Research. 2018;16(2):454–463. https://doi.org/10.15159/AR.18.039.

5. Gu K-D, Wang C-K, Hu D-G, Hao Y-J. How do anthocyanins paint our horticulture products? Scientia Horticulturae. 2019;249:257–262. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.034.

6. Peron G, Sut S, Pellizzaro A, Brun P, Voinovich D, Castagliuolo I, et al. The antiadhesive activity of cranberry phytocomplex studied by metabolomics: Intestinal PAC-A metabolites but not intact PAC-A are identified as markers in active urines against uropathogenic *Escherichia coli*. Fitoterapia. 2017;122:67–75. https://doi.org/10.1016/j.fitote.2017.08.014.

7. Debnath SC, An D. Antioxidant properties and structured biodiversity in a diverse set of wild cranberry clones. Heliyon. 2019;5(4). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01493.

8. Philip N, Walsh LJ. Cranberry polyphenols: Natural weapons against dental caries. Dentistry Journal. 2019;7(1). https://doi.org/10.3390/dj7010020.

9. Rocha DMUP, Caldas APS, da Silva BP, Hermsdorff HHM, Alfenas RDCG. Effects of blueberry and cranberry consumption on type 2 diabetes glycemic control: A systematic review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2019;59(11):1816–1828. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1430019.

10. Coleman CM, Ferreira D. Oligosaccharides and complex carbohydrates: A new paradigm for cranberry bioactivity. Molecules. 2020;25(4). https://doi.org/10.3390/molecules25040881.

11. Matsneva OV, Tashmatova LV. Clonal micro-propagation of strawberries is a promising method of modern nursery practice (review). Contemporary Horticulture. 2019;4:113–119. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/2312-6701-2019-10411.

12. Sedlák J, Paprštein F. Micropropagation of cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) through shoot tip cultures – Short communication. Horticultural Science. 2011;38(4):159–162. https://doi.org/10.17221/115/2010-HORTSCI.

13. Litwińczuk W. Micropropagation of *Vaccinium* sp. by in vitro axillary shoot proliferation. In: Lambardi M, Ozudogru EA, Jain SM, editors. Protocols for micropropagation of selected economically-important horticultural plants. Totowa: Humana Press; 2013. pp. 63–76. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-074-8_5.

14. Zontikov DN, Zontikova SA, Malakhova KV, Maramokhin EV. Influence of the composition of nutritional media and growth regulators during clonal micropropagation of some polyliploid forms of the genus *Vaccinium* L. Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2019;21(2)(88):39–44. (In Russ.).

15. Yang Y, Asyakina LK, Babich OO, Dyshlyuk LS, Sukhikh SA, Popov AD, et al. Physicochemical properties and biological activity of extracts of dried biomass of callus and suspension cells and *in vitro* root cultures. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):480–492. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-480-492.

2021 Т. 51 № 1 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-77-85
УДК 637.52:641.887

Оригинальная статья
http://fptt.ru

Технология приготовления функционального продукта из конины в соусе

З. М. Намсараева*, И. В. Хамаганова, Т. Ц. Дамдинова

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Россия

Дата поступления в редакцию: 01.06.2020

Дата принятия в печать: 22.01.2021

**e-mail: zorigma@mail.ru*

© З. М. Намсараева, И. В. Хамаганова, Т. Ц. Дамдинова, 2021

Аннотация.

Введение. Важная роль в формировании ассортимента пищевых продуктов функционального назначения отводится разработке новых рецептур и технологий мясных изделий. В качестве источника функциональных ингредиентов перспективным является использование льняного масла, которое характеризуется высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот и токоферолов. В качестве мясного сырья использована конина, т. к. она является перспективным сырьем с высокой пищевой и биологической ценностью. Целью работы является разработка технологии приготовления конины с соусом и выбор оптимального метода тепловой обработки мяса.

Объекты и методы исследования. При разработке продукта из конины применялись разные методы тепловой обработки. Органолептические показатели определяли по стандартной 9-балльной шкале. При проведении эксперимента использовали стандартные и общепринятые физико-химические и органолептические методы исследований, а также методы цифровой обработки изображений для исследования цветовых характеристик образцов мяса.

Результаты и их обсуждение. Разработана рецептура соуса с льняным маслом. Использование льняного масла в соусе позволяет улучшить качественный состав жирового компонента блюда. Разработанный соус отличается повышенным содержанием полиненасыщенных жирных кислот, а также характеризуется высокими органолептическими и технологическими свойствами. При разработке продукта из конины применялись разные методы тепловой обработки основного сырья: традиционный способ – жарка и тушение; приготовление в пароконвектомате; технология су-вид. По структурно-механическим, физико-химическим и органолептическим показателям технология су-вид оказалась самым оптимальным способом обработки конины. Проведены исследования методами цифровой обработки изображений для сравнения изменения цвета образцов мяса в процессе приготовления. Проведена оценка качества готового продукта. Продукт удовлетворяет на 40 % суточную потребность организма в полиненасыщенных жирных кислотах и на 20 % в токофероле, что позволяет говорить о функциональности продукта.

Выводы. Разработанная технология функционального мясопродукта позволяет расширить ассортимент продуктов, соответствующих принципам здорового питания. Разработаны программа и методика для определения цветовых характеристик исследуемых образцов мяса.

Ключевые слова. Функциональное питание, конина, льняное масло, соус, полиненасыщенные жирные кислоты, технология су-вид, мясной продукт, цифровая обработка изображений, цветовая модель RGB

Для цитирования: Намсараева, З. М. Технология приготовления функционального продукта из конины в соусе / З. М. Намсараева, И. В. Хамаганова, Т. Ц. Дамдинова // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 77–85. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-77-85.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

New Functional Product from Horsemeat in Sauce

Zorigma M. Namsaraeva*, Inga V. Khamaganova, Tatiana Ts. Damdinova

East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

Received: June 01, 2020

Accepted: January 22, 2021

**e-mail: zorigma@mail.ru*

© Z.M. Namsaraeva, I.V. Khamaganova, T.Ts. Damdinova, 2021

Abstract.
Introduction. The priority task of the food industry is to provide population with functional products since the health of nation and its people largely depends on the diet. New formulations and technologies for meat products broaden the range of functional foods. Flaxseed oil is an excellent source of functional ingredients as it is rich in polyunsaturated fatty acids and tocopherols. The present research featured horsemeat as a promising raw material of high nutritional and biological value. Horsemeat is a traditional food source for many nations. The research objective was to develop a new technology for horsemeat in sauce and to select the optimal thermal processing method.
Study objects and methods. The authors tested several methods of heat treatment and used a standard nine-point scale to assess the sensory properties of the finished product. The experiment involved standard physicochemical and organoleptic research methods. The color characteristics were described using digital image processing.
Results and discussion. The study delivered a new formulation of sauce with flaxseed oil, which improved the quality of the fat component of the finished product. The new sauce proved to be rich in polyunsaturated fatty acids and possessed high sensory and technological properties. A comparative analysis of the heat treatment methods included traditional frying and stewing, cooking in a steam convection oven, and a sous-vide technology. The sous vide technology appeared to have the best structural-mechanical, physicochemical, and sensory properties. Software processing of digital images made it possible to compare the color of raw, semi-finished, and cooked meat samples. The traditional cooking methods of frying and stewing showed the most pronounced changes in the color, while the sous-vide technology demonstrated a smooth color change. As for the quality of the finished product, it proved to satisfy 40% of daily intake for polyunsaturated fatty acids and 20% for tocopherol, which makes the product functional.
Conclusion. The new technology made it possible to expand the range of functional meat products. The new digital image processing program helped to register changes in shape and color of meat samples after various heat treatment methods.

Keywords. Functional nutrition, horse meat, linseed oil, sauce, polyunsaturated fatty acids, sous-vide technology, meat product, digital image processing, RGB color model

For citation: Namsaraeva ZM, Khamaganova IV, Damdinova TTs. New Functional Product from Horsemeat in Sauce. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):77–85. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-77-85.

Введение

Производство пищевой продукции нового поколения с заданными характеристиками качества – одно из ключевых направлений развития отечественной пищевой промышленности, заложенное в «Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года».

Приоритетной задачей индустрии питания является обеспечение населения продуктами, соответствующими принципам здорового питания, т. к. рацион большинства людей характеризуется как кризисный из-за недостаточного содержания в пище необходимых организму витаминов, пищевых волокон, макро- и микроэлементов. В связи с этим производство продуктов питания с достаточным количеством функциональных ингредиентов является актуальным для современной пищевой промышленности, т. к. здоровье каждого человека и нации определяется рационом питания. Функциональные ингредиенты оказывают регулирующее действие на организм или на его определенные системы и органы. Кроме того, большое внимание уделяется их сохранности в процессе переработки, а также повышению усвояемости организмом данных пищевых веществ [1–3].

Важная роль в формировании ассортимента пищевых продуктов функционального назначения отводится разработке новых рецептур и технологий мясных изделий [4–6].

Льняное масло – ценный источник полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) ω-3, на долю которых приходится от 44 до 60 %, в частности α-линоленовой кислоты. Масло отличается высоким содержанием токоферолов (витамина Е), особенно γ-токоферола. Льняное масло широко используют для профилактики и лечения атеросклероза, сердечно-сосудистых заболеваний, злокачественных опухолевых заболеваний и сахарного диабета. Оно способствует ускорению биохимических реакций в организме, запоминанию, концентрации внимания, улучшает моторику желудочно-кишечного тракта, оказывает противовоспалительное и антиоксидантное действия [7–9].

При разработке новых продуктов следует учитывать региональные особенности и традиции питания. Так, традиционным источником питания у многих народностей, в том числе бурят, является конина. Благодаря высокой пищевой и биологической ценности конина является перспективным сырьем для производства мясных продуктов, поэтому целесообразно расширять ассортимент изделий из нее. Однако на сегодняшний день конина из-за своих структурно-механических особенностей не находит должного применения в производстве мясных продуктов. Поэтому для расширения ассортимента продуктов из конины необходимы новые способы ее предварительной обработки с целью увеличения нежности и улучшения консистенции мяса [10, 11].

Мясное сырье является источником полноценных белков, но в нем отсутствуют пищевые волокна,

витамин Е, ПНЖК. Для восполнения недостающих нутриентов эффективно использовать сырье растительного происхождения, являющееся источником ряда биологически активных веществ (БАВ).

При производстве мясных блюд широко применяются растительные соусы, что дает возможность получить обогащенный продукт. Кроме того, благодаря наличию экстрактивных, ароматических и вкусовых веществ, возбуждающих секрецию пищеварительных желез, соусы способствуют лучшему усвоению основного компонента блюда – мяса.

Соусы являются неотъемлемой частью блюд в питании многих народов мира. Они придают блюдам полный, гармоничный вкус, аромат и цвет. Только во Франции существует более трех тысяч разновидностей соусов. Для придания соусам различного вкуса в них добавляют томат-пюре, лук, грибы, каперсы, виноградное вино и т. п. Из ароматических продуктов в соусы добавляют черный и душистый перец, сладкий сушеный стручковый перец, лавровый лист, чеснок, петрушку, сельдерей и др. Для снижения активной кислотности добавляют уксус, лимон, лимонную кислоту, виноградный или цитрусовый соки, рассол соленых огурцов, помидор, моченых яблок и другие продукты, обладающие кислым вкусом, – щавель, кислицу, ревень, барбарис. Ароматические вещества соусов усиливают выделение пищеварительных соков, способствуя лучшему усвоению пищи организмом человека. Значение соусов в кулинарии очень велико: их используют для поливки основного продукта, как гарнир, заправку для супа или отдельный компонент сервируемого блюда.

При производстве обогащенных продуктов питания важно обеспечить максимальную сохранность пищевых веществ при технологической обработке.

Цвет продуктов питания является одной из основных характеристик привлекательности для потребителей. По данной теме в последние годы имеется ряд публикаций, направленных на создание методов определения качества пищевых продуктов для количественной оценки изменений при различных внешних воздействиях [12, 13]. Другие исследования направлены на выявление определенных характеристик мясной продукции одного вида или для сравнения цветовых показателей мяса различных пород [14, 15]. Практический интерес представляет определение геометрических и цветовых характеристик мяса в процессе его тепловой обработки разными способами и методами цифровой обработки изображений.

Целью работы является разработка технологии конины с соусом и выбор оптимального метода тепловой обработки мяса, а также исследование изменения количественных и цветовых характеристик образцов конины при различных способах его приготовления.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования служили односортное мясо (конина), соус, мясное блюдо.

При проведении эксперимента использовали стандартные и общепринятые физико-химические и органолептические методы, а также методы цифровой обработки изображений для исследования цветовых характеристик образцов мяса.

При разработке продукта из конины применялись разные методы тепловой обработки: традиционный способ – жарка и тушение (метод 1), приготовление в пароконвектомате (метод 2), технология су-вид (метод 3). Для сравнительной оценки данных методов тепловой обработки контрольным образцом служила односортная конина, нарезанная на кусочки массой 20–25 г. Тепловая обработка образцов велась до достижения температуры 85 °С в центре утолщенной части мяса.

Органолептические показатели определяли по стандартной 9-балльной шкале.

Содержание токоферолов определяли методом ВЭЖХ с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02». Метод заключается в щелочном гидролизе пробы, экстракции гексаном неомыляемой части, введении экстракта на ВЭЖХ-приставку для хроматографического разделения токоферолов и их количественном определении.

Содержание ПНЖК определяли на хроматографе «Кристалл-2000м» с пламенно-ионизационным детектором и кварцевой капиллярной колонкой. Метод газовой хроматографии основан на распределении компонентов анализируемой смеси между двумя несмешивающимися и движущимися относительно друг друга фазами, где в качестве подвижной фазы выступает газ (газ-носитель), а в качестве неподвижной фазы – твердый сорбент или жидкость, нанесенные на инертный твердый носитель или внутренние стенки колонки. Анализ летучих компонентов льняного масла, выделенных дистилляцией-экстракцией из масла или твердофазной микроэкстракцией из газовой фазы, проводили при программировании температуры колонки от 60 до 250 °С со скоростью 8 °С/мин при температуре инжектора и детектора 250 °С.

Усилие среза определяли на приборе типа Уорнера-Братцлера. Принцип работы прибора основан на измерении усилия, необходимого для разрушения образца путем среза и затраченной на это работы. Максимальная величина усилия среза (в кг/см) служит инструментальным показателем нежности мяса.

Цветовые характеристики образцов мяса определяли методами цифровой обработки

изображений. Фотосъемка опытных образцов проводилась в сыром, полуготовом и готовом виде при помощи камеры OPPO A9. Фотосъемка проводилась при естественном дневном освещении под углом 45°, фотоаппарат был направлен перпендикулярно поверхности образца. Полученные изображения были обработаны программой, написанной в среде программирования Delphi. При этом вычислялись геометрические характеристики кусков мяса, такие как изменения размера кусков в процессе приготовления разными способами и изменения цветовых характеристик образцов.

Результаты и их обсуждение

При традиционном методе тепловой обработки мясо обжаривали в течение 10 мин при температуре 150 °С при добавлении небольшого количества масла, затем тушили в течение 20 мин в соотношении с водой 1:0,3. В результате термообработки мясо имеет хорошие органолептические показатели: цвет доброкачественного сырья, выраженные аромат и вкус, консистенция средней жесткости. Дегустационная комиссия оценила продукт на 7,7 баллов.

На сегодняшний день пароконвектоматы являются универсальным тепловым оборудованием с широким спектром функций, высокой степенью автоматизации и возможностью программирования технологического процесса. Пароконвектоматы предоставляют возможность задавать и контролировать температуру, влажность, скорость движения воздуха в рабочей камере и время тепловой обработки. Это позволяет поднять технологический процесс приготовления пищи на новый уровень, стабилизировать качество продукции и обеспечить ее безопасность.

При приготовлении в пароконвектомате выбрана комбинированная тепловая обработка мяса, состоящая из трех этапов: в начале полуфабрикат в течение 3 мин обрабатывали паром (влажность 98 %, температура 100 °С), затем обжаривали в течение 15 мин при температуре 160 °С и влажности 40 %. За 5 мин до готовности температуру увеличили до 200 °С (влажность 0 %) и обжаривали до образования золотистой корочки. Органолептическая оценка показала более высокие показатели по консистенции и сочности, чем при традиционной обработке мяса. Образцы, приготовленные в пароконвектомате в комбинированных режимах, имели хороший внешний вид и более сочную, нежную консистенцию с хорошим вкусом и ароматом. Продукт оценили на 8,0 баллов.

Относительно новым и перспективным является приготовление блюд методом су-вид. В процессе термообработки используется метод варки продуктов в щадящих температурных условиях в вакуумной

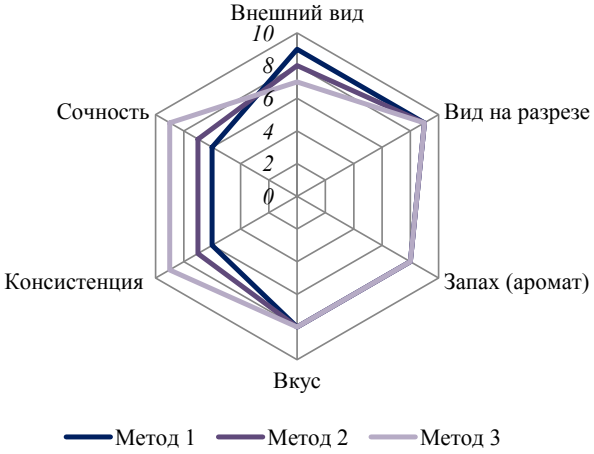


Рисунок 1. Органолептические показатели мяса после тепловой обработки

Figure 1. Sensory properties of meat after heat treatment

герметичной упаковке. Это позволяет сохранить в готовом блюде все питательные элементы, витамины, натуральный вкус и аромат. Технология обеспечивает возможность приготовления пищи с минимальным использованием специй, соли и сахара за счет собственных ресурсов продукта, а также без масла и жиров. Это позволяет производить продукты для детского, диетического, лечебного и реабилитационного питания [16–18].

При приготовлении мяса по технологии су-вид полуфабрикат поместили в специальный пакет, из которого откачали воздух и запечатали. Тепловая обработка в водяной печи продолжалась в течение 120 мин при температуре 66 °С. При таком методе обработки готовое мясо отличалось от предыдущих образцов нежной и сочной консистенцией.

Органолептические показатели готового мясопродукта, приготовленного 3 методами, представлены на рисунке 1.

Таким образом, высокие органолептические показатели имели изделия, приготовленные методом су-вид. Однако внешний вид при таком методе был оценен ниже из-за отсутствия поджаристой корочки. Технология су-вид оказалась самым оптимальным способом обработки конины, характеризующейся повышенной жесткостью.

Определены продолжительность тепловой обработки и величина потерь массы готовой продукции (табл. 1).

Из таблицы 1 видно, что применение тепловой обработки в пароконвектомате позволяет, в сравнении с традиционным методом, сократить продолжительность приготовления мяса на 20 %. Потери массы при жарке мяса в пароконвектомате составляют 24,1 %, в то время как у образцов при традиционном способе обработки – 30,4 %. Технология су-вид позволяет приготовить блюда

Таблица 1. Характеристика способов и режимов обработки мяса

Table 1. Methods and modes of meat processing

Способы обработки	Время, мин	Потери массы, %
Метод 1	30	30,4 ± 1,2
Метод 2	23	24,1 ± 1,6
Метод 3	120	18,4 ± 1,8

в собственном соку с наименьшими потерями массы, витаминов и минералов, но отличается длительностью приготовления. Однако срок хранения таких продуктов при температуре 2–4 °С составляет не менее 10–15 суток, что позволяет увеличить сроки хранения и реализации готовой продукции.

Для оценки степени жесткости мяса определяли показатель усилия среза. Он характеризует прочность и жесткость системы, которые тесно связаны с качественным составом белков в мясе и стадиями автолиза мышечной ткани. Результаты исследований представлены на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, наименьшим показателем усилия среза характеризуется мясо, приготовленное по технологии су-вид. Это говорит о целесообразности применения такой обработки для мясного сырья повышенной жесткости.

Таким образом, тепловая обработка по технологии су-вид соответствует требованиям, предъявляемым к качеству готовых блюд.

Для цифровой обработки изображений мяса была разработана программа для определения геометрических и цветовых характеристик исследуемых образцов при различных методах обработки. На рисунке 3 представлены исходные изображения образцов мяса в процессе его жарки традиционным методом: сырое мясо (образец 1); мясо в состоянии полуготовности (образец 2); мясо, доведенное до кулинарной готовности (образец 3).

Результаты определения геометрических характеристик образцов – площади, периметра, высоты и ширины – представлены в таблице 2.

Анализ данных таблицы 2 позволил сделать заключение о том, что выраженные изменения

Таблица 2. Изменение геометрических размеров образцов мяса при тепловой обработке

Table 2. Effect of heat treatment on the geometric dimensions of meat samples

Геометрические характеристики (пиксели)	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Площадь	122810	122417	118135
Периметр	1399	1304	1294
Высота	359	359	363
Ширина	413	411	399

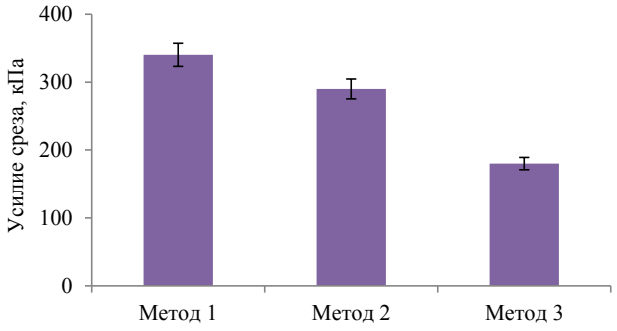


Рисунок 2. Показатели усилия среда мяса после тепловой обработки

Figure 2. Shear force of meat after heat treatment

геометрических размеров происходят на конечном этапе тепловой обработки – доведение до готовности. При денатурирующем действии температуры на мышечные белки происходит обезвоживание мяса. Потери массы составляют до 30 % исходного значения.

Аналогичным образом были обработаны изображения, полученные в процессе приготовления конины по технологии су-вид и в пароконвектомате.

График поверхности цветовых характеристик образцов показал, что компоненты полутонового, красного, зеленого и синего цветов изображения различаются значениями яркости (рис. 4).

Программная обработка цифровых изображений образцов мяса позволяет определить цвет сырого, полуготового и готового мяса при различных

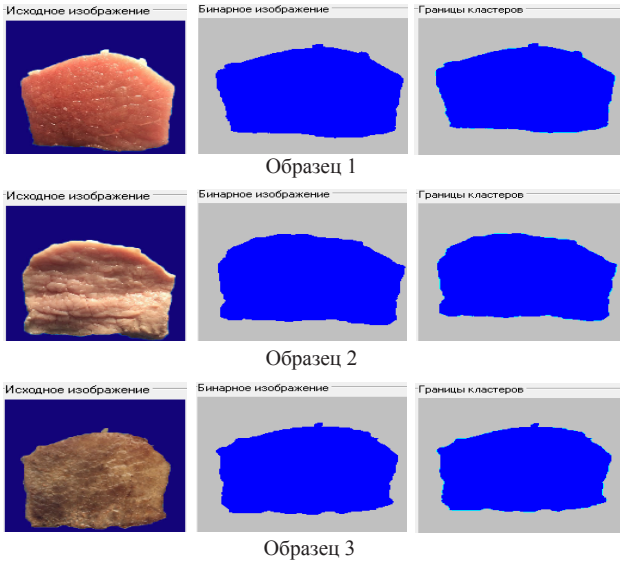


Рисунок 3. Исходные данные для программной обработки образцов мяса подвергнутого тепловой обработке

Figure 3. Basic data for software processing of heat-treated meat samples

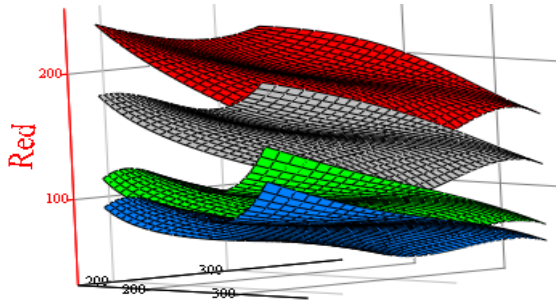
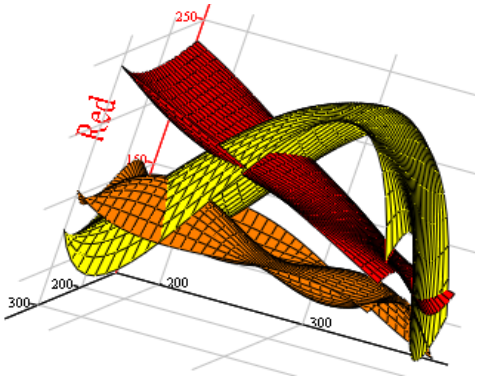
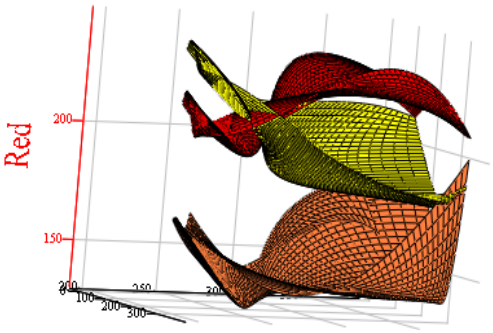


Рисунок 4. Поверхности полутонового и RGB-компонентов изображения сырого мяса

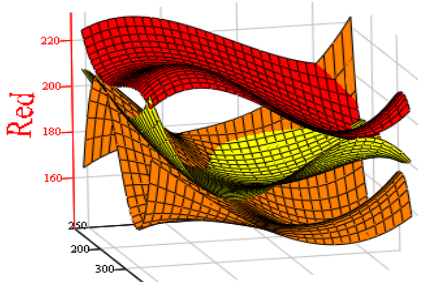
Figure 4. Surfaces of the grayscale and RGB components of the raw meat image



Метод 1



Метод 2



Метод 3

Рисунок 5. Графики поверхностей изменения компоненты красного цвета в процессе жарки

Figure 5. Surface plots of the red component during frying

способах приготовления. На основе этих данных построены графики поверхностей значений яркости красного цвета: красный цвет – для сырого мяса, желтый – для мяса в состоянии полуготовности, коричневый – для мяса, доведенного до кулинарной готовности (рис. 5).

Как видно из представленных графиков, в процессе приготовления резкие изменения красного цвета происходят при традиционном способе. Здесь поведение цветовой компоненты красного цвета полуготового изделия (метод 1, поверхность желтого цвета) имеет пересечения с двумя другими графиками. При медленном процессе приготовления по технологии су-вид изделие имеет плавное изменение цвета и график поверхности полуготового мяса (метод 3, поверхность желтого цвета) расположен между графиками сырого (красный) и готового (оранжевый) изделия.

На следующем этапе исследования была разработана рецептура соуса, за основу которого был принят луковый соус. Для разработки рецептуры и технологии производства соуса повышенной пищевой ценности представляют интерес исследования, направленные на оценку влияния замены исходных ингредиентов на функциональные. С целью обогащения соуса решено было заменить заправку из оригинального рецепта – маргарин – на льняное масло, которое характеризуется высокой пищевой ценностью. Льняное масло содержит большое количество ПНЖК и токоферолов, которые практически отсутствуют в исходном сырье (табл. 3).

С учетом данных о содержании БАВ в масле льна можно предположить, что результатом замены будет

Таблица 3. Химический состав льняного масла по группе БАВ

Table 3. Chemical composition of flaxseed oil by biologically active substance

Наименование	Содержание
Содержание ненасыщенных жирных кислот, г	85,15 ± 1,50
Содержание ПНЖК ω-3, %	53,30 ± 0,85
Содержание ПНЖК ω-6, %	13,15 ± 0,90
Токоферолы, мг%	50,00 ± 1,50

Таблица 4. Рецептура соуса

Table 4. Sauce formulation

Наименование	Брутто, г	Нетто, г
Красный соус основной	–	800
Лук репчатый	357	300
Льняное масло	50	50
Уксус 9 %	70	70
Сливочное масло	30	30
Выход	–	1000

Таблица 5. Пищевая ценность мясного продукта «Гуляш из конины в соусе»

Table 5. Nutritional value of horse meat goulash in sauce

Показатели	Содержание в 100 г		Содержание в одной порции блюда (200 г)		
	конины	соуса	метод 1	метод 2	метод 3
Содержание влаги, %	69,60 ± 0,40	84,80 ± 0,40	63,90 ± 0,40	71,70 ± 0,40	77,00 ± 0,40
Белок, %	19,50 ± 0,50	1,30 ± 0,30	19,80 ± 0,50	20,00 ± 0,50	20,40 ± 0,50
Жир, %	10,00 ± 0,40	6,20 ± 0,40	15,60 ± 0,20	15,80 ± 0,20	16,00 ± 0,20
Моно-, дисахариды, %	0,10 ± 0,10	4,80 ± 0,40	4,50 ± 0,40	4,50 ± 0,40	4,60 ± 0,40
Токоферолы, мг%	–	2,50 ± 0,50	2,20 ± 0,50	2,30 ± 0,50	2,50 ± 0,50
ПНЖК, г	1,30 ± 0,40	4,25 ± 0,40	4,50 ± 0,40	4,50 ± 0,40	4,50 ± 0,40
Энергетическая ценность, ккал	168	79	238	240	244

повышение пищевой ценности новых кулинарных изделий. Замена маргарина на льняное масло не ухудшает органолептические показатели соуса. Состав компонентов соуса представлен в таблице 4.

Исследованиями установлено отсутствие в луковом соусе ПНЖК, незначительное содержание токоферолов, в то время как разработанный соус содержит данные БАВ (мг/100 г соуса): 2,5 ± 0,4 токоферолов и 4,25 ± 0,85 ПНЖК.

Таким образом, предлагаемая рецептура соуса характеризуется высокими органолептическими и технологическими свойствами, обеспечивает до 40 % от суточной потребности в ПНЖК взрослого человека, что позволяет говорить о функциональности продукта.

Технология приготовления соуса включала в себя следующие операции: подготовка компонентов рецептуры – варка красного основного соуса и пассерование лука; соединение с остальными ингредиентами согласно рецептуре; тепловая обработка соуса; заправка льняным маслом; гомогенизация; охлаждение. Приготовленный соус подают на расфасовку вместе с мясом. Соотношение мяса и соуса составляет 1:1.

Оценка качества полученного мясопродукта представлена в таблице 5.

Как видно из таблицы 5, новый мясной продукт обладает более высокой пищевой ценностью, чем мясо конины. Содержание ПНЖК в одной порции составляет 40 % от рекомендуемой НИИ питания адекватной нормы. Это позволяет позиционировать продукт не только как продукт повышенной пищевой ценности, но и как обогащенный. При этом энергетическая ценность продукта невысокая, что соответствует концепции здорового питания на современном этапе развития общества. На данное блюдо разработана технико-технологическая карта.

Выводы

Результаты проведенных исследований показали, что использование льняного масла в соусе позволяет улучшить качественный состав жирового компонента блюда. Предлагаемая рецептура соуса характеризуется высокими органолептическими и технологическими свойствами, обеспечивает до 40 % от суточной потребности в ПНЖК взрослого человека, что позволяет говорить о функциональности продукта.

Проведен сравнительный анализ тепловой обработки мяса. По структурно-механическим, физико-химическим и органолептическим показателям технология су-вид оказалась самым оптимальным способом обработки конины, характеризующаяся повышенной жесткостью.

Разработана программа обработки цифровых изображений, позволяющая отслеживать изменения количественных показателей формы и цвета образцов мяса при различных способах тепловой обработки.

Проведена оценка качества готового продукта. Продукт удовлетворяет на 40 % суточную потребность организма в ПНЖК и на 20 % в токоферолe.

Критерии авторства

З. М. Намсараева проводила экспериментальные исследования – 50 %. И. В. Хамаганова руководила проектом – 30 %. Т. Ц. Дамдинова разработала программу и методику определения цветовых характеристик исследуемых образцов мяса – 20 %.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

Z.M. Namsaraeva conducted experimental research – 50%. I.V. Khamaganova supervised the project – 30%. T.Ts. Damdinova developed the plan and methodology for determining the color characteristics of the meat samples – 20%.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Development of a topical applied functional food formulation: Adlay bran oil nanoemulgel / W.-C. Chang, Y.-T. Hu, Q. Huang [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2019. – Vol. 117. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108619.

2. Погожева, А. В. К здоровью нации через многоуровневые образовательные программы для населения в области оптимального питания / А. В. Погожева, Е. А. Смирнова // Вопросы питания. – 2020. – Т. 89, № 4. – С. 262–272. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10060.

3. The development of a choline rich cereal based functional food: Effect of processing and storage / J. Asomaning, Y. Y. Zhao, E. D. Lewis [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 75. – P. 447–452. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.09.022.

4. Immobilization of oils using hydrogels as strategy to replace animal fats and improve the healthiness of meat products / R. Domínguez, P. E. Munekata, M. Pateiro [et al.] // Current Opinion in Food Science. – 2021. – Vol. 37. – P. 135–144. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.005.

5. Iwatani, S. Functional food products in Japan: A review / S. Iwatani, N. Yamamoto // Food Science and Human Wellness. – 2019. – Vol. 8, № 2. – P. 96–101. https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.03.011.

6. Бобренева, И. В. Разработка рецептуры полифункциональной добавки на основе взаимодействия ее компонентов / И. В. Бобренева, А. А. Баюми, А. В. Токарев // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 1. – С. 1–10. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-1-10.

7. Polizer Rocha, Y. J. Relations between consumer's concern with own health and their perception about frankfurters with functional ingredients / Y. J. Polizer Rocha, R. L. F. de Noronha, M. A. Trindade // Meat Science. – 2019. – Vol. 155. – P. 91–101. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.05.003.

8. Ших, Е. В. Длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты семейства ω-3 в профилактике заболеваний у взрослых и детей: взгляд клинического фармаколога / Е. В. Ших, А. А. Махова // Вопросы питания. – 2019. – Т. 88, № 2. – С. 91–100. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10022.

9. Oxidation products from omega-3 and omega-6 fatty acids during a simulated shelf life of edible oils / M. S. Nogueira, B. Scolaro, G. L. Milne [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2019. – Vol. 101. – P. 113–122. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.044.

10. Svanberg, I. Horsemeat in the culinary traditions of the Mishär Tatar diaspora in the eastern Baltic Sea region: cultural and historical aspects / I. Svanberg, S. Ståhlberg, R. Bekkin // Journal of Ethnic Foods. – 2020. – Vol. 7, № 1. https://doi.org/10.1186/s42779-020-00072-2.

11. Effect of three different proteases on horsemeat tenderness during postmortem aging / Y. Cheng, X. Jiang, Y. Xue [et al.] // Journal of Food Science and Technology. – 2020. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04759-x.

12. Цифровые методы экспресс-диагностики качества веществ различной физико-химической природы / В. А. Ткаль, И. А. Жуковская, А. В. Шараева [и др.] // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2016. – Т. 8, № 1. – С. 55–72. https://doi.org/10.17725/rensit.2016.08.055.

13. Никифорова, А. П. Оценка качества пищевых продуктов методом цифровой обработки изображений / А. П. Никифорова, Т. Ц. Дамдинова // Контроль качества продукции. – 2019. – № 3. – С. 32–38.

14. Использование методов цифровой обработки изображений для определения влагосвязывающей способности мясных и рыбных продуктов / Т. Ц. Дамдинова, А. П. Никифорова, Л. Ю. Прудова [и др.] // Программные системы и вычислительные методы. – 2019. – № 3. – С. 20–29. https://doi.org/10.7256/2454-0714.2019.3.30646.

15. Томашевич, И. Б. Система компьютерного зрения для измерения цветовых параметров мяса и мясных продуктов: Обзор / И. Б. Томашевич // Теория и практика переработки мяса. – 2018. – Т. 8, № 4. – С. 4–15. https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-4-4-15.

16. Influence of sous vide and steam cooking on mineral contents, fatty acid composition and tenderness of *semimembranosus* muscle from Holstein-Friesian bulls / M. Modzelewska-Kapituła, R. Pietrzak-Fiećko, K. Tkacz [et al.] // Meat Science. – 2019. – Vol. 157. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107877.

17. Галочкина, Н. В. Ингредиенты для продуктов, изготовленных по технологии «Су вид», полуфабрикатов и готовых блюд / Н. В. Галочкина, В. В. Колыхалова, И. В. Матявина // Мясные технологии. – 2018. – Т. 187, № 7. – С. 42–43.

18. Полозникова, Д. Н. Современная технология су-вид / Д. Н. Полозникова // Молодежь и наука. – 2019. – № 4. – С. 71.

References

1. Chang W-C, Hu Y-T, Huang Q, Hsieh S-C, Ting Y. Development of a topical applied functional food formulation: Adlay bran oil nanoemulgel. LWT – Food Science and Technology. 2019;117. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108619.

2. Pogozheva AV, Smirnova EA. To the health of the nation through multi-level educational programs for the population in the field of optimal nutrition. Problems of Nutrition. 2020;89(4):262–272. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10060.

3. Asomaning J, Zhao YY, Lewis ED, Wu J, Jacobs RL, Field CJ, et al. The development of a choline rich cereal based functional food: Effect of processing and storage. LWT – Food Science and Technology. 2016;75:447–452. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.09.022.

4. Domínguez R, Munekata PE, Pateiro M, López-Fernández O, Lorenzo JM. Immobilization of oils using hydrogels as strategy to replace animal fats and improve the healthiness of meat products. Current Opinion in Food Science. 2021;37:135–144. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.005.

5. Iwatani S, Yamamoto N. Functional food products in Japan: A review. Food Science and Human Wellness. 2019;8(2):96–101. https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.03.011.

6. Bobreneva IV, Baioumy AA, Tokarev AV. Formulation of a multifunctional plant additive based on the interaction of its components. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(1):1–10. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-1-10.

7. Polizer Rocha YJ, de Noronha RLF, Trindade MA. Relations between consumer's concern with own health and their perception about frankfurters with functional ingredients. Meat Science. 2019;155:91–101. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.05.003.

8. Shikh EV, Makhova AA. Long-chain ω-3 polyunsaturated fatty acids in the prevention of diseases in adults and children: A view of the clinical pharmacologist. Problems of Nutrition. 2019;88(2):91–100. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10022.

9. Nogueira MS, Scolaro B, Milne GL, Castro IA. Oxidation products from omega-3 and omega-6 fatty acids during a simulated shelf life of edible oils. LWT – Food Science and Technology. 2019;101:113–122. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.044.

10. Svanberg I, Ståhlberg S, Bekkin R. Horsemeat in the culinary traditions of the Mishär Tatar diaspora in the eastern Baltic Sea region: cultural and historical aspects. Journal of Ethnic Foods. 2020;7(1). https://doi.org/10.1186/s42779-020-00072-2.

11. Cheng Y, Jiang X, Xue Y, Qi F, Dai Z, Guan D, et al. Effect of three different proteases on horsemeat tenderness during postmortem aging. Journal of Food Science and Technology. 2020. https://doi.org/10.1007/s13197-020-04759-x.

12. Tkal' VA, Zhukovskaya IA, Sharaeva AV, Vodolazova NN. Digital methods of express-diagnostics quality of substances of different physicochemical nature. RENSIT. 2016;8(1):55–72. (In Russ.). https://doi.org/10.17725/rensit.2016.08.055.

13. Nikiforova AP, Damdinova TTs. Quality assessment of meat products by digital image processing. Production Quality Control. 2019;(3):32–38. (In Russ.).

14. Damdinova TTs, Nikiforova AP, Prudova LYu, Bubeev IT. The use of digital image processing methods to determine the moisture-binding capacity of meat and fish products. Software Systems and Computational Methods. 2019;(3):20–29. (In Russ.). https://doi.org/10.7256/2454-0714.2019.3.30646.

15. Tomasevic IB. Computer vision system for color measurements of meat and meat products: A review. Theory and Practice of Meat Processing. 2018;8(4):4–15. (In Russ.). https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-4-4-15.

16. Modzelewska-Kapituła M, Pietrzak-Fiećko R, Tkacz K, Draszanowska A, Wiek A. Influence of sous vide and steam cooking on mineral contents, fatty acid composition and tenderness of *semimembranosus* muscle from Holstein-Friesian bulls. Meat Science. 2019;157. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107877.

17. Galochkina NV, Kolykhalova VV, Matyavina IV. Ingredienty dlya produktov, izgotovlennykh po tekhnologii "Su vid", polufabrikatov i gotovykh blyud [Ingredients for products made using the Sous Vide technology: semi-finished products and finished products]. Meat Technology. 2018;187(7):42–43. (In Russ.).

18. Poloznikova DN. Modern technology of Sous Vide. Molodezh′ i nauka [Youth and Science]. 2019;(4):71. (In Russ.).

2021 Т. 51 № 1 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-86-97
УДК 632.935: 66.088

Оригинальная статья
http://fptt.ru

Биоцидная эффективность нетермальной аргоновой плазмы атмосферного давления

Д. И. Петрухина*, И. В. Полякова, С. А. Горбатов

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

Дата поступления в редакцию: 14.12.2020

Дата принятия в печать: 28.01.2021

**e-mail: daria.petrukhina@outlook.com*
© Д. И. Петрухина, И. В. Полякова, С. А. Горбатов, 2021

Аннотация.
Введение. В статье представлены экспериментальные данные, позволяющие дать оценку эффективности влияния воздействия нетермальной аргоновой плазмы на рост молочнокислых бактерий, выделенные с пищевых продуктов (очищенных грецких орехов).
Объекты и методы исследования. Источником нетермальной аргоновой плазмы атмосферного давления служил генератор плазмы с электродным СВЧ-разрядником коаксиальной конфигурации. Чашки Петри с агаром Эндо, засеянные перед экспериментом суточной культурой лактобацилл сплошным газоном, помещали под поток плазмы на расстоянии 45 мм. Биоцидный эффект плазменной обработки оценивали по диаметру зон ингибирования роста лактобацилл на чашках на первые и вторые сутки после воздействия в сравнении с контрольными культурами, где наблюдали сплошной рост.
Результаты и их обсуждение. Установлена прямая зависимость эффективности плазменной обработки от длительности экспозиции. После обработки поверхности засеянных чашек нетермальной плазмой в течение 5 мин диаметр зоны ингибирования роста лактобацилл был равен диаметру стеклянной чашки Петри (80 мм) и превышал диаметр разрядника генератора плазмы (36 мм). Температура на поверхности питательной среды во время плазменной обработки была в пределах оптимальной температуры роста лактобацилл 37,3 ± 0,6 °С, что исключает термическое воздействие.
Выводы. Обработка нетермальной аргоновой плазмой на расстоянии 45 мм ингибирует роста грамположительных бактерий (*Lactobacillus*, выделенных из грецких орехов) на плотных средах (чашках с агаром).

Ключевые слова. *Lactobacillus*, орехи, холодная плазма, обеззараживание, инактивация, СВЧ, плазмотрон

Финансирование. Статья подготовлена в рамках госзадания № FGNE-2019-0002 ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ВНИИРАЭ).

Для цитирования: Петрухина, Д. И. Биоцидная эффективность нетермальной аргоновой плазмы атмосферного давления / Д. И. Петрухина, И. В. Полякова, С. А. Горбатов // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 86–97. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-86-97.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

Biocide Effect of Non-Thermal Atmospheric Pressure Plasma

Daria I. Petrukhina*, Irina V. Polyakova, Sergei A. Gorbatov

Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia

Received: December 14, 2020

Accepted: January 28, 2021

**e-mail: daria.petrukhina@outlook.com*
© D.I. Petrukhina, I.V. Polyakova, S.A. Gorbatov, 2021

Abstract.
Introduction. New methods of sterilization with non-thermal atmospheric pressure plasma remain an extremely relevant field of food science. The present research estimated the effect of non-thermal argon plasma on lactic acid bacteria obtained from walnuts.
Study objects and method. The non-thermal argon plasma was generated by electrode discharge induced by a coaxial microwave plasmatron at atmospheric pressure. The discharge was generated in a special electrode construction. Its stability was achieved via low gas flow through the discharge gap. Argon consumption was 10 L/min. The study involved *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus mali* in their natural association and vegetative form. Endo's medium (Endo agar) was inoculated with lactobacilli. 100 µl

of the suspension were added into a Petri dish with nutrient medium and carefully rubbed with a spreader. The plates with Endo agar inoculated with lactobacilli were placed under plasma radiation at a distance of 45 mm. The biocidal effect of plasma radiation was estimated by the diameter of the affected areas. After the plasma treatment, the Petri dishes were incubated in an incubator for 24–48 h at 37°C, after which the diameters of the affected areas were measured again.
Results and discussion. The paper introduces experimental data on the effect of argon plasma on lactobacilli isolated from food. After treating the surface of inoculated Petri dishes with non-thermal plasma for five minutes, the diameter of the inhibition zone reached the diameter of a Petri dish (80 mm) and exceeded the diameter of the spark gap of the plasma generator (36 mm). The temperature on the surface of the nutrient medium during plasma treatment was within the optimal temperature for lactobacillus growth, i.e. 37.3 ± 0.6°C, which excluded thermal effects. Only a few colonies survived a five-minute treatment. After one-minute treatment, the number of survived colony-forming units was considerably higher.
Conclusion. Non-thermal argon plasma treatment proved effective in inhibiting the growth of gram-positive bacteria (*Lactobacillus* isolated from walnuts) on solid surfaces (agar plates). After five minutes of plasma treatment, the inactivated area (80 mm) exceeded the anode electrode cross section (36 mm) of the plasma generator.

Keywords. *Lactobacillus*, walnuts, cold plasma, decontamination, inactivation, microwave, plasmatron

Funding. The article was prepared as a part of the state assignment no. FGNE-2019-0002 for Russian Institute of Radiology and Agroecology (RIRAE).

For citation: Petrukhina DI, Polyakova IV, Gorbatov SA. Biocide Effect of Non-Thermal Atmospheric Pressure Plasma. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):86–97. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-86-97.

Введение

Инактивацию микроорганизмов при помощи газоразрядной нетермальной плазмы можно назвать новым методом достижения стерильности в сравнении с использованием нагревания, химических стерилизующих средств или фильтрования [1]. Бактерицидное действие нетермальной плазмы атмосферного давления на микроорганизмы вызвано радикальными продуктами (активными частицами), которые образуются в процессе плазмохимических реакций при генерации излучения плазмы [2]. Нетермальная плазма является слабоионизованной и сильно неравновесной. Она может создаваться в разных плазмообразующих газах, например, в атмосферном воздухе либо в инертных газах (аргон и гелий). В литературных источниках эта плазма называется «холодной» либо «низкотемпературной». В представленной работе нами применяется термин нетермальная плазма (non-thermal plasma), чтобы подчеркнуть, что речь идет о температурах, близких к комнатным, поскольку низкотемпературная плазма (low temperature plasma) может иметь температуру электронов и ионов $\leq 2\times10^4$ K. Данный момент важен для применения нетермальной плазмы в пищевой промышленности, т. к. термические процессы могут влиять на органолептические свойства и пищевую ценность продуктов. В нетермальной плазме температура «тяжелой компоненты» (ионы, нейтральные частицы) не превышает нескольких сотен градусов Цельсия либо близка к комнатной.

Важным представляется обеспечение микробиологической безопасности многокомпонентных пищевых продуктов, поскольку в их состав входят рецептурные компоненты, на поверхности которых обнаруживаются различные группы микроорганизмов. Такие сырьевые компоненты, как орехи, в период роста, сбора урожая, сушки и хранения поражают многочисленные бактерии, в том числе лактобациллы (*Lactobacillus* spp.), входящие в группу молочнокислых микроорганизмов [3, 4]. Бактерии рода *Lactobacillus* представляют особый интерес, т. к. являются частью нормальной микробиоты человека и животных. Однако они способны вызывать инфекционные заболевания, особенно у людей с пониженным иммунитетом [5]. Также эти бактерии устойчивы к действию ванкомицина и других антибиотиков.

Лактобациллы являются хорошо изученным объектом научных исследований и активно применяются в пищевой промышленности. Они используются для производства кисломолочных продуктов, а также необходимы при создании пробиотиков, которые могут применяться в качестве лекарственных средств и биологически активных добавок. Однако бактерии рода *Lactobacillus* зачастую становятся причиной порчи продуктов питания как на этапе производства, так и на этапе хранения [6].

Показатели безопасности для многокомпонентных пищевых продуктов попадают под действие технических регламентов, действующих на территории ЕАЭС. В соответствии с ТР ТС 021/2011 количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) не должно превышать 1×10^3 КОЕ/г, а присутствие бактерий группы кишечной палочки не допускается, в то время как присутствие бактерий рода *Lactobacillus* может стать причиной ложноположительной пробы на среде Кесслера [3].

Основное количество фруктов и орехов произрастает и производится в развивающихся

странах; иногда с нарушением санитарно-гигиенических норм. Поэтому они подвержены высокому уровню естественного загрязнения патогенными бактериями и грибами, а также микроорганизмами, вызывающими порчу. Некоторые производители сухофруктов и орехов подвергают их сушке на открытом воздухе, что способствует их контаминации почвенными бактериями и плесневыми грибами. В связи с тем, что орехи и сухофрукты могут быть использованы в пищу без предварительной термической обработки, первостепенное значение, особенно для людей с иммунодефицитами, имеет обеспечение микробиологической безопасности данного вида пищевой продукции.

Целью исследования была оценка потенциальной возможности разработанного генератора нетермальной плазмы атмосферного давления (плазматрона) для дезинфекции поверхностей пищевых продуктов, семенного материала и кормов на примере инактивации палочковидных бактерий из микрофлоры пищевых продуктов (грецких орехов).

Объекты и методы исследования

В данной работе в качестве источника нетермальной плазмы был использован электродный СВЧ-разрядник коаксиальной конфигурации. Основу его составляет отрезок жесткой коаксиальной линии резонансной длины с питанием от прямоугольного волновода, нагруженного на согласованную нагрузку. Центральный проводник коаксиала проходит сквозь волновод посередине его широких стенок перпендикулярно к ним. Один из выступающих концов коаксиала замкнут накоротко цанговым подвижным сочленением. Зона контакта вынесена в область минимума поверхностных токов. На втором конце коаксиала обеспечены условия холостого хода. По оси центрального проводника с разомкнутого конца выполнены радиальные пропилы резонансной длины. Подача рабочего газа (аргона) в зону разряда осуществляется по центральному проводнику, выполненному в виде полой трубки, либо непосредственно в зазор между внутренним и внешним проводником коаксиала. В качестве источника СВЧ-энергии использовался недорогой магнетронный генератор диапазона 2,45 ГГц и мощностью 200 Вт.

В качестве продукции были выбраны широко используемые в РФ очищенные грецкие орехи. Опытные партии продукции были закуплены в торговой сети. Основным критерием выбора орехов было их соответствие нормативным документам, а также место производства, вид упаковки и отсутствие инсектицидной обработки. Орехи грецкие очищенные (ядро грецкого ореха) были закуплены в Краснодарском крае. Проба представляла собой коробку из гофрокортона с дополнительным слоем полиэтилена (LDPE).

Экстракцию флавоноидов осуществляли 70 % спиртом в течение 2 ч в термостате при 60 °С. В качестве комплексообразователя использовали раствор $AlCl_3$. Так как пики плотности поглощения ожидалось получить в области 420–430 нм, то для построения калибровочного графика был использован стандартный раствор кверцетина. Измерения проводились на спектрофотометре «СФ-2000» (ЗАО «ОКБ СПЕКТР», Россия) со спектральным диапазоном от 190 до 1100 мн и пределом допускаемого значения абсолютной погрешности при измерении спектральных коэффициентов направленного пропускания 1 %. После экстракции по отработанной ранее методике, представленной в работе А. В. Саруханов и др., концентрацию флавоноидов в образцах определяли по уравнению C = D/0,05, полученному при помощи регрессионного анализа калибровочного графика по кверцетину [7]. Относительное содержание флавоноидов в пробе пересчитывали по массе исследуемого образца.

При оценке антибактериального воздействия плазменного облучения на микроорганизм в качестве объекта исследования выбрали культуру палочковидных бактерий, выделенных с грецких орехов. Определение таксономической принадлежности бактериальной культуры производили по данным MALDI ToF масс-спектрометрического анализа совместно с ИБФМ РАН (г. Пущино).

В качестве основной питательной среды использовали дифференциально-диагностическую среду – агар Эндо. Для экспериментов культуру бактерий отсеивали на чашку Петри и выращивали при 37 °С в течение 18 ч. Затем с клеток культуры на основе стерильного физиологического раствора делали суспензию с титром 10^7–10^8 КОЕ/мл. Из данного разведения наносили по 100 мкл инокулята на поверхность подготовленных чашек с агаризованной средой и тщательно растирали шпателем. После посева сплошным газоном культуру бактерий в открытых чашках Петри размещали на горизонтальной поверхности под плазменную струю, перпендикулярно потоку излучения плазмы на расстоянии 4,5 см от сопла. Инактивация проводилась в воздушной среде при атмосферном давлении и при комнатной температуре (23–25 °С). Время обработки составляло 1, 3 и 5 мин. Посев культуры бактерий обрабатывали аргоновой плазмой атмосферного давления, генерируемой СВЧ-источником. Поток аргона составил 10 л/мин. Температура на поверхности облучаемой питательной среды с посевом непрерывно контролировалась с помощью тепловизора и не превышала 37 °С. После воздействия плазмы чашки с культурой инкубировали в термостате в течение суток при температуре 37 °С. Затем в обработанных

Таблица 1. Видовая принадлежность микроорганизмов, выделенных из грецкого ореха

Table 1. Species of microorganisms isolated from walnuts

Плесени	Спорообразующие микроорганизмы	Бактерии	Дрожжи
Aspergillus *Rhizopus*	*Bacillus endophyticus*	*Agromyces rhizospherae* *Acinetobacter baumannii* *Lactobacillus plantarum* *Lactobacillus mali* *Pseudomonas putida* *Pantoea agglomerans*	*Pichia norvegensis*

плазмой чашках измеряли диаметр зон поражения засеянного газона. Для контроля были подготовлены чашки с культурой бактерий, которые после посева не подвергались воздействию плазмы. Кроме того, не засеянные культурой чашки с питательной средой также облучали плазмой с целью контроля стерильности среды. Во всех экспериментах выполнены три повторности.

Результаты и их обсуждение

Орехи содержат ненасыщенные жирные кислоты, в том числе мононенасыщенные жирные кислоты и аминокислоты. Многие орехи представляют собой источник витаминов Е и B_2. Они богаты белками, пищевыми волокнами, фолатами и минералами, такими как магний, фосфор, кальций, медь и селен. Питательная ценность орехов на 100 г: белки – 16,2 г, жиры – 60,7 г, углеводы – 11,1 г. Кроме того, в них содержатся пищевые волокна (6,1 г) и жирорастворимые витамины (Е, А, B_9, B_3, К, С) [8].

Отечественный рынок орехов включает большой ассортимент продукции: грецкий орех, миндаль, кешью, фисташки, фундук и др. Но основную роль здесь играют импортные поставки. Доля иностранной продукции на нашем рынке орехов близка к 90 %. Наибольшую долю в производстве и обороте орехов в ЕАЭС составляют грецкий орех и фундук.

Антиоксиданты – вещества, ингибирующие окислительное действие свободных радикалов и других веществ, рассматриваются в контексте окисления органических соединений. Антиоксиданты в больших количествах содержатся в продуктах растительного происхождения. В орехах и сухофруктах содержится большое количество полифенольных соединений, обладающих антиоксидантной активностью и оказывающих благоприятное действие на организм. В процессе сушки, термической обработки и фумигации часть их теряется.

Нами проведено количественное определение флавоноидов в пересчете на кверцетин, при котором получили содержание суммы флавоноидов в контрольных образцах грецкого ореха в пересчете на сухое вещество – 128,805 ± 8,219 мкг/г.

Было установлено, что в контрольных образцах орехов преобладают плесневые грибы рода *Rhizopus*. Скорость их роста превышает обычную: на следующие сутки после посева чашка Петри со средой Сабуро полностью покрывается этой плесенью. Микроорганизмы представлены почвенными бактериями (табл. 1).

Видовую принадлежность плесневых грибов, идентифицированных по морфологии колоний и спорангий, таких как *Rhizopus* и *Aspergillus*, не удалось определить с помощью MALDI-TOF масс-спектрометрии. Это объясняется наличием спор и сложностью извлечения из них белков.

Ускоренный микробиологический метод импедансного анализа на анализаторе «БакТрак 4300» позволил оценить степень микробного загрязнения грецких орехов. Графические результаты опыта представлены на рисунке 1. Ход кривых импедансного сигнала соответствует и отражает кривую роста микроорганизмов в исследуемой пробе. По величине лаг-периода возможно определить задержку роста микроорганизмов. Ввиду различного состава микроорганизмов их суммарная способность метаболизировать субстрат с образованием полярных молекул сильно отличается от типа продукции. Ввиду отсутствия калибровочных графиков для каждого вида продукции, в которых отражаются особенности микрофлоры и физико-химических свойства самого сырья, для определения количества микроорганизмов в абсолютных единицах используется встроенная в программное обеспечение универсальная калибровка. Однако по ней можно определить только приблизительные значения, в которых не учитываются разные скорости роста отдельных видов и их способности к потреблению субстрата.

Установлено, что показатель КМАФАнМ в двух исследуемых пробах грецких орехов соответствовал требованиям ТР ТС 021/2011 (табл. 2).

Был получен сомнительный результат: отмечали помутнение среды Кесслера. Дальнейшее исследование показало, что микроорганизмы являются грамм-положительными палочками и на среде Эндо растут с образованием красных колоний с металлическим блеском. Выделенные для исследования микроорганизмы принадлежат к роду *Lactobacillus*. Результаты идентификации методом MALDI-ToF MS показали виды идентифицированных

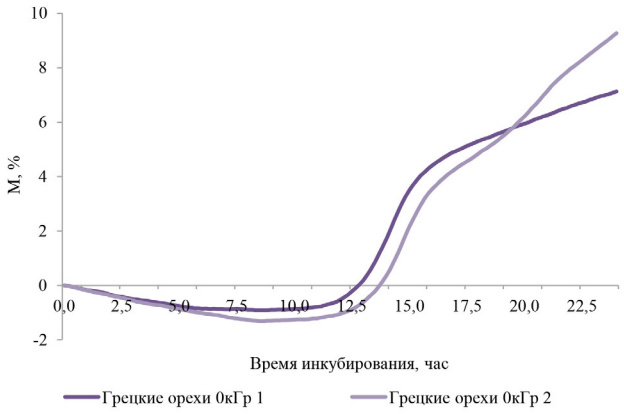


Рисунок 1. Результаты импедансного анализа смывов грецких орехов; две повторности (t инкубации 30 °C)

Figure 1. Impedance analysis of walnut washings; two replicates (incubation t = 30°C)

организмов *Lactobacillus plantarum* и *Lactobacillus mali*, уровень идентификации 1,549 и 1,483 соответственно. Молочнокислые бактерии *Lactobacillus* sp. дают устойчивый рост на среде Эндо, образуя красные колонии с металлическим зеленоватым блеском размером 1–2 мм. Именно они отвечают за ложноположительный результат на среде Кесслера.

Молочнокислые бактерии широко распространены в природе, встречаются в природной микрофлоре и играют важную роль в процессах ферментации. Содержание молочнокислых бактерий намного выше в эпифитной микрофлоре культурных растений. Это иллюстрирует влияние человека на распространение флоры молочнокислых бактерий. Согласно литературным данным эти бактерии обнаруживаются на винограде, яблоках и других плодах, идущих на переработку. Содержатся молочнокислые бактерии и на зернах злаков. На надземных частях растений среди молочнокислых бактерий палочки преобладают над кокками. Лактобациллы представляют собой грамположительные неспорообразующие палочки правильной формы размером 0,5–1,2 и 1,0–10,0 мкм [6]. На растениях в большем количестве содержатся *L. plantarum* – прямые, с закругленными концами палочки различной длины (от 0,7–1,1 до 3,0–8,0 мкм), расположенные единично или цепочками [4].

В результате проведенных работ был разработан универсальный аппаратурный комплекс многовариантной компоновки для получения низкотемпературной и нетермальной СВЧ-плазмы атмосферного давления. Массовое производство и острая конкуренция на мировом рынке ведущих фирм-производителей микроволнового оборудования обеспечивают высокую надежность их продукции при низкой стоимости. Поэтому основу представляемого аппаратурного комплекса составляет малобюджетный магнетронный СВЧ-генератор диапазона 2,45 ГГц с высоковольтным блоком питания, построенный на базе магнетронов, трансформаторов и конденсаторов, применяемых в микроволновых печах бытового и промышленного назначения. Для работы при повышенных уровнях СВЧ-мощности (свыше 1,5 кВт) разработана технология модификации системы охлаждения серийных СВЧ-магнетронов – с воздушной на водяную.

Основу 1-го варианта генератора плазмы составляет многоштырьковый резонансный СВЧ-разрядник *2*, питаемый с помощью жесткой коаксиальной линии от регулируемого волноводно-коаксиального перехода (рис. 2). Величина отбираемой из волновода СВЧ-мощности регулируется в широких пределах изменением местоположения короткозамыкающего бесконтактного поршня *1*. Неиспользованная отраженная мощность поглощается в водяной нагрузке, подключенной к волноводному циркулятору *4*.

Наконечник внешнего проводника питающей коаксиальной линии выполнен съемным и легко заменяемым. Внутренний проводник представляет собой металлическую трубку для подачи плазмообразующего газа *6*. Осевое перемещение внутреннего проводника обеспечено дроссельным подвижным сочленением, что позволяет регулировать положение внутреннего разрядника относительно внешнего наконечника коаксиальной линии. В качестве источника СВЧ-мощности был использован бюджетный генератор, построенный на комплектующих промышленных СВЧ-установок *5*. Схема 2-го варианта СВЧ-разрядника коаксиальной конфигурации представлена на рисунке 3.

Центральный проводник разрядника *1* проходит сквозь волновод *2* посередине его широких стенок

Таблица 2. Микробиологические показатели контрольных образцов орехов

Table 2. Microbiological indicators of control walnut samples

Длительность хранения орехов	Микробиологические показатели			Примечания
	КМАФАнМ КОЕ/г	Дрожжи и плесени КОЕ/г	БГКП 10 г продукта	
3 суток	1230 ± 580	620 ± 250	сомнительно	Помутнение на среде Кесслера
3 месяца	617 ± 94	684 ± 67	не обнаружено	–

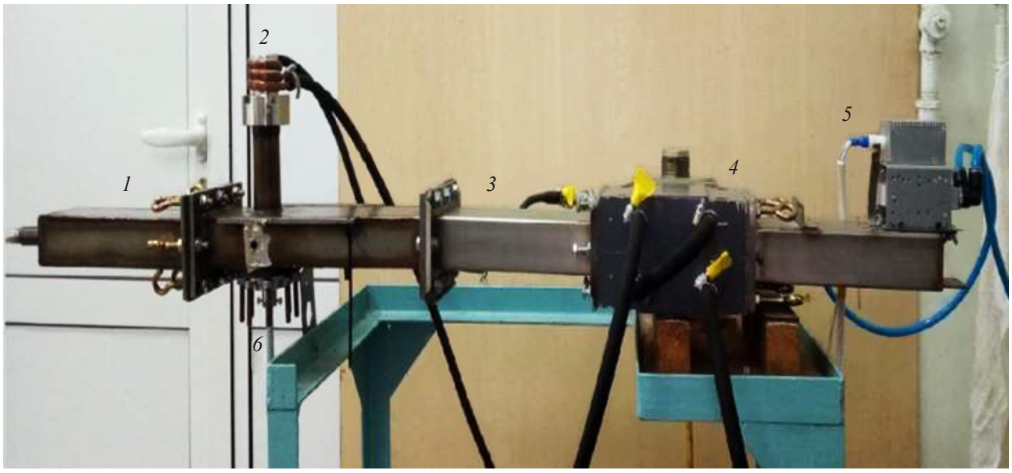


Рисунок 2. Общая схема 1-го варианта установки: *1* – короткозамкнутый поршень; *2* – плазмотрон; *3* – волновод; *4* – циркулятор с водяной нагрузкой; *5* – магнетрон; *6* – волноводно-коаксиальный переход с подачей газа

Figure 2. General setup of the first diagram option: *1* – short-circuited piston; *2* – plasmatron; *3* – waveguide; *4* – circulator with water load; *5* – magnetron; *6* – waveguide-coaxial transition with gas supply

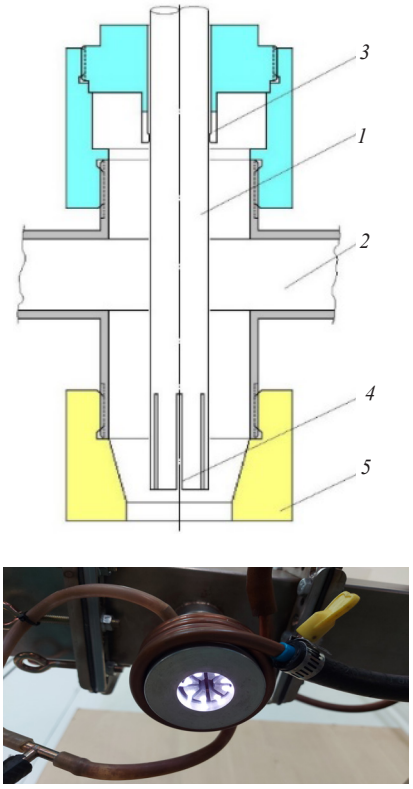


Рисунок 3. Схема 2-го варианта конструкции СВЧ-разрядника и его фотография (справа): *1* – центральный проводник коаксиала; *2* – питающий волновод; *3* – цанговый подвижный замыкатель; *4* – радиальные пропилы; *5* – внешний электрод разрядника

Figure 3. Scheme of the second version of the icrowave discharger and its photograph (right): *1* – central conductor of the coaxial; *2* – supply waveguide; *3* – collet movable contactor; *4* – radial cuts; *5* – external electrode of the spark gap

перпендикулярно к ним. Один из выступающих концов коаксиала замкнут накоротко цанговым подвижным сочленением *3*. Зона контакта вынесена в область минимума поверхностных токов. На втором конце коаксиала обеспечены условия холостого хода. Подача рабочего газа (аргона = 10 л/мин) в зону разряда осуществляется в зазор между внутренним и внешним проводником коаксиала. При правильной установке поджег разряда происходит самостоятельно и поддерживается длительное время. Для снижения температуры исходящей плазменной струи при продолжительной работе предусмотрено принудительное водяное охлаждение внешнего наконечника разрядника.

Для оценки эффективности СВЧ-генераторов плазмы был проведен модельный эксперимент по определению выживаемости микроорганизмов под действием аргоновой нетермальной плазмы (бактерицидные свойства плазмы) на предварительно засеянных сплошным газоном чашках Петри с селективной питательной средой (агар Эндо). Воздействие плазмой осуществляли на суточную культуру бактерий. Процесс плазменной обработки показан на рисунке 4.

Результаты эксперимента показали, что воздействие плазмы в течение 1–5 мин не приводит к быстрому и полному санирующему эффекту, но умеренно подавляет рост бактерий – явление «контролируемости» бактериальной популяции низкой плотности на поверхности плотной питательной среды. Поверхность агара, засеянного культурой лактобацилл, спустя 24 ч после обработки плазмой представлена на рисунке 5. В результате обработки в течение 1 мин на поверхности плотной

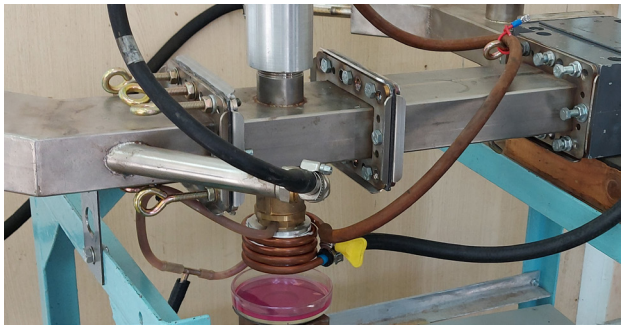


Рисунок 4. Инактивация микроорганизмов в чашке Петри с помощью генератора нетермальной аргоновой плазмы

Figure 4. Inactivation of microorganisms in a Petri dish using a non-thermal argon plasma generator

питательной среды образовывались округлые зоны отсутствия роста бактерий с диаметром 1–2 см, т. е. наблюдалась гибель практически всех клеток в зоне воздействия плазмы. Диаметр зоны ингибирования роста бактерий на чашке, т. е. зоны, где число бактериальных колоний было ниже, чем в контроле, составил 4,4 ± 0,1 см.

Выраженный антимикробный эффект плазменного облучения проявлялся после 5 мин экспозиции. После 5 мин обработки остаются лишь единичные выросшие колонии, но уже при сокращении времени обработки до 3 мин число выживших колоний значительно возрастает. Результаты исследования показали, что диаметр зоны ингибирования роста бактерий после 3 и 5 мин обработки превышал диаметр сопла генератора плазмы. Этот эффект можно объяснить рассеиванием плазменного облучения излучения. Температура на поверхности питательной среды во время плазменной обработки была в пределах оптимальной температуры роста лактобацилл (30–40 °С): 33,7 ± 2,1 °С во время 1 мин облучения, 37,7 ± 1,5 и 37,3 ± 0,6 °С во время 3 и 5 мин облучения соответственно.

Результаты исследования продемонстрировали изменение плотной питательной среды (агара Эндо) под воздействием плазмы длительностью 5 мин (рис. 6). В месте воздействия плазменного облучения наблюдался зеленый металлический блеск на питательной среде. Данный эффект можно объяснить тем, что фуксинсернистая кислота (реактив Шиффа), которая присутствует в агаре Эндо, при взаимодействии с плазмой окисляется до фуксина.

В данном исследовании показан биоцидный эффект нетермальной плазмы на лактобациллы, определяемый по снижению колонии образующих единиц в месте воздействия плазмы – диаметру зон ингибирования. Биоцидный эффект вызван окислительными повреждениями мембран и генетического материала микроорганизмов. Это подтверждается спектрофотометрическими измерениями окислителей в водных растворах под действием излучения плазмы. В работе показано воздействие нетермальной плазмы на пробу соли Мора – чувствительного к изменению окислительно-восстановительных свойств раствора. Под действием плазмы в растворе образуются активные радикалы, вызывающие окисление двухвалентного железа до трехвалентного. Получена зависимость концентрации трехвалентного железа (в результате окисления двухвалентного железа) в исследуемой пробе после обработки плазмой разной продолжительности. Уменьшение расстояния от источника плазмы до пробы, а также увеличение длительности обработки значительно повышало концентрацию окислителей в растворе соли Мора.

Важно заметить, что низкотемпературная плазма обладает низкой проникающей способностью подобно низкоэнергетическому электронному излучению. Это, с одной стороны, позволяет обрабатывать только поверхности (в ряде случаев жидкости), а с другой – не затрагивает своим воздействием нижележащие слои облучаемого объекта.

Поскольку в изученной нами литературе не было данных об инактивации нетермальной плазмой лактобацилл, то интересным представляется оценить мировой опыт инактивации кишечной

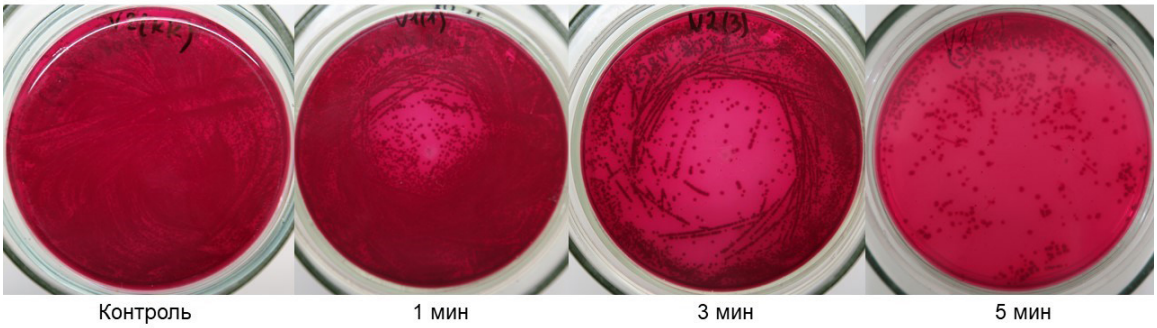


Рисунок 5. Результаты антимикробной эффективности плазменной обработки в зависимости от длительности облучения

Figure 5. Antimicrobial effect of plasma treatment depending on irradiation time

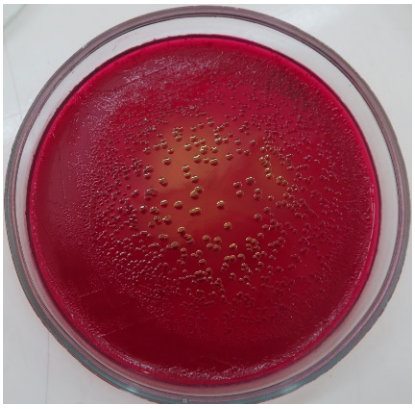


Рисунок 6. Зона изменения пигмента питательной среды в месте воздействия плазменного излучения (металлический блеск)

Figure 6. Zone of change in the pigment of the nutrient medium in the place of exposure to plasma radiation (metallic appearance)

палочки в продуктах с помощью плазмы атмосферного давления. Согласно Всемирной организации здравоохранения некоторые штаммы *Escherichia coli* могут быть причиной заболеваний пищевого происхождения. При использовании аргоновой плазмы прямого воздействия во многих экспериментах авторам удалось добиться снижения количества бактерий на поверхности продуктов на несколько порядков. На листьях салата, томатов и моркови было показано снижение количества бактерий на 1,70 после обработки (от 30 сек до 10 мин) стримерной короной с игольчатыми электродами (3,95–12,83 kV, 60 Hz) после обработки [9]. На листьях салата удалось снизить количество на 2,10–3,60 за 15–30 сек обработки плазмой (20 W, 27,12 MHz) на расстоянии 10 мм до субстрата [10]. В исследовании M. Baier и др. были получены схожие результаты на листьях салата: 3,20–3,30 порядка после обработки от 60 сек до 2 мин плазмой (8 W, 220 V, 50/60 Hz) на расстоянии 17 мм до субстрата [11]. В другой своей работе M. Baier с соавторами удалось добиться увеличения снижения до 3,30–4,70 после 60 сек обработки путем добавления к аргону кислорода [12]. Использование гелия с кислородом в качестве плазмообразующего газа показало снижение количества бактерий на кожуре дыни и манго на 3,00 порядка после 5 сек обработки плазмой (12–16 kV, 30 kHz) на расстоянии 10 мм до субстрата [13, 14]. Однако во многих работах исследователи используют в качестве плазмообразующего газа воздух. С помощью коронного разряда (20 kV, 58 kHz) удалось снизить на 2,00 порядка обсемененность семян рапса после 3 мин обработки [15]. В исследовании A. Kilonzo-Nthenge и др. коронный разряд (200 W, 50 Hz) снижал на 5,50 порядков обсемененность яблок за 240 сек на расстоянии 35 мм до субстрата [16]. В работах B. A. Niemira, используя воздух с азотом (524 W, 47 kHz) с расстоянием 6 см до субстрата, было показано снижение обсемененности миндаля на 1,34 за 20 сек обработки [17, 18]. Скользящая дуга (gliding arc) (15 kV, 60 Hz) снизила на 3,60 обсемененность яблок после 3 мин воздействия [19]. Однородный тлеющий разряд в воздухе (9 kV, 6 kHz) на 1,00–3,50 порядка после 1–2 мин при расстоянии 11,4 см до субстрата (листья салата, яблоки, дыня) [20]. Микроволновая плазма (1,1 kW, 2,45 GHz) при 25 см до субстрата (яблоки, клубника, морковь) способствовала снижению обсемененности на 4,80 [21, 22].

В работе Е. В. Сысолятиной показано, что степень чувствительности бактерий зависит от вида и штамма бактерии, а также используемого источника нетермальной плазмы. Также в работе было доказано, что отдельные компоненты нетермальной плазмы обладают меньшим бактерицидным эффектом, чем плазменный факел в целом. В работе показан синергизм действия биологически активных компонентов плазмы [23].

В работе Г. В. Киреева установлено, что наиболее чувствительными к обработке холодной плазмой являлись грамотрицательные бактерии, такие как *E. coli*, а меньшей чувствительностью обладали грамположительные бактерии. Было показано, что обработка клеток кишечной палочки холодной плазмой приводила к снижению прочности клеточной оболочки. Вследствие этого клетки бактерии погибали в средах с пониженным осмотическим давлением. Выявлено нарушение целостности цитоплазматической мембраны клеток кишечной палочки холодной плазмой [24].

Наши результаты согласуются с данными А. П. Семенова и др., которые в своем исследовании показали, что плазменная обработка в течение 40 сек на расстоянии 3 см от сопла приводит к существенному снижению числа выживших микроорганизмов. Авторы наблюдали такую же зависимость увеличения диаметра зоны инактивации бактерий от продолжительности обработки. Однако наилучшие результаты гибели клеток *E. coli* были получены через 5 сек обработки на расстоянии 0,5 см от сопла. А при увеличении расстояния от сопла генератора до 3 см число выживших колоний бактерий значительно возрастает. В исследовании авторов обработка чашек в течение 10 сек приводит к гибели практически всех клеток в радиусе 0,9 см [25, 26].

Полученные нами результаты также можно соотнести с данными работы Б. Б. Балданова, в которой была показана высокая антибактериальная эффективность аргоновой плазмы, генерируемой плазменными струями. Воздействие плазменных

струй на микроорганизмы, в том числе кишечную палочку, в течение 4 мин приводит к их полной инактивации в области воздействия плазмы. Автором установлено, что эффективный процесс инактивации бактерий с помощью нетермальной аргоновой плазмы начинается практически с 5 сек. С увеличением времени экспозиции площадь инактивации значительно повышается [27].

Выводы

Инактивация бактерий может быть вызвана несколькими активными компонентами нетермальной плазмы. Например, УФ-излучение, озон и образующиеся в результате плазмохимических реакций свободные радикалы [23, 24]. Свободные радикалы являются оксидантами – сильными окислителями. Они разрушают клеточных структуры (белки, генетический материал и др.) и оказывают инактивирующее действие на микроорганизмы. Однако, поскольку на получаемый эффект влияют такие факторы, как сами микроорганизмы, грибы, дрожжи, споровые или вегетативные формы бактерий (грамположительные либо грамотрицательные) и т. д., а также условия обработки, т. е. такая характеристика плазмы, как напряженность поля, то эффективность обработки может различаться для разных микроорганизмов. Это определило необходимость проведенного нами исследования.

Проведенные исследования показали не абсолютное ингибирование бактерий после плазменной обработки из-за рассеивания активных компонентов плазмы в неограниченном воздушном пространстве и их низкой концентрации при взаимодействии с засеянной средой. Длительная плазменная обработка в течение 5 мин позволяет инактивировать лактобациллы, значительно снизив их количество на облучаемой площади. Это позволяет предположить возможность применения плазмы для поддержания достигнутого уровня обеззараживания на поверхностях продуктов и упаковок. Эффективность обеззараживания с помощью плазмы может быть увеличена путем корректировки режимов облучения. Кроме того, эффективность плазменной обработки может зависеть от исходной плотности клеточной суспензии, которая подвергалась воздействию, и времени обработки. Традиционные методы деконтаминации не являются универсальными для большинства типов сухофруктов и орехов. Использование высоких температур снижает количество компонентов, отвечающих за аромат, вкус, лекарственные и антиоксидантные свойства растительного сырья.

Критерии авторства

Д. И. Петрухина – проведение эксперимента, написание рукописи. И. В. Полякова – проведение эксперимента, методология и организация исследований. С. А. Горбатов – проведение эксперимента, модернизация плазматрона.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

D.I. Petrukhina performed the experiment and wrote the manuscript. I.V. Polyakova performed the experiment, developed the methodology, and supervised the research. S.A. Gorbatov performed the experiment and modernized the plasmatron.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Fiebrandt, M. From patent to product? 50 years of low-pressure plasma sterilization / M. Fiebrandt, J.-W. Lackmann, K. Stapelmann // Plasma Processes and Polymers. – 2018. – Vol. 15, № 12. https://doi.org/10.1002/ppap.201800139.

2. Анализ активных продуктов излучения плазмы искрового разряда, определяющих биологические эффекты в клетках / И. П. Иванова, С. В. Трофимова, Н. Карпель Вель Лейтнер [и др.] // Современные технологии в медицине. – 2012. – № 2. – С. 20–30.

3. Савкина, О. А. Исследование микробной контаминации мюслей и сырья / О. А. Савкина, М. Н. Локачук, Е. Н. Павловская // Пищевая индустрия. – 2020. – Т. 43, № 1. – С. 48–50. https://doi.org/10.24411/9999-008A-2020-10003.

4. Идентификация молочнокислых бактерий на поверхности плодов и овощей / О. О. Бабич, А. Ю. Просеков, С. А. Сухих [и др.] // Вопросы науки. – 2015. – Т. 1. – С. 22–32.

5. Darby, T. M. Beneficial influences of *Lactobacillus plantarum* on human health and disease / T. M. Darby, R. M. Jones // The microbiota in gastrointestinal pathophysiology: Implications for human health, prebiotics, probiotics, and dysbiosis / M. H. Floch, Y. Ringel, W. A. Walker. – Academic Press, 2017. – P. 109–117. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804024-9.00010-0.

6. Биологические свойства лактобацилл. Перспективы использования в лабораториях Роспотребнадзора экспресс-методов амплификации нуклеиновых кислот (МАНК) при контроле качества пищевых продуктов, БАД к пище,

лекарственных форм, содержащих лактобациллы / И. В. Соловьева, А. Г. Точилина, И. В. Белова [и др.] // Журнал МедиАль. – 2014. – Т. 12, № 2. – С. 29–44.

7. Определение содержания флавоноидов в облученных образцах посредством спектрофотометрического анализа / А. В. Саруханов, А. И. Морозова, Н. А. Васильева [и др.] // Бюллетень науки и практики. – 2019. – Т. 5, № 10. – С. 32–39. https://doi.org/10.33619/2414-2948/47/04.

8. Boskou, D. Mediterranean diet food: Strategies to preserve a healthy tradition / D. Boskou // Journal of Experimental Food Chemistry. – 2016. – Vol. 1, № 1. https://doi.org/10.4172/2472-0542.1000104.

9. Effect of atmospheric pressure cold plasma (APCP) on the inactivation of *Escherichia coli* in fresh produce / D. Bermudez-Aguirre, E. Wemlinger, P. Pedrow [et al.] // Food Control. – 2013. – Vol. 34, № 1. – P. 149–157. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.04.022.

10. Direct non-thermal plasma treatment for the sanitation of fresh corn salad leaves: Evaluation of physical and physiological effects and antimicrobial efficacy / M. Baier, J. Foerster, U. Schnabel [et al.] // Postharvest Biology and Technology. – 2013. – Vol. 84. – P. 81–87. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.03.022.

11. Inactivation of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O104:H4 using cold atmospheric pressure plasma / M. Baier, T. Janßen, L. H. Wieler [et al.] // Journal of Bioscience and Bioengineering. – 2015. – Vol. 120, № 3. – P. 275–279. https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2015.01.003.

12. Non-thermal atmospheric pressure plasma: Screening for gentle process conditions and antibacterial efficiency on perishable fresh produce / M. Baier, M. Görgen, J. Ehlbeck [et al.] // Innovative Food Science and Emerging Technologies. – 2014. – Vol. 22. – P. 147–157. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.01.011.

13. Cold atmospheric plasma decontamination of the pericarps of fruit / S. Perni, D. W. Liu, G. Shama [et al.] // Journal of Food Protection. – 2008. – Vol. 71, № 2. – P. 302–308. https://doi.org/10.4315/0362-028x-71.2.302.

14. Perni, S. Cold atmospheric plasma disinfection of cut fruit surfaces contaminated with migrating microorganisms / S. Perni, G. Shama, M. G. Kong // Journal of Food Protection. – 2008. – Vol. 71, № 8. – P. 1619–1625. https://doi.org/10.4315/0362-028x-71.8.1619.

15. Puligundla, P. Effect of corona discharge plasma jet treatment on decontamination and sprouting of rapeseed (*Brassica napus* L.) seeds / P. Puligundla, J.-W. Kim, C. Mok // Food Control. – 2017. – Vol. 71. – P. 376–382. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.07.021.

16. Atmospheric cold plasma inactivation of *Salmonella* and *Escherichia coli* on the surface of golden delicious apples / A. Kilonzo-Nthenge, S. Liu, S. Yannam [et al.] // Frontiers in Nutrition. – 2018. – Vol. 5. https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00120.

17. Niemira, B. A. Cold plasma decontamination of foods / B. A. Niemira // Annual Review of Food Science and Technology. – 2012. – Vol. 3, № 1. – P. 125–142. https://doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101132.

18. Niemira, B. A. Cold plasma reduction of *Salmonella* and *Escherichia coli* O157:H7 on almonds using ambient pressure gases / B. A. Niemira // Journal of Food Science. – 2012. – Vol. 77, № 3. – P. M171–M175. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02594.x.

19. Niemira, B. A. Cold plasma inactivates *Salmonella* stanley and *Escherichia coli* O157:H7 inoculated on golden delicious apples / B. A. Niemira, J. Sites // Journal of Food Protection. – 2008. – Vol. 71, № 7. – P. 1357–1365. https://doi.org/10.4315/0362-028X-71.7.1357.

20. Decontamination and sensory properties of microbiologically contaminated fresh fruits and vegetables by microwave plasma processed air (PPA) / U. Schnabel, R. Niquet, O. Schlüter [et al.] // Journal of Food Processing and Preservation. – 2015. – Vol. 39, № 6. – P. 653–662. https://doi.org/10.1111/jfpp.12273.

21. Atmospheric plasma inactivation of foodborne pathogens on fresh produce surfaces / F. J. Critzer, K. Kelly-Wintenberg, S. L. South [et al.] // Journal of Food Protection. – 2007. – Vol. 70, № 10. – P. 2290–2296. https://doi.org/10.4315/0362-028X-70.10.2290.

22. Impact of plasma processed air (PPA) on quality parameters of fresh produce / M. Baier, J. Ehlbeck, D. Knorr [et al.] // Postharvest Biology and Technology. – 2015. – Vol. 100. – P. 120–126. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.015.

23. Сысолятина, Е. В. Бактерицидные свойства низкотемпературной плазмы *in vitro* и *in vivo*: дис. … канд. био. наук: 03.02.03 / Сысолятина Елена Владимировна. – Москва, 2013. – 128 с.

24. Киреев, Г. В. Инактивация микроорганизмов низкотемпературной плазмой при атмосферном давлении: дис. … канд. био. наук: 03.02.03, 03.01.06 / Киреев Георгий Вадимович. – Оболенск, 2013. – 189 с.

25. Разработка бактерицидного оборудования и исследование процессов обеззараживания патогенных микроорганизмов холодной аргоновой плазмой / А. П. Семенов, Б. Б. Балданов, Ц. В. Ранжуров [и др.] // Сибирский научный медицинский журнал. – 2016. – Т. 36, № 1. – С. 18–22.

26. Инактивация микроорганизмов в холодной аргоновой плазме атмосферного давления / А. П. Семенов, Б. Б. Балданов, Ц. В. Ранжуров [и др.] // Успехи прикладной физики. – 2014. – Т. 2, № 3. – С. 229–233.

27. Балданов, Б. Б. Источник слабоионизированной неравновесной плазмы на основе импульсно-периодического режима отрицательного коронного разряда в потоке аргона: дис. … д-р техн. наук: 01.04.14 / Балданов Баир Батоевич. – Улан-Удэ, 2004. – 239 с.

References

1. Fiebrandt M, Lackmann J-W, Stapelmann K. From patent to product? 50 years of low-pressure plasma sterilization. Plasma Processes and Polymers. 2018;15(12). https://doi.org/10.1002/ppap.201800139.

2. Ivanova IP, Trofimova SV, Karpel Vel Leitner N, Aristova NA, Arkhipova EV, Burkhina OE, et al. The analysis of active products of spark discharge plasma radiation determining biological effects in tissues. Modern Technologies in Medicine. 2012;(2):20–30. (In Russ.).

3. Savkina OA, Lokachuk MN, Pavlovskaya EN. Issledovanie mikrobnoy kontaminatsii myusley i syr′ya [A study of microbial contamination of muesli and raw materials]. Pishchevaya industriya [Food industry]. 2020;43(1):48–50. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/9999-008A-2020-10003.

4. Babich OO, Prosekov AYu, Sukhikh SA, Milent′eva IS. Identifikatsiya molochnokislykh bakteriy na poverkhnosti plodov i ovoshchey [Identification of lactic acid bacteria on the surface of fruits and vegetables]. Voprosy nauki. 2012;(2):20–30. (In Russ.).

5. Darby TM, Jones RM. Beneficial influences of Lactobacillus plantarum on human health and disease. In: Floch MH, Ringel Y, Walker WA, editors. The microbiota in gastrointestinal pathophysiology: Implications for human health, prebiotics, probiotics, and dysbiosis. Academic Press; 2017. pp. 109–117. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804024-9.00010-0.

6. Solovyeva IV, Tochilina AG, Belova IV, Novikova NA, Ivanova TP. The lactobacillus biological properties. Prospects of express-methods nucleic acid amplification for the foods, food supplements and drugs on its basis quality control. Journal MediAl. 2014;12(2):29–44. (In Russ.).

7. Sarukhanov AV, Morozova AI, Vasilyeva NA, Krylenkin DV. Flavonoid's content determination in irradiated samples via spectrophotometric analysis. Bulletin of Science and Practice. 2019;5(10):32–39. (In Russ.). https://doi.org/10.33619/2414-2948/47/04.

8. Boskou D. Mediterranean diet food: Strategies to preserve a healthy tradition. Journal of Experimental Food Chemistry. 2016;1(1). https://doi.org/10.4172/2472-0542.1000104.

9. Bermudez-Aguirre D, Wemlinger E, Pedrow P, Barbosa-Cánovas G, Garcia-Perez M. Effect of atmospheric pressure cold plasma (APCP) on the inactivation of *Escherichia coli* in fresh produce. Food Control. 2013;34(1):149–157. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.04.022.

10. Baier M, Foerster J, Schnabel U, Knorr D, Ehlbeck J, Herppich WB, et al. Direct non-thermal plasma treatment for the sanitation of fresh corn salad leaves: Evaluation of physical and physiological effects and antimicrobial efficacy. Postharvest Biology and Technology. 2013;84:81–87. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.03.022.

11. Baier M, Janßen T, Wieler LH, Ehlbeck J, Knorr D, Schlüter O. Inactivation of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O104:H4 using cold atmospheric pressure plasma. Journal of Bioscience and Bioengineering. 2015;120(3):275–279. https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2015.01.003.

12. Baier M, Görgen M, Ehlbeck J, Knorr D, Herppich WB, Schlüter O. Non-thermal atmospheric pressure plasma: Screening for gentle process conditions and antibacterial efficiency on perishable fresh produce. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2014;22:147–157. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.01.011.

13. Perni S, Liu DW, Shama G, Kong MG. Cold atmospheric plasma decontamination of the pericarps of fruit. Journal of Food Protection. 2008;71(2):302–308. https://doi.org/10.4315/0362-028x-71.2.302.

14. Perni S, Shama G, Kong MG. Cold atmospheric plasma disinfection of cut fruit surfaces contaminated with migrating microorganisms. Journal of Food Protection. 2008;71(8):1619–1625. https://doi.org/10.4315/0362-028x-71.8.1619.

15. Puligundla P, Kim J-W, Mok C. Effect of corona discharge plasma jet treatment on decontamination and sprouting of rapeseed (*Brassica napus* L.) seeds. Food Control. 2017;71:376–382. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.07.021.

16. Kilonzo-Nthenge A, Liu S, Yannam S, Patras A. Atmospheric cold plasma inactivation of *Salmonella* and *Escherichia coli* on the surface of golden delicious apples. Frontiers in Nutrition. 2018;5. https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00120.

17. Niemira BA. Cold plasma decontamination of foods. Annual Review of Food Science and Technology. 2012;3(1):125–142. https://doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101132.

18. Niemira BA. Cold plasma reduction of *Salmonella* and *Escherichia coli* O157:H7 on almonds using ambient pressure gases. Journal of Food Science. 2012;77(3):M171–M175. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02594.x.

19. Niemira BA, Sites J. Cold plasma inactivates *Salmonella* stanley and *Escherichia coli* O157:H7 inoculated on golden delicious apples. Journal of Food Protection. 2008;71(7):1357–1365. https://doi.org/10.4315/0362-028X-71.7.1357.

20. Schnabel U, Niquet R, Schlüter O, Gniffke H, Ehlbeck J. Decontamination and sensory properties of microbiologically contaminated fresh fruits and vegetables by microwave plasma processed air (PPA). Journal of Food Processing and Preservation. 2015;39(6):653–662. https://doi.org/10.1111/jfpp.12273.

21. Critzer FJ, Kelly-Wintenberg K, South SL, Golden DA. Atmospheric plasma inactivation of foodborne pathogens on fresh produce surfaces. Journal of Food Protection. 2007;70(10):2290–2296. https://doi.org/10.4315/0362-028X-70.10.2290.

22. Baier M, Ehlbeck J, Knorr D, Herppich WB, Schlüter O. Impact of plasma processed air (PPA) on quality parameters of fresh produce. Postharvest Biology and Technology. 2015;100:120–126. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.015.

23. Sysolyatina EV. Bakteritsidnye svoystva nizkotemperaturnoy plazmy *in vitro* i *in vivo* [Bactericidal properties of low-temperature plasma *in vitro* and *in vivo*]. Cand. bio. sci. diss. Moscow: Gamaleya National Research Center for Epidemiology and Microbiology; 2013. 128 p.

24. Kireev G.V. Inaktivatsiya mikroorganizmov nizkotemperaturnoy plazmoy pri atmosfernom davlenii [Inactivation of microorganisms by low-temperature plasma at atmospheric pressure]. Cand. bio. sci. diss. Obolensk: State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology; 2013. 189 p.

25. Semenov AP, Baldanov BB, Ranzhurov CV, Nikolaev EO, Gomboeva SV. Development of microbicide equipment and research in pathogen inactivation by cold argon plasma. The Siberian Scientific Medical Journal. 2016;36(1):18–22. (In Russ.).

26. Semenov AP, Baldanov BB, Ranzhurov TsV, Norboev ChN, Namsaraev BB, Dambaev VB, et al. Inactivation of microorganisms in cold argon plasma at the atmospheric pressure. Advances in Applied Physics. 2014;2(3):229–233. (In Russ.).

27. Baldanov BB. Istochnik slaboionizirovannoy neravnovesnoy plazmy na osnove impul′sno-periodicheskogo rezhima otritsatel′nogo koronnogo razryada v potoke argona [Source of low-ionized non-equilibrium plasma based on the pulse-periodic mode of negative corona discharge in an argon flow]. Dr. eng. sci. diss. Ulan-Ude: East Siberia State University of Technology and Management; 2004. 239 p.

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-98-112
УДК 663.1:633.192

Обзорная статья
http://fptt.ru

Крахмал зерна квиноа (C*henopodium quinoa* Willd.): состав, морфология и физико-химические свойства

Т. В. Орлова[1,*], М. Айдер[2]

[1] Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Россия

[2] Университет Лаваля, Квебек, Канада

Дата поступления в редакцию: 07.12.2020

Дата принятия в печать: 29.01.2021

**e-mail: schekoldina_tv@mail.ru*
© Т. В. Орлова, М. Айдер, 2021

Аннотация.
Введение. Основным компонентом зерна квиноа является крахмал, от свойств которого зависит качество пищевых продуктов на ее основе. В российской научной литературе отсутствуют сведения о крахмале квиноа. Поэтому в обзоре обобщены и представлены зарубежные знания о выделении, химическом составе, структуре и физико-химических свойствах крахмала квиноа.
Объекты и методы исследования. Научные статьи ученых, опубликованные в открытой печати за последние 10 лет, а также отдельные части научных книг, посвященные строению и химическому составу квиноа. В работе применяли эмпирические и теоретические методы научных исследований.
Результаты и их обсуждение. Большинство исследований указывает на содержание амилозы в крахмале квиноа до 10 %. Амилопектин крахмала квиноа отличается высоким количеством коротких единичных цепей и очень низким количеством длинных единичных цепей, причем соотношение между ними у квиноа выше, чем у других крахмалов. Размер гранул крахмала квиноа находится в диапазоне 0,4–2,0 мкм, что меньше, чем у большинства известных крахмалов. Крахмал квиноа относится к полиморфному типу А. Температура желатинизации и энтальпия крахмала квиноа ниже, чем у крахмала амаранта, кукурузы, сорго, просо и пшеницы, что обусловлено тонкой структурой амилопектина. Установлено, что с повышением температуры на каждые 10 °С сила набухания и растворимость крахмала квиноа увеличивается на 21,5–27,0 %. Индекс растворимости крахмала квиноа при увеличении от 55 до 65 °С резко возрастет в 5–10 раз. Вязкость крахмала квиноа значительно выше, чем у большинства известных крахмалов. Отмечено, что крахмал квиноа обладает более высокой чувствительностью к ферментам, чем большинство известных крахмалов.
Выводы. В работе представлены результаты научных исследований о способах выделения крахмала из квиноа, его химическом составе и методах определения амилозы; о структуре крахмальных зерен, их форме, типе и степени кристаллизации; о физико-химических свойствах крахмала, которые будут определять выбор технологических параметров при разработке рецептур и технологий продуктов питания, в том числе специализированного назначения для людей с непереносимостью глютена (целиакией). Дальнейшие исследования химического состава квиноа позволят удовлетворить возрастающий спрос на данную продукцию и расширить ассортимент отечественного рынка безглютеновых продуктов питания.

Ключевые слова. Квиноа, крахмал, амилоза, амилопектин, полиморфизм, желатинизация, набухание, ретроградация, реологические свойства

Для цитирования: Орлова, Т. В. Крахмал зерна квиноа (C*henopodium quinoa* Willd.): состав, морфология и физико-химические свойства / Т. В. Орлова, М. Айдер // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 98–112. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-98-112.

Review article

Available online at http://fptt.ru/eng

Starch Grain Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, Morphology and Physico-Chemical Properties

Tatiana V. Orlova[1,*], Mohammed Aider[2]

[1] I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

[2] Laval University, Quebec, Canada

Received: December 07, 2020 *Accepted: January 29, 2021*



**e-mail: schekoldina_tv@mail.ru*
© T.V. Orlova, M. Aider, 2021

Abstract.
Introduction. The main component of quinoa grain is starch, the properties of which affect the quality of quinoa-based food products. There is no information about quinoa starch in the Russian scientific literature. Therefore, the review summarizes and presents foreign knowledge about the isolation, chemical composition, structure, and physicochemical properties of quinoa starch
Study objects and methods. The research featured scientific articles and chapters of scientific books on the structure and chemical composition of quinoa published over the past 10 years. The work used empirical and theoretical methods of scientific research.
Results and its discussion. Currently, starch from quinoa grain is produced only under laboratory conditions by various methods of grinding and soaking. Most studies point to up to 10% of amylose in quinoa starch. Amylopectin in quinoa starch has a high number of short single chains and a very low number of long single chains, and their ratio is higher than that in other starches. The granule size of quinoa starch is 0.4–2.0 microns, which is significantly smaller than that of most starches. Quinoa starch belongs to polymorphic type A. The gelatinization temperature and enthalpy of quinoa starch are lower than those of amaranth, corn, sorghum, millet, and wheat starch, which is probably due to the fine structure of amylopectin. With an increase in temperature for every 10°C, the swelling force and solubility of quinoa starch increase on average by 21.5–27%. As the temperature rises from 55 to 65°C, the solubility index of quinoa starch increases sharply by 5–10 times. The viscosity of quinoa starch is significantly higher than that of most known starches. It also is more sensitive to enzymes.
Conclusion. The work presents the results of scientific research on various matters: methods of starch isolation from quinoa, its chemical composition, and methods of amylose determination; structure of starch grains, their shape, type, and degree of crystallization; physicochemical properties of starch, including gelatinization, swelling, solubility, rheological properties, retrogradation, changes in the transparency of starch gel, and susceptibility to enzymes. The latter determines the choice of technological parameters in the development of formulations and food technologies, including functional foods for people with gluten intolerance (celiac disease). Further studies of the chemical composition of quinoa can help to meet the growing demand for these products and expand the range of the domestic market for gluten-free foods.

Keywords. Quinoa, starch, amylose, amylopectin, polymorphism, gelatinization, swelling, retrogradation, rheological properties

For citation: Orlova TV, Aider M. Starch Grain Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, Morphology and Physico-Chemical Properties. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):98–112. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-98-112.

Введение

Квиноа (C*henopodium quinoa* Willd.) произрастает в Андах и культивируется в Андском регионе уже несколько тысяч лет. До испанской колонизации Южной Америки квиноа, наравне с кукурузой, широко выращивалась как одна из основных зерновых культур [1]. Квиноа играет значительную роль в обеспечении продовольственной безопасности благодаря своему генетическому разнообразию и уникальной приспособленности к изменяющимся агроэкологическим условиям. В настоящее время выращивание квиноа находится в процессе быстрого расширения за пределами его традиционных посевных площадей [2, 3]. В нашей стране впервые возделывать квиноа начал НПО «Квиноа центр» (Краснодарский край, Новокубанский район), проводя с 2009 года кропотливую селекционную работу. За 8 лет предприятие вывело 3 сорта собственной селекции: «Кади», «Сева» и «Баруша», внесенные в 2017 году в Государственный реестр семян. Промышленное производство зерна квиноа компания планирует наладить после строительства завода по переработке семян квиноа, проектной мощностью не менее 12 тонн в год, инвестируя в него около 72 млн. рублей.

Повышенный интерес многих отечественных и зарубежных ученых к квиноа обусловлен ее химическим составом и отсутствием глютена [4–6]. Автор начал изучать квиноа более 7 лет назад, когда ООН провозгласила 2013 год годом квиноа как высокобелковой культуры в решение проблем голода и мирового белкового дефицита. Интерес к культуре также был обусловлен сведениями об отсутствии глютена, что делало ее перспективным сырьем для производства безглютеновых продуктов питания. Отсутствие глютелиновой белковой фракции, формирующий клейковинный остов теста, в квиноа, как и в другом безглютеновом мучном сырье (мука рисовая, мука кукурузная), теоретически предполагало получение слабого по консистенции теста, плохо удерживающего форму после отсадки. Однако первые экспериментальные исследования возможности использования муки квиноа в рецептурах печенья с полным исключением пшеничной муки показали неожиданный результат. Установлено, что тесто безглютенового сахарного печенья на основе кукурузной муки при частичной замене на муку квиноа отличалось упругой консистенцией и сохраняло форму после отсадки.

Однако такое положительное влияние муки квиноа на реологические характеристики теста были отмечены при внесении ее до 60–75 % к общей массе кукурузной муки. В дальнейшем при увеличении дозировки муки квиноа тесто печенья приобретало крепкую консистенцию, очень быстро поглощало воду в начале замеса, с трудом подвергалось перемешиванию и отсадке, а при выпечке на поверхности печенья появлялись трещины [7].

Получив такие результаты, перед автором возникла новая задача: объяснить укрепляющее действие муки квиноа при отсутствии клейковинных белков. Теоретически ее поведение при замесе теста должно быть схожим с кукурузной или рисовой мукой. Вероятно, уникальность квиноа заключается не только в белковом комплексе, но и в углеводном составе, а именно в строении и свойствах крахмала. Крахмал является основным компонентом квиноа, содержание которого колеблется от 50 до 70 % сухого вещества [3, 8]. Поэтому знание состава и свойств крахмала для дальнейшего применения квиноа в технологии производства пищевых продуктов, в том числе и безглютеновых, является актуальным и определяет новизну настоящей работы.

По сравнению с другими крахмалами из кукурузы, картофеля и пшеницы в российской научной литературе отсутствуют сведения о крахмале квиноа. Поэтому в настоящем обзоре обобщены и представлены зарубежные знания о химическом составе, структуре и свойствах крахмала зерна квиноа.

Цель работы – обобщение, систематизация и сравнительный анализ научных исследований разных лет о выделении, химическом составе, морфологической структуре и физико-химических свойствах крахмала квиноа для проведения дальнейших исследований в области расширения ассортимента и разработки новых пищевых продуктов, в том числе специализированного назначения для питания людей с непереносимостью глютена.

Задачи исследований: обобщить и провести анализ известных зарубежных исследований о способах выделения крахмала из квиноа; о химическом составе крахмала квиноа и методах определения амилозы; о структуре крахмальных зерен, их форме, типе и степени кристаллизации; о физико-химических свойствах крахмала, включая изучение желатинизационных свойств, набухания, растворимости, реологических свойств, ретроградации, изменения прозрачности крахмального геля, восприимчивости к ферментам, которые будут определять выбор технологических параметров новых рецептур и технологий продуктов питания, обогащенных квиноа и продуктами ее переработки.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись научные статьи ученых, опубликованные в открытой печати за последние 10 лет, а также отдельные части научных книг, посвященные строению и химическому составу квиноа. В работе применяли эмпирические и теоретические методы, включающие описание, сравнение, анализ, систематизацию, объяснение и аналогию. Использовали поисковые системы Google Scholar и базы данных Scopus, Web of Science, eLibrary.Ru, PubMed, ScienceDirect, научные порталы Science.gov, SciGuide и научно-исследовательскую социальную сеть и средство сотрудничества ученых всех научных дисциплин ResearchGate.

Результаты и их обсуждение

Получение крахмала квиноа. Для выделения крахмала и удаление некрахмальных компонентов квиноа в зарубежных исследованиях используют различные методы измельчения и замачивания. P. C. Araujo-Farro и др. семена квиноа промывали и замачивали в воде или щелочных растворах перед гомогенизацией [9]. При этом семена перед замачиванием измельчали в муку. W. A. Atwell с соавторами и S. Srichuwong с соавторами для замачивания семян или муки с целью удаления некрахмальных компонентов использовали деионизированную воду, раствор гидроксида натрия, бисульфит натрия, додецилсульфат натрия и ацетат натрия [10, 11]. Весьма эффективна ферментативная обработка при очистке крахмала, но ее стоимость высока и поэтому нецелесообразна при подготовке больших проб. Время замачивания в различных исследованиях варьировалось от 5 мин до 1 недели. По мнению S. Lim и др., длительное замачивание может привести к микробиологической порче, в то время как измененный pH может способствовать повреждению гранул крахмала. После замачивания суспензию фильтровали, а для увеличения степени извлечения мелких гранул крахмала фильтрат центрифугировали при высокой скорости центрифугирования (n > 2000 об/мин) [12]. По данным K. N. Jan с соавторами и K. H. Wright с соавторами, выход крахмала составлял 30–54 % при чистоте от 93 до 99 % [13, 14].

Выделенный крахмал содержит второстепенные компоненты, такие как белок, липиды, золу и клетчатку, в большинстве исследований значения которых были < 0,5 % (табл. 1). Их высокое содержание предполагает недостаточную очистку крахмала. Следует иметь в виду, что эти второстепенные компоненты, хоть и в небольших количествах, могут влиять на функциональные свойства крахмала [11].

О выделении крахмала квиноа известно только в лабораторных условиях и нет достоверных сведений о промышленном извлечении крахмала.

Таблица 1. Химический состав крахмала квиноа

Table 1. Chemical composition of quinoa starch

№ п/п	Метод исследований	Содержание, %					Литература
		амилоза	белок	минеральные вещества	липиды	клетчатка	
1	Iodine SP	14,33–27,66					[16]
2	Iodine SP	11,00	0,11	0,04			[10]
3	Iodine SP	20,00					[17]
4	Iodine SP	19,80–20,60 20,60–21,00					[14]
5	Iodine SP	25,40[A] 7,10[B]					[18]
6	Iodine SP	11,10–23,90					[9, 16, 19]
7	Iodine SP	0,30–12,10					[20]
8	Iodine SP	7,70–25,70					[21]
9	Iodine SP	9,46–12,1	0,89–0,95	0,18–0,22	0,32–0,40	0,10–0,13	[13]
10	Iodine PT	9,28	0,91		0,11		[22]
11	Con A	8,25–12,20					[11, 23, 24]
12	Con A	8,22–9,30	1,09–4,13	1,46–1,64	1,94–2,56	0,19–0,24	[25]
13	Con A	19,70					[26]
14	Con A	6,06–8,44					[27]
15	SEC, debranch	24,70– 27,00					[28]
16	SEC, debranch	3,50–19,60	0,14–1,23				[20]
17	SEC, debranch	12,60–23,70					[27]
18	SEC, debranch	7,49–10,88					[27]

Iodine SP – колориметрический метод на основе йода;
Iodine PT – метод потенциометрического титрования на основе йода;
SEC debranch – метод эксклюзионной хроматографии;
Con A – метод, основанный на осаждении белком конканавалином А;
A – содержание амилозы, рассчитанное по формуле: 100 % × m (нативный крахмал) / m (амилоза);
B – содержание амилозы, рассчитанное по формуле: 100 % × [m (нативный крахмал) – m (амилопектин)] / [m (амилоза) – m (амилопектин)].

Iodine SP – iodine-based colorimetric method;
Iodine PT – iodine-based potentiometric titration method;
SEC debranch – size exclusion chromatography method;
Con A – method based on protein precipitation with concanavalin A;
A – amylose content, calculated by the following formula: 100% × m (native starch) / m (amylose);
B – amylose content, calculated by the following formula: 100% × [m (native starch) – m (amylopectin)] / [m (amylose) – m (amylopectin)].

Химический состав крахмала квиноа. Крахмал квиноа состоит их двух биополимеров: линейной амилозы и разветвленного амилопектина. Содержание амилозы в крахмале квиноа измеряли различными методами: йодоспектрофотометрией/ потенциометрией (Iodine SP/PT), осаждением конканавалином А (Con A) и хроматографией (SEC, debranch) [15]. Химический состав крахмала квиноа и методы его определения зарубежными исследователями в различные годы представлен в таблице 1.

В результате анализа таблицы 1 установлено, что содержание амилозы, определенное методами связывания йода (Iodine SP/PT), колеблется от 0,30 до 27,70 %. Отмечено, что количество амилозы, рассчитанное путем вычитания амилопектина из всего количества крахмала, было ниже (7,10 %), чем рассчитанное из всего крахмала (25,40 %) (5 строка в таблице 1). По мнению H. Tang и др., такое различие может быть связано с тем, что длинноцепочечная фракция амилопектина квиноа также образует комплекс с йодом, вызывая завышение содержания амилозы. На содержание амилозы, измеренной методом связывания йода, могут влиять липиды квиноа за счет образования амилозо-липидных включений [18]. Таким образом, метод связывания йода (Iodine SP/PT) не является единственным и достоверным для определения содержания амилозы в крахмале квиноа. Широкий диапазон содержания амилозы от 3,50 до 27,00 %, определенный хроматографическим методом (SEC, debranch), подтверждает влияние длинных единичных цепей амилопектина (строки 15–18 в таблице 1).

Метод на основе связывания конканавалина А (Con A) показал, что только разветвленные полисахариды могут образовывать осадки с Con A,

Таблица 2. Полиморфизм и кристаллизация крахмала квиноа

Table 2. Polymorphism and crystallization of quinoa starch

Кол-во иссл. образцов	Метод расчета	Степень кристаллизации, %	Полиморфный тип	Литература
2	Отношение площадей	36,70–38,00	A	[14]
1	Отношение площадей	35,00	A	[18]
5	Отношение площадей	39,00–43,00	A	[29]
9	Отношение площадей	25,30–33,60	A	[30]
2	Отношение площадей	21,46–22,19	A	[13]
1	Подбор пиков	35,40	A	[23]
3	Подбор пиков	36,30–39,60	A	[25]
9	Подбор пиков	30,20–35,70	A	[27]

Метод подбора пиков − степень кристаллизации, рассчитанная на основе результатов подбора пиков кристаллических и аморфных пиков; Метод отношения площадей − степень кристаллизации, рассчитанная на основе относительного соотношения в области пиковой области (кристаллическая область) и фоновой области (аморфная область), разделенных по спектру XRD.

Peak Fitting – degree of crystallizaion calculated based on the peak fitting results for crystalline and amorphous peaks;
Area Ratio Method – degree of crystallization calculated based on the relative ratio of the peak region (crystal region) and background region (amorphous region) separated by XRD.

а это может быть, помимо амилопектина, и разветвленная амилоза. Хотя содержание амилозы, определенное этим методом, составляло 19,70 % (13 строка в таблице 1), в большинстве исследований содержание амилозы было ниже 10 %. Низкое содержание амилозы, определенное методом Con A, может быть связано с завышением значений, полученных методами Iodine SP/PT и SEC debranch или недооценкой метода Con A, вызванного осаждением амилозы.

Таким образом, в настоящее время единого и достоверного метода определения амилозы в крахмале квиноа не существует.

Следует обратить внимание на данные по содержанию белка в квиноа [10, 13, 20, 22, 25]. Широкую известность эта культура приобрела благодаря белковому комплексу, отличающемуся отсутствием глютена. Это позволило использовать ее в диетотерапии для больных целиакией (глютеновая энтеропатия или непереносимость глютена). Белки квиноа представлены двумя основными группа запасных белков: 2S-альбумины и 11S-Chenopodin, имеющие типичную структуру 11-S глобулина.

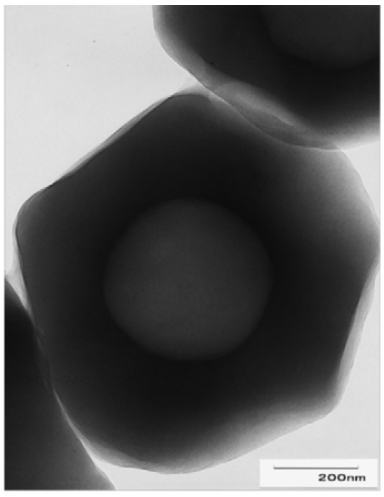


Рисунок 1. Гранула крахмала квиноа

Figure 1. Quinoa starch granule

Структура крахмала квиноа. По данным N. Lindeboom и др., размер гранул крахмала квиноа находится в диапазоне 0,4–2,0 мкм, что значительно меньше, чем у большинства известных крахмалов. Форма крахмальных зерен различная: многоугольная, округлая и неправильная. С помощью просвечивающей электронной микроскопии установлено, что гранула крахмала квиноа имеет однородный наружный слой с высокой плотностью и холмик с низкой плотностью [28]. Гранула крахмала квиноа, полученная с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) в световом поле гелия, представлена на рисунке 1.

Крахмал квиноа может образовывать сферические или продолговатые агрегаты размером от 10 до 30 мкм и содержать 14000–20000 единиц крахмальных гранул. По данным W. A. Atwell и др., образование таких агрегатов может быть обусловлено присутствием белка, т. к. добавление пепсина способствует их дезагрегации [10].

Полиморфизм и кристаллизация крахмала квиноа, определенные различными методами, представлены в таблице 2.

В результате анализа таблицы 2 установлено, что крахмал квиноа относится к полиморфному типу А и имеет степень кристаллизации 21,50–43,00 %. Это на уровне степени кристаллизации пшеничного крахмала (36,4 %), ржи (27,5 %), тритикале (28,6 %), но выше, чем у ячменя (18,9 %).

Таблица 3. Химическая структура крахмала, амилозы и амилопектина квиноа

Table 3. Chemical structure of quinoa starch, amylose, and amylopectin

Количество исследованных образцов	Образцы	λmax	BV	DP	CL	NC	Молекулярная масса	Литература
1	Нативный крахмал	595–604						[31]
2	Нативный крахмал	587–596	0,320–0,410					[28]
1	Нативный крахмал			4600–161000			$1{,}13\times10^{7}$	[17]
1	Нативный крахмал	602–609	0,287–0,305					[18]
5	Амилопектин	595		6675	21	317	$1{,}10\times10^{6}$	[18]
2	Амилопектин	589–590	0,190–0,210	3403–4752	18–20	172–227	$5{,}50\times10^{5}$–$7{,}70\times10^{5}$	[29]
5	Амилоза	663	1,014	921	73	11,6	$1{,}50\times10^{5}$	[18]
1	Амилоза	648–650	0,998–1,101	822–1054	98–119	6–9	$1{,}30\times10^{5}$–$1{,}70\times10^{5}$	[29]

λmax – длина волны с максимальной абсорбцией;
BV – величина абсорбции света с длиной волны 680 Нм при прохождении через ячейку водной смеси крахмала;
DP – степень полимеризации;
CL – средняя длина цепи;
NC − количество единичных цепей на одну молекулу.

λmax – wavelength with maximum absorption;
BV – light absorption value (wavelength = 680 Nm) when passing through the cell of an aquatic solution of starch;
DP – degree of polymerization;
CL – average chain length;
NC – number of single chains per molecule.

Йодосвязывающее поведение крахмала квиноа изучалось многими учеными на протяжении нескольких лет и представлено в таблице 3.

В результате анализа таблицы 3 отмечено, что спектр поглощения йода (BV) и длина волны с максимальной абсорбцией (λmax) крахмала квиноа увеличивается с ростом степени полимеризации (DP). Они находятся в диапазоне 0,287–0,41 и 578–609 Нм соответственно (1–4 строки в таблице 3).

По данным K. Vatanabe и соавторов, спектр поглощения йода (BV) и длина волны с максимальной абсорбцией (λmax) амилозы квиноа находится в пределах 0,998–1,101 и 648–663 Нм соответственно. Это ниже, чем у амилозы ячменя или адзуки (угловатая красная фасоль) [29]. Также, по сравнению с ними, амилоза квиноа имеет более низкую степень полимеризации (DP) и среднюю длину цепи (CL), но больше количество единичных цепей на одну молекулу (NC). Исследования H. Tang и др. и K. Watanabe и др. показали низкое отношение длинной единичной цепи к короткой единичной цепи амилозы квиноа по сравнению с кукурузным крахмалом [18, 29].

Установлено, что спектр поглощения йода (BV) и длина волны с максимальной абсорбцией (λmax) амилопектина квиноа находится в пределах 0,190–0,210 и 589–595 Нм соответственно. Это выше, чем у амилопектинов ячменя и адзуки. Остальные показатели (DP, CL, NC) амилопектина квиноа практически не отличаются от амилопектина ячменя и адзуки [29].

Согласно исследованиям G. Li и его соавтора, а также E. Bertoft амилопектин квиноа отличается высоким количеством коротких единичных цепей с DP < 12 и очень маленьким количеством цепей с DP 13–35 по сравнению с воскообразным кукурузным крахмалом. Отмечено, что соотношение между короткими и длинными цепями амилопектина квиноа выше, чем у амилопектина других крахмалов. Средняя длина цепи амилопектина составляла от 16 до 17 глюкозидных остатков. Внешняя и внутренняя длина цепи амилопектинов квиноа короче, чем у амилопектинов других крахмалов типа A (например, воскообразный кукурузный крахмал) и большинства крахмалов типа B и C (например, картофельный крахмал) [30, 32].

E. Bertoft совместно с другими исследователями классифицировал амилопектин на 4 группы на основе профилей цепей блоков. Амилопектины 1-й группы имели наибольшее количество коротких внутренних единичных цепей и наименьшее количество длинных внутренних единичных цепей. Амилопектины 4-й группы имели прямо противоположную композиционную структуру. Амилопектины 2 и 3 групп были промежуточными между 1 и 4 группами. Амилопектин квиноа имел много общего как с амилопектинами группы 1, так и с амилопектинами группы 2, хотя строго не вписывался ни в одну группу [33].

Таблица 4. Свойства желатинизации крахмала квиноа по DSC

Table 4. DSC gelatinization properties of quinoa starch

Кол-во иссл. образцов	Методы	Содержание крахмала	Скорость сканирования, °С/мин	Диапазон сканирования, °С	T_{or}, °С	T_{pr}, °С	T_{cr}, °С	ΔH_r, Дж/г	Литература
2	DSC	32–40	5		50,60–54,50	60,60–62,60	66,00–71,30	10,30–16,70	[10, 18]
1	DSC	21	10	30−120	59,90	64,50	71,00	11,66	[23]
4	DSC	33	10	30−120	52,20–57,40	54,20– 61,90	67,60– 68,50	7,30–10,50	[28]
2	DSC	21			51,40−51,80	55,70−56,10	64,30−64,50	12,60	[14]
1	DSC	20			54,00	62,20	71,00	11,00	[19]
8	DSC	50	10	40−140	44,60−53,70	50,50−61,70		12,80−15,00	[20]
3	DSC	25	10	25−120	54,25−55,72	61,66−63,01		8,45−9,00	[25]
26	DSC	25	10	25−90	50,10−58,30	56,20−65,00	65,80−74,90	10,80−14,40	[21]
2	DSC	30	10	10−120	64,32−66,61	69,36−71,56	75,78−76,98	4,34−5,10	[13]

DSC − дифференциальная сканирующая калориметрия;
T_{or} − начальная температура;
T_{pr} − пиковая температура;
T_{cr} − конечная температура;
ΔH_r − изменение энтальпии.

DSC – differential scanning calorimetry;
T_{or} – initial temperature;
T_{pr} – peak temperature;
T_{cr} – final temperature;
ΔH_r – change in enthalpy.

Молярное количество А-цепей (DP 6–8) в амилопектине квиноа колеблется в пределах 46,4–5,01 %. Это выше, чем у большинства других амилопектинов. По мнению E. Bertoft, единичный цепной профиль амилопектина квиноа является уникальным среди известных видов крахмала [33].

Физико-химические свойства крахмала. Желатинизация. Для изучения желатинизационных свойств крахмала квиноа зарубежные исследователи использовали дифференциальную сканирующую калориметрию, микроскопическое наблюдение, микроскопию поляризованного света и реометр.

Различия в методах оценки и экспериментальных условиях, представленные в таблице 4, затрудняют сравнения результатов исследований. Вариации свойств желатинизации крахмала квиноа наблюдались даже в рамках одного и того же исследования (строки 4, 6, 8 в таблице 4).

В результате анализа таблицы 4 установлено, что начальная, пиковая и конечная температуры желатинизации крахмала квиноа находятся в интервалах 44,60–66,61, 50,50–71,56 и 64,30–71,30 °С соответственно. Отмечено, что при одинаковом содержании крахмала в квиноа (например, 21 % в строках 2 и 4, 25 % в строках 7 и 8) зарубежными учеными с помощью одного и того же метода получены различные температуры желатинизации крахмала и изменения энтальпии. Это обусловлено либо генетическим разнообразием культуры, либо недооценкой метода.

Сравнительные зарубежные исследования показали, что температура желатинизации крахмала квиноа была ниже, чем у крахмалов амаранта, кукурузы, адзуки, сорго, проса и пшеницы, и была аналогична температуре желатинизации крахмала ячменя [11, 28]. Энтальпия квиноа крахмала ниже, чем у амаранта, кукурузы, крахмала и адзуки, приблизительно одинаковая с сорго и выше, чем у ячменя и пшеничного крахмала [18, 25]. Такие различия в желатинизационных свойствах различных крахмалов можно объяснить различиями в составе и структуре крахмала квиноа [32, 34].

Корреляционный анализ показывает, что температура желатинизации и изменения энтальпии крахмала квиноа были тесно коррелированы с тонкой структурой амилопектина [11, 30]. Высокое количество коротких единичных цепей и низкое количество длинных единичных цепей в амилопектине квиноа могут служить объяснением низких температур желатинизации самого крахмала киноа [30]. Наличие комплексов амилозо-липидных включений, определенных методом дифференциальной сканирующей калориметрии при эндотермическом процессе, протекающем около 100 °С, показало, что изменение энтальпии для амилозо-липидных комплексов крахмала квиноа было ниже, чем в крахмалах ячменя и адзуки.

Набухание и растворимость. C. Li с соавторами и N. Lindeboom с соавторами регистрировали с помощью тестов степень набухания гранул

Таблица 5. Показатели набухания и растворимости крахмала квиноа

Table 5. Indicators of swelling and solubility of quinoa starch

Кол-во иссл. образцов	Показатели	Температура, °С					Литература
		55	65	75	85	95	
8	SP		10,30–20,70	12,60–27,80	15,00–53,80	16,40–52,60	[35]
26	SP	3,33–12,66	12,54–20,31	15,22–22,62	19,04–33,17	16,55–39,89	[21]
2	SP	1,72–2,10	4,95–5,42	7,30–8,54	9,54–10,55	12,53–13,89	[13]
8	S		1,40–3,20	1,80–2,40	2,30–4,40	0,10–4,70	[28]
2	S	1,32–2,72	1,47–2,8	3,14–4,87	4,69–6,28	6,46–7,11	[13]
26	WSI	0,35–6,41	3,24–36,6	6,86–66,65	21,67–75,78	41,39–86,91	[21]
26	AML	0,16–1,59	0,59–3,73	1,42–5,62	2,95–7,38	3,65–8,67	[21]

S − растворимость, %;
WSI − индекс растворимости в воде, %;
SP − сила набухания, г/г;
AML − выщелачивание амилозы, %.

S – solubility, %;
WSI – water solubility index, %;
SP – swelling force, g/g;
AML – amylose leaching, %.

и высвобождение растворимого крахмала во время процесса желатинизации [20, 21, 28]. Крахмалы нагревали при различных температурах. Солюбилизированные и нерастворенные материалы отделяли и взвешивали. Затем рассчитывали силу набухания, индекс растворимости в воде и коэффициент набухания. Показатели набухания и растворимости крахмала квиноа при различных температурах представлены в таблице 5.

В результате анализа таблицы 5 установлено, что с увеличением температуры на каждые 10 °С сила набухания и растворимость крахмала квиноа увеличиваются на 21,5 и 27,0 % соответственно. Индекс растворимости крахмала квиноа при увеличении температуры от 55 до 65 °С резко возрастает в 5–10 раз. При дальнейшем увеличении температуры до 95 °С индекс растворимости возрастает уже в 1,5–2 раза. Отмечено, что выщелачивание амилозы крахмала квиноа в начале нагревания до 75 °С резко возрастает в 1,9–2,7 раз. При нагревании до 95 °С наблюдается медленное увеличение процесса в 1,2–1,6 раз.

Увеличение силы набухания в сторону высокой температуры позволило предположить, что гранулы крахмала квиноа могут лучше сохранять свою целостность при нагревании, чем некоторые другие крахмалы. Например, картофельный. Индекс растворимости в воде и коэффициент набухания крахмала квиноа были отрицательно коррелированы с содержанием амилозы. Это позволяет сделать вывод о том, что амилоза может ограничивать набухание гранул крахмала [20, 21].

Сила набухания крахмала квиноа при низких температурах (например, 55 °С) коррелировала со структурными параметрами амилопектина, такими как соотношение коротких и длинных цепей. Сила набухания, индекс растворимости в воде и коэффициент набухания при более высоких температурах (например, 95 °С) были связаны с внутренней структурой амилопектинов квиноа, такой как молярные количества β-цепей [30]. Полученные результаты позволили предположить роль различных категорий цепей в набухающих свойствах крахмала квиноа, рассмотренных в более ранних исследованиях [32, 34].

Реологические свойства. S. Shrichuvong и др., K. H. Wright и др., W. N. Praznik и др. в своих работах оценивали реологические свойства крахмалов квиноа с помощью вискоанализатора (RVA), вискографа Брабендера (BV) и реометра, оснащенного крахмальной ячейкой [11, 14, 17].

Установлено, что вязкость (PV) крахмала квиноа значительно выше, чем у большинства таких крахмалов, как восковая кукуруза, пшеница, просо, гречиха, белое и красное сорго, амарант [11, 14, 17]. Высокая вязкость крахмала квиноа хорошо коррелирует с высокой силой набухания, описанной выше. Отмечено, что вязкость положительно коррелирует с количеством амилозы и длинноцепочечной фракцией амилопектина. Это может быть связано с тем, что длинные цепи глюканов ограничивают набухание и улучшают способность гранул сохранять свою структуру [21, 36]. Другие исследования выявили параболическую связь между вязкостью и содержанием амилозы [11]. Такие противоречивые результаты показали, что связь между вязкостью и содержанием амилозы является сложной. Другие факторы, такие как размер гранул и сверхдлинные цепи в амилопектине, также могут способствовать высокой вязкости крахмала квиноа [11, 37].

Таблица 6. Свойства ретроградации крахмала квиноа

Table 6. Retrogradation properties of quinoa starch

Кол-во иссл. образцов	Форма образца	Условия хранения	Содержание крахмала, %	T_{or}, °C	T_{pr}, °C	T_{cr}, °C	ΔH_r, Дж/г	R, %	Литература
8	крахмал	4 °C, 4 дня	50					40,80	[20]
3	крахмал	4 °C, 14 дней	25	44,31–45,97	50,81–52,16		0,19–0,40	2,09–5,63	[25]
1	крахмал	4 °C, 6 дней	33	36,20	47,90	61,70	4,20	40,70	[11]

T_{or} – начальная температура;
T_{pr} – пиковая температура;
T_{cr} – конечная температура;
ΔH_r – изменение энтальпии;
R – степень ретроградации, рассчитывается как соотношение между изменением энтальпии ретроградации и желатинизацией крахмала.

T_{or} – initial temperature;
T_{pr} – peak temperature;
T_{cr} – final temperature;
ΔH_r – change in enthalpy;
R – degree of retrogradation, calculated as the ratio between the change in enthalpy of retrogradation and starch gelatinization.

K. N. Jan и др., W. N. Praznik и др., N. Lindeboom и др. проводили исследования крахмала квиноа на колебательную и сдвиговую устойчивость при малых деформациях [13, 17, 20]. Установлено, что устойчивость к сдвигу крахмала квиноа была выше, чем у крахмалов амаранта, восковой кукурузы, проса и гречихи, и была аналогична устойчивости пшеничного крахмала [17]. Высокая устойчивость к сдвигу геля из крахмала квиноа согласуется с предыдущими обсуждениями силы набухания и вязкости. Устойчивость крахмала квиноа к сдвигу положительно коррелировала с содержанием амилозы [20, 38]. Но взаимосвязь между реологическими свойствами и структурой амилозы и амилопектина крахмала квиноа (особенно внутренней структурой) еще предстоит дополнительно изучить.

Ретроградация. Ретроградацию крахмала квиноа изучали несколькими подходами (дифференциальная сканирующая калориметрия, анализ текстуры, синерезис, стабильность замораживания-оттаивания и мутность) [39]. Свойства ретроградации крахмала квиноа, определенные с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии, представлены в таблице 6.

Данные таблицы 6 не позволяют в полной мере провести сравнительный анализ ретроградационных свойств крахмала квиноа.

Так N. Lindeboom с соавторами приводит данные только по степени ретроградации (40,8 %), исследуя при этом самое большое количество опытных образцов с содержанием крахмала 50 % в течение 4 дней при 4 °C [20].

S. Srichuwong и др. на одном опытном образце, содержащим 33 % крахмала, в течение 6 дней при той же температуре получил результат степени ретроградации 40,7 % [11]. Однако исследования M. E. Steffolani и др. трех образцов крахмала квиноа с содержанием крахмала 25 % в течение 2-х недель показали очень низкую степень ретроградации (2,09–5,63) по сравнению с предыдущими исследованиями [25]. Температурные режимы ретроградации крахмала квиноа, определенные учеными, не имеют существенных различий между собой в сравнении с показателем изменения энтальпии (ΔH_r), значения которого отличаются в 10 раз.

Рекристаллизацию амилопектина определяли методом дифференциальной сканирующей калориметрией. На ретроградацию крахмала квиноа существенное влияние оказывает содержание воды и условия хранения. Установлено, что степень ретроградации крахмала квиноа меньше, чем у крахмалов сорго, проса, кукурузы и пшеницы, и выше, чем у крахмала амаранта [11, 25]. Возможная причина низкой степени ретроградации в крахмале квиноа может быть связана с коротким цепями амилопектина, замедляющим образование двойной спиральной структуры [40].

Было обнаружено, что температуры ретроградации отрицательно коррелируют с количеством коротких амилопектиновых цепей DP 6−12 и положительно коррелируют с количеством длинных единичных цепей DP 13−24 [11].

Мутность. Изменение мутности или прозрачности крахмального геля может быть использовано для изучения процесса ретроградации. Крахмальный гель квиноа с меньшим количеством амилозы показал низкую мутность [13]. Как и другие аспекты ретроградации, мутность может зависеть от целого ряда факторов, таких как набухание и остатки гранул, выщелачивание амилозы и амилопектина, распределение длины цепи амилозы и амилопектина

Таблица 7. Восприимчивость крахмала квиноа к ферментам

Table 7. Susceptibility of quinoa starch to enzymes

Кол-во иссл. образ.	Формы образца	Тип фермента	Температура и pH	Инкубационный период, ч	Результаты гидролиза	Литература
1	Сырой крахмал	Грибковая α-амилаза (fungal α-amylase)	30 °C, pH 4,7	24	При ферментативном гидролизе через 24 ч растворяется 3,76 % крахмала	[22]
4	Сырой крахмал	Глюкоамилаза *Aspergillus* sp. K27 (Glucoamylase of *Aspergillus* sp. K27)	40 °C, pH 5,5	3	Степень гидролиза достигла 54–66 % после первого часа; крахмал практически полностью гидролизовался через 3 ч	[39]
1	Сырой крахмал	β-амилаза и изоамилаза (β-amylase и isoamylase)	37 °C, pH 4,8	30	Первоначально наблюдалась высокая скорость гидролиза (0–2 ч), затем медленная до 30 ч. Через первые 2 часа более 70 % крахмала гидролизовалось, и крахмал полностью гидролизовался через 30 ч	[18]
26	Сырой крахмал	α-амилаза поджелудочной железы свиньи (porcine pancreatic α-amylase)	37 °C, pH 6,9	24	Степень гидролиза составила 47,5–80,7 и 82,0–104,4 % через 1 и 24 ч соответственно	[36]
1	Сырой крахмал	α-амилаза и амилоглюкозидаза поджелудочной железы свиньи (porcine pancreas α-amylase and amyloglucosidase)	37 °C, pH 6,0	4	Степень гидролиза крахмала через 4 ч инкубации составила 90 %	[11]

и незначительные компоненты, которые могут маскировать присущую крахмалу мутность [41].

Устойчивость к синерезису и замораживанию-оттаиванию. По мере того как ретроградация прогрессирует, вода вытесняется из крахмального геля за счет рекристаллизации и повторного объединения молекул крахмала. Синерезис оценивается по количеству воды, отделенной от хранения геля, при низкой температуре (например, 4 °C) или от процесса замораживания-оттаивания. Концентрация геля, термическая история и параметры центрифугирования могут существенно повлиять на синерезис крахмального геля.

N. Lindeboom с соавторами обнаружил различия в стабильности замораживания-оттаивания крахмалов 8 видов квиноа с синерезисом после первого цикла в диапазоне от 0 до 35 %. Таким образом, хорошая морозостойкость крахмального геля квиноа может быть достигнута путем выбора подходящего сорта квиноа [19, 39]. Не было обнаружено корреляций между стабильностью замораживания-оттаивания и содержанием амилозы в крахмале квиноа, в то время как корреляции между синерезисом или свободнозернистой стабильностью оттаивания и структурой амилопектина еще не изучены [20, 42].

Восприимчивость к ферментам. Установлено, что крахмал квиноа обладает более высокой чувствительностью к ферментам, чем большинство других крахмалов, таких как ячмень, адзуки, кукуруза, просо, пшеница и сорго [11, 18, 28]. В таблице 7 представлены результаты восприимчивости крахмала квиноа при обработке его различными ферментами.

В качестве основной причины высокой восприимчивости к ферментам была предложена высокая удельная поверхность крахмала киноа [18, 21, 28]. K. Lorenz предположил, что ферментативная восприимчивость крахмала квиноа отрицательно коррелирует с содержанием амилозы. Таким образом, амилоза может снижать восприимчивость фермента на ранней стадии гидролиза [22].

Степень гидролиза фермента после 1 ч инкубации положительно коррелировала с молярным количеством A_{fp}-цепей и количеством коротких единичных цепей амилопектина (DP 6–12) и в то же время отрицательно коррелировала со средней длиной цепи амилопектина [30]. Это происходит потому, что короткие единичные цепи амилопектина, такие как A_{fp}-цепи, слишком коротки, чтобы образовывать двойные спирали, вызывая дефекты в кристаллической структуре. Это делает крахмал более восприимчивым к атаке ферментов [39].

Отмечено, что степень гидролиза крахмала квиноа через 24 ч положительно коррелирована с молярным количеством кристаллических α-цепей, которые образуют кристаллические ламели (Acrystal) [30]. Это может свидетельствовать о том, что скорость ферментативного гидролиза зависит от количества

коротких цепей, в то время как перевариваемый крахмал в большей степени связан с количеством цепей, образующих кристаллическую область.

Выводы

В настоящем обзоре обобщены многолетние зарубежные исследования крахмала квиноа из более чем 30 литературных источников, где представлены следующие результаты:

− получение крахмала из зерна квиноа возможно только в лабораторных условиях различными методами измельчения и замачивания;

− большинство исследований указывает на содержание амилозы в крахмале квиноа до 10 %;

− амилопектин крахмала квиноа отличается высоким количеством коротких единичных цепей со степенью полимеризации меньше 12 и очень низким количеством длинных единичных цепей со степенью полимеризации от 13 до 35;

− соотношение между короткими и длинными цепями амилопектина крахмала квиноа выше, чем у других крахмалов;

− размер гранул крахмала квиноа находится в диапазоне 0,4–2,0 мкм, что значительно меньше, чем у большинства известных крахмалов;

− крахмал квиноа относится к полиморфному типу А и имеет степень кристаллизации 21,50–43,00 %, что примерно на уровне степени кристаллизации пшеничного крахмала (36,4 %), ржи (27,5 %), тритикале (28,6 %), но выше, чем у ячменя (18,9 %);

− температура желатинизации и энтальпия крахмала квиноа ниже, чем у крахмала амаранта, кукурузы, сорго, просо и пшеницы, что обусловлено тонкой структурой амилопектина;

− установлено, что с увеличением температуры на каждые 10 °С сила набухания и растворимость крахмала квиноа увеличивается на 21,5–27,0 %. Индекс растворимости крахмала квиноа при увеличении от 55 до 65 °С резко возрастет в 5–10 раз;

− вязкость крахмала квиноа выше, чем у большинства известных крахмалов, что коррелирует с высокой силой набухания;

− различные зарубежные данные не позволяют в полной мере провести сравнительный анализ ретроградационных свойств крахмала квиноа;

− крахмал квиноа обладает более высокой чувствительностью к ферментам, чем большинство известных крахмалов, что обусловлено высокой удельной поверхностью крахмала.

Однако в направлении изучения процесса выделения, морфологической структуры и физико-химических свойств крахмала зерна квиноа осталось еще много вопросов, ответы на которые будут получены и от российских ученых.

Таким образом, в работе представлены результаты научных исследований о способах выделения крахмала из квиноа, его химическом составе и методах определения амилозы; о структуре крахмальных зерен, их форме, типе и степени кристаллизации; о физико-химических свойствах крахмала, включающих желатинизацию, набухание, растворимость, реологические свойства, ретроградацию, изменения прозрачности крахмального геля и восприимчивость к ферментам, которые будут определять выбор технологических параметров при разработке рецептур и технологий продуктов питания, в том числе специализированного назначения для людей с непереносимостью глютена (целиакией). Дальнейшие исследования химического состава квиноа позволят удовлетворить возрастающий спрос на данную продукцию и расширить ассортимент отечественного рынка безглютеновых продуктов питания.

Критерии авторства

М. Айдер предоставил доступ к зарубежным статьям. Т. В. Орлова изучала, переводила зарубежную литературу. Авторы совместно проанализировали теоретические и экспериментальные данные и представили обобщенные результаты химического состава, морфологической структуры и физико-химических свойств крахмала зерна квиноа.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

M. Aider provided access to foreign articles. T.V. Orlova studied and translated foreign literature. The authors analyzed the theoretical and experimental data together, as well as presented and summarized results of the chemical composition, morphology, and structure of physical and chemical properties of the starch grain quinoa.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Крупнов, В. А. Производство киноа в Перу / В. А. Крупнов // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 2, № 5. – С. 147–150.

2. Breeding perspectives of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Moscow region / P. Kezimana, E. V. Romanova, M. S. Gins [et al.] // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2020. – Т. 45, № 3. – С. 19–22. https://doi.org/10.32935/2221-7312-2020-45-2-19-22.

3. Наливайко, Д. С. Исследование химического состава зерна киноа, реализуемого в уральском регионе / Д. С. Наливайко, Н. Ю. Меркулова // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2015. – Т. 31, № 2. – С. 63–65.

4. Бец, Ю. А. Разработка сдобного изделия с применением цельнозерновой муки киноа белой / Ю. А. Бец, Н. Л. Наумова // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2020. – № 51. – С. 35–39. https://doi.org/10.17217/2079-0333-2020-51-35-39.

5. Рязанцева, А. О. К вопросу об использовании семян киноа в технологии мясных продуктов комбинированного состава / А. О. Рязанцева, Е. Е. Курчаева, Н. А. Каширина // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2017. – Т. 9, № 2. – С. 80–87.

6. Елисеева, Л. Г. Формирование показателей качества и пищевой ценности пшеничного хлеба с применением муки киноа / Л. Г. Елисеева, Е. В. Жиркова, Д. С. Кокорина // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2019. – Т. 368–369, № 2–3. – С. 35–38.

7. Щеколдина, Т. В. Инновации в технологии производства безглютеновых продуктов питания / Т. В. Щеколдина. – Уфа : Аэтерна, 2019. – 98 с.

8. Щеколдина, Т. В. Изучение биологической ценности семян квиноа (*Chenopodium quinoa* Willd.) для создания специализированных продуктов питания / Т. В. Щеколдина, Е. А. Черниховец, А. Г. Христенко // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – Т. 42, № 3. – С. 90–97.

9. Development of films based on quinoa (*Chenopodium quinoa*: Willdenow) starch / P. C. Araujo-Farro, G. Podadera, P. J. A. Sobral [et al.] // Carbohydrate Polymers. – 2010. – Vol. 81, № 4. – P. 839–848. https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2010.03.051.

10. Characterization of quinoa starch / W. A. Atwell, B. M. Patrick, L. A. Johnson [et al.] // Cereal Chemistry. – 1983. – Vol. 60, № 1. – P. 9–11.

11. Physicochemical properties and starch digestibility of whole grain sorghums, millet, quinoa and amaranth flours, as affected by starch and non-starch constituents / S. Srichuwong, D. Curti, S. Austin [et al.] // Food Chemistry. – 2017. – Vol. 233. – P. 1–10. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.019.

12. Comparison of protein extraction solutions for rice starch isolation and effects of residual protein content on starch pasting properties / S. T. Lim, J. Lee, D. Shin [et al.] // Starch/Stärke. – 1999. – Vol. 51, № 4. – P. 120–125. https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-379X(199904)51:4<120::AID-STAR120>3.0.CO;2-A.

13. Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties / K. N. Jan, P. S. Panesar, J. C. Rana [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2017. – Vol. 102. – P. 315–322. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.04.027.

14. Isolation and characterization of *Atriplex hortensis* and sweet *Chenopodium quinoa* starches / K. H. Wright, K. C. Huber, D. J. Fairbanks [et al.] // Cereal Chemistry. – 2002. – Vol. 79, № 5. – P. 715–719. https://doi.org/10.1094/CCHEM.2002.79.5.715.

15. Li, G. Quinoa starch: structure, properties, and applications / G. Li, F. Zhu // Carbohydrate Polymers. – 2018. – Vol. 181. – P. 851–861. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.067.

16. Starch-based spherical aggregates: Screening of small granule sized starches for entrapment of a model flavouring compound vanillin / T. A. Tari, U. S. Annapure, R. S. Singhal [et al.] // Carbohydrate Polymers. – 2013. – Vol. 53, № 1. – P. 45–51. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00293-X.

17. Molecular background of technological properties of selected starches / W. Praznik, N. Mundigler, A. Kogler // Starch/Stärke. – 1999. – Vol. 51, № 6. – P. 197–211. https://doi.org/10.1002/(sici)1521-379x(199906)51:6<197::aid-star197>3.3.co;2-b.

18. Tang, H. Characterization of storage starches from quinoa, barley and adzuki seeds / H. Tang, K. Watanabe, T. Mitsunaga // Carbohydrate Polymers. – 2002. – Vol. 49, № 1. – P. 13–22. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00292-2.

19. Food components in fractions of quinoa seed / H. Ando, Y. Chen, H. Tang [et al.] // Food Science and Technology Research. – 2002. – Vol. 8, № 1. – P. 80–84. https://doi.org/10.3136/fstr.8.80.

20. Characteristics of starch from eight quinoa lines / N. Lindeboom, P. R. Chang, K. C. Falk [et al.] // Cereal Chemistry. – 2005. – Vol. 82, № 2. – P. 216–222. https://doi.org/10.1094/CC-82-0216.

21. Li, G. Physicochemical properties of quinoa starch / G. Li, S. Wang, F. Zhu // Carbohydrate Polymers. – 2016. – Vol. 137. – P. 328–338. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.064.

22. Lorenz, K. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) starch − physicochemical properties and functional characteristics / K. Lorenz // Starch/Stärke. – 1990. – Vol. 42, № 3. – P. 81–86. https://doi.org/10.1002/star.19900420302.

23. Qian, J. Characterization of *Amaranthus cruentus* and *Chenopodium quinoa* starch / J. Qian, M. Kuhn // Starch/Stärke. – 1999. – Vol. 51, № 4. – P. 116–120. https://doi.org/10.1002/(sici)1521-379x(199904)51:4<116::aid-star116>3.3.co;2-i.

24. Linsberger-Martin, G. Effects E. Effects of high hydrostatic pressure on the RS content of amaranth, quinoa and wheat starch / G. Linsberger-Martin, B. Lukasch, E. Berghofer // Starch/Stärke. – 2012. – Vol. 64, № 2. – P. 157–165. https://doi.org/10.1002/star.201100065.

25. Steffolani, M. E. Study of the physicochemical and functional characterization of quinoa and kañiwa starches / M. E. Steffolani, A. E. León, G. T. Pérez // Starch/Stärke. – 2013. – Vol. 65, № 11–12. – P. 976–983. https://doi.org/10.1002/star.201200286.

26. Characterisation of nutrient profile of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*), and purple corn (*Zea mays* L.) consumed in the North of Argentina: Proximates, minerals and trace elements / A. C. Nascimento, C. Mota, I. Coelho [et al.] // Food Chemistry. – 2014. – Vol. 148. – P. 420–426. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.155.

27. Li, G. Molecular structure of quinoa starch / G. Li, F. Zhu // Carbohydrate Polymers. – 2017. – Vol. 158. – P. 124–132. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.12.001.

28. Lindeboom, N. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: A review / N. Lindeboom, P. R. Chang, R. T. Tyler // Starch/Stärke. – 2004. – Vol. 56, № 3–4. – P. 89–99. https://doi.org/10.1002/star.200300218.

29. Molecular structural characteristics of quinoa starch / K. Watanabe, N. L. Peng, H. Tang [et al.] // Food Science and Technology Research. – 2007. – Vol. 13, № 1. – P. 73–76. https://doi.org/10.3136/fstr.13.73.

30. Li, G. Amylopectin molecular structure in relation to physicochemical properties of quinoa starch / G. Li, F. Zhu // Carbohydrate Polymers. – 2017. – Vol. 164. – P. 396–402. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.02.014.

31. Ruales, J. Properties of starch and dietary fibre in raw and processed quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds / J. Ruales, B. M. Nair // Plant Foods for Human Nutrition. – 1994. – Vol. 45, № 3. – P. 223–246. https://doi.org/10.1007/BF01094092.

32. Internal unit chain composition in amylopectins / E. Bertoft, K. Piyachomkwan, P. Chatakanonda [et al.] // Carbohydrate Polymers. – 2008. – Vol. 74, № 3. – P. 527–543. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.04.011.

33. Bertoft, E. On the nature of categories of chains in amylopectin and their connection to the super helix model / E. Bertoft // Carbohydrate Polymers. – 2004. – Vol. 57, № 2. – P. 211–224. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.04.015.

34. Srichuwong, S. Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures: a review / S. Srichuwong, J. L. Jane // Food Science and Biotechnology. – 2007. – Vol. 16, № 5. – P. 663–674. https://doi.org/10.1007/s13197-018-3530-2.

35. Granule-bound starch synthase I (GBSSI) in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and its relationship to amylose content / N. Lindeboom, P. R. Chang, R. T. Tyler [et al.] // Cereal Chemistry. – 2005. – Vol. 82, № 3. – P. 246–250. https://doi.org/10.1094/CC-82-0246.

36. Li, G. Physicochemical properties of quinoa flour as affected by starch interactions / G. Li, F. Zhu // Food Chemistry. – 2017. – Vol. 221. – P. 1560–1568. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.137.

37. Debet, M. R. Why do gelatinized starch granules not dissolve completely? Roles for amylose, protein, and lipid in granule "ghost" integrity / M. R. Debet, M. J. Gidley // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2007. – Vol. 55, № 12. – P. 4752–4760. https://doi.org/10.1021/jf070004o.

38. Li, G. Effect of high pressure on rheological and thermal properties of quinoa and maize starches / G. Li, F. Zhu // Food Chemistry. – 2018. – Vol. 241. – P. 380–386. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.088.

39. Vamadevan, V. Structure-function relationships of starch components / V. Vamadevan, E. Bertoft // Starch/Stärke. – 2015. – Vol. 67, № 1–2. – P. 55–68. https://doi.org/10.1002/star.201400188.

40. Zhu, F. Isolation, composition, structure, properties, modifications, and uses of yam starch / F. Zhu // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2015. – Vol. 14, № 4. – P. 357–386. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12134.

41. Starch retrogradation: A comprehensive review / S. Wang, C. Li, L. Copeland [et al.] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2015. – Vol. 14, № 5. – P. 568–585. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12143.

42. Studies on *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus paniculatas* starch as biodegradable fillers in LDPE films / N. T. Ahamed, R. S. Singhal, P. R. Kulkarni [et al.] // Carbohydrate Polymers. – 1996. – Vol. 31, № 3. – P. 157–160. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(96)00019-7.

References

1. Krupnov VA. Production of quinoa in Peru. Modern science success. 2017;2(5):147–150. (In Russ.).

2. Kezimana P, Romanova EV, Gins MS, Marakhova AI, Vanyurikhina AF. Breeding perspectives of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Moscow region. Theoretical and Applied Problems of Agro-industry. 2020;45(3):19–22. https://doi.org/10.32935/2221-7312-2020-45-2-19-22.

3. Nalivayko DS, Merkulova NYu. The study of the chemical composition of grain quinoa sold in the Ural region. Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff. 2015;31(2):63–65. (In Russ.).

4. Betz YuA, Naumova NL. Pastry product development with application of wholegrain quinoa white flour. Bulletin of Kamchatka State Technical University. 2020;(51):35–39. (In Russ.). https://doi.org/10.17217/2079-0333-2020-51-35-39.

5. Ryazantseva AO, Kurchaeva EE, Kashirina NA. To a question of use of seeds of a kino in technology of meat products of the combined structure. Tekhnologii i tovarovedenie sel′skokhozyaystvennoy produktsii [Technology and commodity science of agricultural products]. 2017;9(2):80–87. (In Russ.).

6. Eliseeva LG, Zhirkova EV, Kokorina DS. Formation of the quality indicators and nutritional value of wheat bread with application of flour quinoa. News of institutes of higher education. Food technology. 2019;368–369(2–3):35–38. (In Russ.).

7. Shchekoldina TV. Innovatsii v tekhnologii proizvodstva bezglyutenovykh produktov pitaniya [Innovations in gluten-free food technology]. Ufa: Aehterna; 2019. 98 p. (In Russ.).

8. Shchekoldina TV, Chernihovets EA, Hristenko AG. The study of biological value of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa*) to create specialized food products. Food Processing: Techniques and Technology. 2016;42(3):90–97. (In Russ.).

9. Araujo-Farro PC, Podadera G, Sobral PJA, Menegalli FC. Development of films based on quinoa (*Chenopodium quinoa*: Willdenow) starch. Carbohydrate Polymers. 2010;81(4):839–848. https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2010.03.051.

10. Atwell WA, Patrick BM, Johnson LA, Glass RW. Characterization of quinoa starch. Cereal Chemistry. 1983;60(1):9–11.

11. Srichuwong S, Curti D, Austin S, King R, Lamothe L, Gloria-Hernandez H. Physicochemical properties and starch digestibility of whole grain sorghums, millet, quinoa and amaranth flours, as affected by starch and non-starch constituents. Food Chemistry. 2017;233:1–10. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.019.

12. Lim ST, Lee J, Shin D, Lim HS. Comparison of protein extraction solutions for rice starch isolation and effects of residual protein content on starch pasting properties. Starch/Stärke. 1999;51(4):120–125. https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-379X(199904)51:4<120::AID-STAR120>3.0.CO;2-A.

13. Jan KN, Panesar PS, Rana JC, Singh S. Structural, thermal and rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties. International Journal of Biological Macromolecules. 2017;102:315–322. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.04.027.

14. Wright KH, Huber KC, Fairbanks DJ, Huber CS. Isolation and characterization of *Atriplex hortensis* and sweet *Chenopodium quinoa* starches. Cereal Chemistry. 2002;79(5):715–719. https://doi.org/10.1094/CCHEM.2002.79.5.715.

15. Li G, Zhu F. Quinoa starch: structure, properties, and applications. Carbohydrate Polymers. 2018;181:851–861. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.067.

16. Tari TA, Annapure US, Singhal RS, Kulkarni PR. Starch-based spherical aggregates: Screening of small granule sized starches for entrapment of a model flavouring compound vanillin. Carbohydrate Polymers. 2013;53(1):45–51. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00293-X.

17. Praznik W, Mundigler N, Kogler A, Pelzl B, Huber A, Wollendorfer M. Molecular background of technological properties of selected starches. Starch/Stärke. 1999;51(6):197–211. https://doi.org/10.1002/(sici)1521-379x(199906)51:6<197::aid-star197>3.3.co;2-b.

18. Tang H, Watanabe K, Mitsunaga T. Characterization of storage starches from quinoa, barley and adzuki seeds. Carbohydrate Polymers. 2002;49(1):13–22. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00292-2.

19. Ando H, Chen Y, Tang H, Shimizu M, Watanabe K, Mitsunaga T. Food components in fractions of quinoa seed. Food Science and Technology Research. 2002;8(1):80–84. https://doi.org/10.3136/fstr.8.80.

20. Lindeboom N, Chang PR, Falk KC, Tyler RT. Characteristics of starch from eight quinoa lines. Cereal Chemistry. 2005;82(2):216–222. https://doi.org/10.1094/CC-82-0216.

21. Li G, Wang S, Zhu F. Physicochemical properties of quinoa starch. Carbohydrate Polymers. 2016;137:328–338. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.064.

22. Lorenz K. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) starch − physicochemical properties and functional characteristics. Starch/Stärke. 1990;42(3):81–86. https://doi.org/10.1002/star.19900420302.

23. Qian J, Kuhn M. Characterization of *Amaranthus cruentus* and *Chenopodium quinoa* starch. Starch/Stärke. 1999;51(4):116–120. https://doi.org/10.1002/(sici)1521-379x(199904)51:4<116::aid-star116>3.3.co;2-i.

24. Linsberger-Martin G, Lukasch B, Berghofer E. Effects of high hydrostatic pressure on the RS content of amaranth, quinoa and wheat starch. Starch/Stärke. 2012;64(2):157–165. https://doi.org/10.1002/star.201100065.

25. Steffolani ME, León AE, Pérez GT. Study of the physicochemical and functional characterization of quinoa and kañiwa starches. Starch/Stärke. 2013;65(11–12):976–983. https://doi.org/10.1002/star.201200286.

26. Nascimento AC, Mota C, Coelho I, Gueirao S, Santos M, Matos AS, et al. Characterisation of nutrient profile of quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*), and purple corn (*Zea mays* L.) consumed in the North of Argentina: Proximates, minerals and trace elements. Food Chemistry. 2014;148:420–426. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.155.

27. Li G, Zhu F. Molecular structure of quinoa starch. Carbohydrate Polymers. 2017;158:124–132. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.12.001.

28. Lindeboom N, Chang PR, Tyler RT. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: A review. Starch/Stärke. 2004;56(3–4):89–99. https://doi.org/10.1002/star.200300218.

29. Watanabe K, Peng NL, Tang H, Mitsunaga T. Molecular structural characteristics of quinoa starch. Food Science and Technology Research. 2007;13(1):73–76. https://doi.org/10.3136/fstr.13.73.

30. Li G, Zhu F. Amylopectin molecular structure in relation to physicochemical properties of quinoa starch. Carbohydrate Polymers. 2017;164:396–402. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.02.014.

31. Ruales J, Nair BM. Properties of starch and dietary fibre in raw and processed quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. Plant Foods for Human Nutrition. 1994;45(3):223–246. https://doi.org/10.1007/BF01094092.

32. Bertoft E, Piyachomkwan K, Chatakanonda P, Sriroth K. Internal unit chain composition in amylopectins. Carbohydrate Polymers. 2008;74(3):527–543. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.04.011.

33. Bertoft E. On the nature of categories of chains in amylopectin and their connection to the super helix model. Carbohydrate Polymers. 2004;57(2):211–224. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.04.015.

34. Srichuwong S, Jane JL. Physicochemical properties of starch affrcted by molecular composition and structures: a review. Food Science and Biotechnology. 2007;16(5):663–674. https://doi.org/10.1007/s13197-018-3530-2.

35. Lindeboom N, Chang PR, Tyler RT, Chibbar RN. Granule-bound starch synthase I (GBSSI) in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and its relationship to amylose content. Cereal Chemistry. 2005;82(3):246–250. https://doi.org/10.1094/CC-82-0246.

36. Li G, Zhu F. Physicochemical properties of quinoa flour as affected by starch interactions. Food Chemistry. 2017;221:1560–1568. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.137.

37. Debet MR, Gidley MJ. Why do gelatinized starch granules not dissolve completely? Roles for amylose, protein, and lipid in granule "ghost" integrity. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007;55(12):4752–4760. https://doi.org/10.1021/jf070004o.

38. Li G, Zhu F. Effect of high pressure on rheological and thermal properties of quinoa and maize starches. Food Chemistry. 2018;241:380–386. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.088.

39. Vamadevan V, Bertoft E. Structure-function relationships of starch components. Starch/Stärke. 2015;67(1–2):55–68. https://doi.org/10.1002/star.201400188.

40. Zhu F. Isolation, composition, structure, properties, modifications, and uses of yam starch. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2015;14(4):357–386. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12134.

41. Wang S, Li C, Copeland L, Niu Q, Wang S. Starch retrogradation: A comprehensive review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2015;14(5):568–585. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12143.

42. Ahamed NT, Singhal RS, Kulkarni PR, Kale DD, Pal M. Studies on *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus paniculatas* starch as biodegradable fillers in LDPE films. Carbohydrate Polymers. 1996;31(3):157–160. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(96)00019-7.

2021 Т. 51 № 1 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-113-124
УДК 663.481

Оригинальная статья
http://fptt.ru

Разработка инновационного способа получения биологически активных соединений пивной дробины

К. В. Кобелев, М. В. Гернет, И. Н. Грибкова*

Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности, Москва, Россия

Дата поступления в редакцию: 21.01.2021

Дата принятия в печать: 22.02.2021

**e-mail: institut-beer@mail.ru*

© К. В. Кобелев, М. В. Гернет, И. Н. Грибкова, 2021

Аннотация.

Введение. Пивная дробина является отходом пивоваренного производства и содержит в себе ценные биологически активные вещества, извлечение которых затруднено по причине присутствия различных полимеров, осложняющих экстракцию. Исследование направлено на решение проблемы использования отходов производства, накапливающихся в больших количествах и требующих материальных затрат на переработку или утилизацию. Целью работы является разработка технологических подходов глубокой переработки пивной дробины как источника вторичных сырьевых ресурсов (ВСР) для получения экстрактов, обогащенных полифенольными соединениями.

Объекты и методы исследования. Солодовая пивная дробина, подвергнутая обработке с помощью ЭХА-активированной воды (католитом с pH 9,6 ± 0,1), с последующим ферментативным гидролизом целлюлолитическими ферментными препаратами и экстракцией полярным растворителем образовавшихся свободных полифенольных веществ. В работе применялись общепринятые методы оценки содержания различных биологически активных веществ.

Результаты и их обсуждение. Исследование органических экстрагентов для извлечения из дробины полифенольных соединений различных групп показало перспективность применения 70 % водно-этанольного раствора при соотношении дробина:экстрагент 2:1, температуре процесса 50 ± 2 °С и длительности 60 ± 5 мин. Применение 70 % об. дистиллята пива при прочих условиях позволило извлечь из матрицы дробины фенольные кислоты, флавоноид рутин, незаменимые и заменимые аминокислоты, некрахмальный полисахарид β-глюкан. Обработка дробины 1М раствором NaOH позволила получить вязкие гидролизаты, обогащенные флавоноидами рутин и кверцетин, в отличие от кислотного гидролиза. Комбинированное применение ЭХА-обработанной воды (католита с pH 9,6 ± 0,1) в течение 24 ± 0,05 ч, совмещенное с биокатализом ферментным препаратом Вискофло MG в течение 2 ± 0,05 ч, позволило получить обогащенные экстракты пивной дробины с повышенным содержанием фенольных кислот и альдегидов, а также флавоноида рутин.

Выводы. Проведенные исследования позволили сделать заключение о механизме гидролитического распада некрахмальных полисахаридов пивной дробины с учетом содержащихся соединений в экстрактах. Полученные обогащенные различными фенольными соединениями гидролизаты дробины можно использовать в различных пищевых технологиях (например, в технологии ферментированных напитков).

Ключевые слова. Пиво, зерно, ЭХА-вода, биокатализ, экстракция, фенольные соединения

Финансирование. Работа выполнена на базе Всероссийского научно-исследовательского института пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности (ВНИИПБиВП).

Для цитирования: Кобелев, К. В. Разработка инновационного способа получения биологически активных соединений пивной дробины / К. В. Кобелев, М. В. Гернет, И. Н. Грибкова // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 113–124. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-113-124.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

Innovative Method for Obtaining Biologically Active Compounds from Brewery Mash

Konstantin V. Kobelev, Marina V. Gernet, Irina N. Gribkova*

All-Russian Research Institute of Brewing, Non-alcoholic and Wine Industry, Moscow, Russia

Received: January 21, 2021 Accepted: February 22, 2021

*e-mail: institut-beer@mail.ru
© K.V. Kobelev, M.V. Gernet, I.N. Gribkova, 2021

Abstract.
Introduction. Brewery mash, or brewer's spent grain (BSG), is a by-product of brewing industry. It is known to contain valuable biologically active substances. However, their extraction is complicated by the presence of various polymers. The research featured various physicochemical methods for obtaining valuable biological compounds from brewery waste. The new method modified complex non-starch polysaccharides, lignin, arabinoxylans, and other high-molecular compounds associated with phenolic compounds. The research objective was to solve the problem of recycling industrial by-products that accumulate in large quantities and require expensive processing or disposal. The paper introduces new technological approaches for deep processing of BSG as a source of secondary raw materials in order to obtain extracts fortified with polyphenolic compounds.
Study objects and methods. The research featured BSG from malt subjected to treatment with ECA-activated water (catholyte with pH 9.6 ± 0.1), followed by enzymatic hydrolysis of cellulolytic enzyme preparations and extraction with a polar solvent of the resulting free polyphenolic substances. The experiments were based on standard methods for assessing the content of various biologically active substances.
Results and discussion. A 70% water-ethanol solution proved to be optimal at the BSG:extractant ratio of 2:1, process temperature = 50 ± 2°C, and extraction time = 60 ± 5 min. Under the same conditions, 70 %vol. of beer distillate made it possible to extract phenolic acids, flavonoid rutin, irreplaceable and nonessential amino acids, and non-starch polysaccharide β-glucan from the BSG matrix. The BSG treatment with 1M NaOH solution delivered viscous hydrolysates fortified with flavonoids rutin and quercetin, which did not happen when acid hydrolysis was used. The combined use of ECA-treated water (catholyte with pH 9.6 ± 0.1) for 24 ± 0.05 h, combined with biocatalysis with the enzyme preparation Viskoflo MG for 2 ± 0.05 h, made it possible to obtain BSG extracts with a high content of phenolic acids and aldehydes, as well as flavonoid rutin.
Conclusion. The study revealed the mechanism of hydrolytic decomposition of BSG non-starch polysaccharides, considering the compounds contained in the extracts. The BSG hydrolysates fortified with various phenolic compounds can be used in various food technologies, e.g., in fermented drinks.

Keywords. Beer, grain, ECA-water, biocatalysis, extraction, phenolic compounds

Funding. The research was performed on the premises of the All-Russian Research Institute of Brewing, Non-alcoholic and Wine Industry (VNIIPBiVP).

For citation: Kobelev KV, Gernet MV, Gribkova IN. Innovative Method for Obtaining Biologically Active Compounds from Brewery Mash. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):113–124. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-113-124.

Введение

Пивная дробина является вторичным сырьевым ресурсом в технологии пивоварения, утилизация или переработка которой актуальны. Во-первых, это дает возможность дальнейшего применения биологически активных соединений, не задействованных по причине затрудненного извлечения из матрицы дробины. Во-вторых, позволяет решить вопросы экологизации производства, чему в последнее время уделяется много внимания по ряду причин [1].

Согласно Постановлению Правительства РФ от 03.03.2017 № 255 (ред. от 17.08.2020) «Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду» производитель вынужден нести дополнительные экономические затраты за отчисление налогов на утилизацию различных отходов производства. Это снижает рентабельность предприятия и повышает актуальность проблемы переработки пивной дробины, т. е. создания малоотходного производства.

Дробина является ценным зерновым сырьем с точки зрения ее дальнейшей переработки для различных нужд. Отмечается, что нативная дробина не токсична, но в ней содержится малое количество витаминов. Также нативная пивная дробина имеет высокое содержание белковых веществ (12–15 %), углеводов (до 70 %), липидов, жирнокислотный состав которых биологически высокоэффективен [2]. Поэтому одним из способов переработки дробины является ее сушка и применение в кормлении скота и домашних животных [3].

В состав углеводов пивной дробины входят высокомолекулярные некрахмальные полисахариды – целлюлоза, лигнин, арабиноксиланы, остатки нерастворенного крахмала; азотистые вещества представлены белками и аминокислотами; в составе присутствуют свободные и связанные фенольные соединения различной молекулярной массы и др. [4].

Поэтому исследования, направленные на изучение возможности переработки пивной дробины различными физико-химическими и биотехнологическими способами, а также получения увеличенного выхода различных связанных в растительной матрице дробины соединений, значимы.

Для нужд пищевой и комбикормовой промышленности посредством применения биокатализаторов различного действия удается достичь накопления в гидролизатах различных низкомолекулярных соединений. Так, применение биокатализаторов целлюлолитического действия, позволяющее накопить в жидкой фазе смеси из 9 и более глюкозных остатков некрахмальных углеводов или декстринов различных моносахаров (арабиноза и ксилоза), муравьиную, уксусную и левулиновую кислоты, позволило обогатить белком гидролизаты за счет последующего выращивания микроорганизмов-продуцентов белков [5–8].

С помощью кислотного гидролиза, в том числе комбинированного с обработкой ЭХА-водой (катионитом и анионитом) некрахмальных полисахаридов, из дробины получают гидролизаты, обогащенные ксилозой для применения в технологии получения подсластителя ксилита [9].

Щелочной гидролиз позволяет добиться высвобождения сахаров и небольшого количества фенольных соединений (феруловой и кумаровой кислот), поскольку щелочь воздействует на лигнин и разрывает связи между различными некрахмальными сахаридами, делая их доступными для гидролиза разными способами [10, 11]. Щелочной гидролиз также позволяет высвободить из связанного состояния гордеины и глютелины дробины, а также приводит к ограниченному гидролизу липидные вещества [12].

Учитывая связанное состояние высокомолекулярных соединений (арабиноксиланов, лигнина, белков), т. е. наличие связей различной природы, доступ ферментных препаратов к полимерам затруднителен при осуществлении гидролиза. Поэтому применяют принципы физической предобработки, способствующие разрыву межмолекулярных связей: экстракцию жидкости под давлением, сверхкритическую экстракцию, экстракцию с помощью СВЧ и ультразвук [13, 14].

Учитывая вышесказанное, для извлечения необходимых соединений, в том числе полифенольной природы, необходимо применять комплексную обработку с учетом сложного строения полимеров пивной дробины.

Целью работы является разработка технологических подходов глубокой переработки пивной дробины как источника вторичных сырьевых ресурсов (ВСР) для получения экстрактов, обогащенных полифенольными соединениями, и дальнейшем их применении в технологии напитков брожения.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлась влажная солодовая дробина, полученная при настойном способе производства пивоваренного сусла из светлого солода. После дополнительного промывания водой от остатков редуцирующих веществ, дробина обсушивалась фильтровальной бумагой, раскладывалась в полиэтиленовые крафт пакеты и хранилась при температуре –10 °С в морозильной камере. На серию экспериментов использовалась одна партия солодовой дробины с влажностью 65 ± 1 %.

Производство электро-химически активированной воды осуществлялось на установке «СТЭЛ-20» с производительностью 20 дм^3 воды в час.

В работе применялись ферментные препараты фирмы Novozymes (Дания), характеристики которых представлены в таблице 1.

Для решения целей исследования применялись физико-химические методы анализа:

– определение общего количества полифенолов – по методу [15];

– определение содержания антоцианогенов (МЕВАК, 2.16.2) – по методу [16];

– определение содержания β-глюкана – по методу [17];

– определение содержания летучих соединений – по методу [18];

– определение содержания аминокислот – по методу [19];

– определение содержания флавоноидов – по методу [20].

Таблица 1. Характеристики ферментных препаратов, применяемых в работе

Table 1. Enzyme preparations

Название ферментного препарата	Вискофло MG	Церемикс Плюс	Ультрафло XL
Имеющиеся активности в составе	эндо-(1,3-(4))-β-глюканаза целлюлаза α-амилаза ксиланаза арабиноксидаза пентозаназа арабиназа гемицеллюлаза	эндо-(1,3-(4))-β-ксиланаза эндо-(1,3-(4))-β-глюканаза протеаза нейтральная α-амилаза	эндо-(1,3-(4))-β-глюканаза ксиланаза α-амилаза пентозаназа
Рекомендуемая норма задачи, г/кг	0,15	0,10	0,20

Эксперименты проводились в 3-х повторностях для получения лучшей сходимости результатов испытаний.

Результаты и их обсуждение

Поставленная цель исследований требовала решения ряда задач: для наиболее полного извлечения полифенолов пивной дробины подобрать условия ее предварительной обработки с помощью физических методов; обеспечить подбор условий для осуществления гидролиза высокомолекулярных полимеров; подобрать эффективный экстрагент и условия экстракции на конечном этапе переработки дробины.

На первом этапе осуществлялся подбор эффективного растворителя и условий экстракции. В качестве экстрагентов выступали органические полярные и неполярные растворители: мирамистин (бензилдиметил – катионное поверхностно-активное вещество со свойствами антисептика; концентрация 0,1 %), водно-этанольные растворы (полярный растворитель; концентрация 30–70 %) и водно-пропиленгликолиевые растворы (полярный растворитель; концентрация 30–70 %). Длительность экстракции на первом этапе составила 60 мин. Данные представлены в таблице 2.

Применение различных экстрагентов эффективно относительно экстракции водой, несмотря на низкие значения содержания полифенолов различных групп (табл. 2). Применение раствора мирамистина в различных концентрациях незначительно повышало выход полифенолов дробины, несмотря на его заявляемую эффективность применения [21]. Относительно полярных экстрагентов (водно-этанольные и водно-пропиленгликолиевые растворы различных концентраций) можно констатировать, что извлечение общего количества полифенолов повышается относительно извлечения водой и мирамистином с повышением температуры извлечения и концентрации основного вещества, что наглядно представлено в таблице 2. Однако антоцианогенные вещества наиболее полно извлекаются водно-пропиленгликолиевыми растворами, что связано с коэффициентом проницаемости пропиленгликолиевых растворов в растительную матрицу дробины [22, 23]. Данные таблицы 2 показали, что оптимальная температура извлечения полифенолов различных групп – 50 ± 2 °С, что подтверждается литературными данными [24].

Количественная оценка содержания полифенольных веществ показала, что оптимальным гидромодулем при экстракции полифенольных соединений дробины 70 % раствором этанол:вода

Таблица 2. Содержание полифенольных веществ в зависимости от условий экстракции

Table 2. Effect of extraction conditions on the ontent of polyphenolic substances

Тип экстрагента	Концентрация основного вещества в водном растворе экстрагента, %	Содержание полифенолов, %, при гидромодуле (1:10) и температуре извлечения, °С			
		25 ± 2	35 ± 2	50 ± 2	60 ± 2
Общие полифенолы					
Вода	–	0,015 ± 0,001	0,030 ± 0,003	0,060 ± 0,001	0,060 ± 0,001
Мирамистин	0,050 ± 0,010	0,015 ± 0,001	0,030 ± 0,003	0,038 ± 0,003	0,038 ± 0,003
	0,100 ± 0,020	0,015 ± 0,001	0,015 ± 0,001	0,015 ± 0,001	0,041 ± 0,004
Этанол	30,000 ± 2,000	0,030 ± 0,003	0,044 ± 0,001	0,088 ± 0,008	0,250 ± 0,023
	50,000 ± 2,000	0,176 ± 0,020	0,235 ± 0,020	0,280 ± 0,020	0,325 ± 0,030
	70,000 ± 2,000	0,220 ± 0,020	0,280 ± 0,020	0,294 ± 0,020	0,368 ± 0,033
Пропиленгликоль	30,000 ± 2,000	0,060 ± 0,001	0,088 ± 0,008	0,103 ± 0,010	0,250 ± 0,023
	50,000 ± 2,000	0,103 ± 0,001	0,103 ± 0,001	0,176 ± 0,020	0,310 ± 0,028
	70,000 ± 2,000	0,176 ± 0,020	0,235 ± 0,020	0,310 ± 0,030	0,325 ± 0,030
Антоцианогены, $\times 10^3$					
Вода	–	н/о*	н/о	0,041 ± 0,004	0,647 ± 0,065
Мирамистин	0,050 ± 0,010	н/о	н/о	0,041 ± 0,004	0,010 ± 0,001
	0,100 ± 0,020	1,000 ± 0,100	1,000 ± 0,100	1,000 ± 0,100	1,000 ± 0,100
Этанол	30,000 ± 2,000	0,882 ± 0,090	0,882 ± 0,090	1,110 ± 0,110	1,411 ± 0,140
	50,000 ± 2,000	1,000 ± 0,100	1,110 ± 0,110	1,705 ± 0,170	1,880 ± 0,190
	70,000 ± 2,000	1,530 ± 0,150	1,550 ± 0,156	1,650 ± 0,165	2,180 ± 0,220
Пропиленгликоль	30,000 ± 2,000	2,410 ± 0,240	2,410 ± 0,240	2,600 ± 0,260	2,650 ± 0,270
	50,000 ± 2,000	2,700 ± 0,270	2,700 ± 0,270	2,820 ± 0,282	2,940 ± 0,290
	70,000 ± 2,000	3,350 ± 0,350	3,600 ± 0,360	4,760 ± 0,476	4,820 ± 0,480

н/о* – не определяется.

н/о* – not determined.

является 2:10. Это позволило на 33 % увеличить количество экстрагируемых полифенолов и в 5 раз количество извлекаемых антоцианогенов. Также исследования показали, что длительное время экстракции (более 1 ч) существенным образом не влияет на выход полифенольных веществ.

С одной стороны, обращение спиртосодержащих жидкостей на предприятиях пивобезалкогольной отрасли требует наличия лицензионного соглашения, специальных аппаратов для хранения, устройств для учета и ведения отчетности, а с другой – скопление брака пива, некондиционного пива, а также прочих отходов, связанных с невозвратными потерями продукции. С целью использования невозвратных отходов, содержащих спирт в своем составе, исследовалось влияние дистиллята пива с содержанием объемной доли этилового спирта 70 % об. на количество экстрагируемых полифенолов. Состав летучих соединений дистиллята представлен в таблице 3, количество экстрагируемых групп полифенолов – в таблице 4.

Как показывают данные таблицы 3, дистиллят пива содержит характерные летучие соединения для состава пива.

Таблица 3. Летучие соединения дистиллята пива

Table 3. Volatile compounds of beer distillate

Наименование вещества	Содержание, мг/дм^3
Высшие спирты	
метанол	29,860 ± 0,300
2-пропанол	3,120 ± 0,030
1-пропанол	130,970 ± 1,310
2-бутанол	0,320 ± 0,003
изобутанол	204,990 ± 2,050
изоамилол	851,280 ± 8,510
Карбонильные соединения	
ацетальдегид	101,150 ± 1,000
изобутиральдегид	6,040 ± 0,060
ацетон	5,440 ± 0,054
изоамилацетат	23,920 ± 0,240
фенилэтиловый спирт	16,470 ± 0,165
Эфиры	
этилацетат	239,870 ± 2,400
этилформиат	0,600 ± 0,006
этиллактат	1,540 ± 0,002

Данные таблицы 4 свидетельствуют о том, что дистиллят пива экстрагирует большее количество общих полифенолов, по сравнению с водно-этанольным раствором и водно-пропиленгликолиевым, при одной и той же концентрации основного экстрагента. Это объясняется меньшим коэффициентом полярности пивного дистиллята по отношению к водно-этанольному раствору, что увеличивает диффузию полифенолов в жидкую фазу [25]. Коэффициент полярности дистиллята снижается за счет присутствующих в его составе высших спиртов и эфиров (табл. 3), привносящих в раствор большее количество водородных связей.

Представляло интерес исследовать состав экстрактов пивной дробины, полученных с различными экстрагентами. Данные представлены в таблице 5.

Состав экстрактов пивной дробины, представленный в таблице 5, говорит о том, что 70 % об. пивной дистиллят позволяет извлечь из дробины большее, по сравнению с другими экстрагентами, количество аминокислот, в том числе незаменимых, фенольных кислот и флаваноидов в виде рутина. Кверцетин, присутствующий в составе сложных целлюлоз дробины, не извлекается простой полярной экстракцией. Содержание фенольных кислот превышает контрольное значение (при экстракции водой) на 30 % в случае галловой кислоты, а содержание синаповой кислоты увеличивается в 11 раз.

Второй этап исследования был связан с подбором условий гидролиза пивной дробины различными способами: кислотный, щелочной и ферментативный.

Гидролиз осуществлялся при гидромодуле 2:10 в течение 1 ± 0,05 ч и температуре 50 ± 2 °С. После окончания гидролиза смеси доводились до pH 7,0 ± 0,1, далее следовала экстракция 70 % об. дистиллятом пива. Содержание полифенольных соединений гидролизатов представлено в таблицах 6 и 7.

Представленные результаты исследований из таблицы 6 подтверждают литературные данные об эффективности щелочного гидролиза по сравнению с кислотным. В условиях щелочного гидролиза происходит разрыв этерифицированных полифенольных соединений пивной дробины,

Таблица 4. Полифенольные вещества пивной дробины, извлекаемые органическими растворителями

Table 4. Polyphenolic substances of brewer's grain recovered by organic solvents

Наименование групп полифенолов	Содержание соединений, %, при экстракции		
	70 % водно-этанольным раствором	70 % об. дистиллятом пива	70 % водно-пропиленгликолиевым раствором
Общие полифенолы	0,193 ± 0,020	0,280 ± 0,030	0,187 ± 0,020
Антоцианогены, ×10^3	4,023 ± 0,400	4,400 ± 0,440	7,530 ± 0,750

Таблица 5. Содержание соединений в экстрактах дробины

Table 5. Content of compounds in extracts of brewer's spent grain

Наименование	Содержание веществ в экстрактах с			
	Вода	0,01 % раствор мирамистина	70 % об. дистиллят пива	70 % водно-пропиленгликолиевый раствор
Некрахмальные полисахариды (β-глюкан), мг/100 см^3	1,630 ± 0,110	1,670 ± 0,110	2,720 ± 0,200	1,630 ± 0,110
Всего аминокислот, мг/дм^3	53,700 ± 2,500	45,000 ± 2,250	122,800 ± 6,150	96,700 ± 4,830
незаменимых, в том числе	21,500 ± 1,070	16,900 ± 8,450	56,100 ± 2,850	40,600 ± 2,050
Фенольные кислоты, мг/дм^3: галловая	0,510 ± 0,050	0,630 ± 0,060	0,660 ± 0,065	0,580 ± 0,058
ванилиновая	н/о	0,440 ± 0,040	1,840 ± 0,180	1,170 ± 0,115
сиреневая	н/о	0,260 ± 0,025	1,160 ± 0,110	0,340 ± 0,0350
синаповая	0,175 ± 0,020	0,050 ± 0,005	2,060 ± 0,210	1,530 ± 0,150
Полифенолы, мг/дм^3:				
рутин	н/о	н/о	15,000 ± 1,500	8,550 ± 0,850
кверцетин	н/о	н/о	н/о	н/о

Таблица 6. Содержание различных групп полифенолов в гидролизатах

Table 6. Content of various groups of polyphenols in hydrolysates

Тип гидролиза	Действующее вещество	Содержание, %
Общих полифенолов		
Без гидролиза	–	0,28 ± 0,02
Кислотный	раствор лимонной кислоты, 1М	0,38 ± 0,03
	раствор соляной кислоты, 1М	0,44 ± 0,04
Щелочной	раствор гидроксида натрия, 0,8 %	0,67 ± 0,07
	раствор гидроксида натрия 1М	1,10 ± 0,10
Антоцианогенов, ×10^3		
Без гидролиза	–	4,40 ± 0,44
Кислотный	раствор лимонной кислоты, 1М	4,40 ± 0,44
	раствор соляной кислоты, 1М	4,40 ± 0,44
Щелочной	раствор гидроксида натрия, 0,8 %	4,70 ± 0,44
	раствор гидроксида натрия, 1М	7,35 ± 0,75

что объясняется строением предшественника дробины – ячменного зерна [10]. Лигнин, входящий в оболочку зерна, состоит из гваяцильных мономерных единиц с соотношением сирингилов и гваяцилов, связанных в структуре полимера с феруловой и п-кумаровой кислотами, причем внутримолекулярные субструктуры представлены подавляющим большинством β-О-4 ариловых эфиров и меньшинством β-5 фенилкумаранов, этерифицированных между собой [26, 27].

Результаты исследований таблицы 7 согласуются с литературными данными и свидетельствуют о глубоком гидролизе целлюлозы (лигнина) дробины, поскольку в гидролизатах присутствует большее количество (в 10 раз) синаповой и галловой (в 8 раз) кислот по сравнению с этанольными экстрактами [11]. Щелочной гидролиз позволяет извлечь кверцетин и в 3 раза большее количество рутина по сравнению с этанольными экстрактами.

Основываясь на данных таблиц 6 и 7, можно отметить, что содержание различных групп полифенолов в щелочных гидролизатах прямо пропорционально количеству растворенного действующего вещества, определяющего глубину гидролиза.

Однако, несмотря на положительные результаты исследований по применению щелочного гидролиза, важно отметить, что внешний вид, структура и консистенция полученных гидролизатов дробины без применения дополнительной обработки не могли способствовать дальнейшему ее использованию в пищевой промышленности. Щелочной гидролиз позволил высвободить из связанного состояния арабиноксиланы оболочек зерна, которые обуславливали вязкость и мутность гидролизатов дробины.

Далее было исследовано влияние ферментативного гидролиза пивной дробины на количество высвобождаемых полифенолов.

Необходимо отметить, что для облечения доступа ферментных препаратов к некрахмальным полисахаридам пивной дробины на первом этапе применялась обработка сырья католитом с pH 9,6 ± 0,1, полученным в результате обработки воды на ЭХА-установке. Данные приведены на рисунке 1.

Данные исследований, отображенные на рисунке 1, свидетельствуют о том, что обработанная вода

Таблица 7. Сравнительный качественный и количественный состав полифенолов в экстрактах пивной дробины

Table 7. Comparative qualitative and quantitative composition of polyphenols in the extracts of brewer's spent grain

Наименование	Содержание после спиртовой экстракции	
	без щелочного гидролиза	с применением щелочного гидролиза
Фенольные кислоты, мг/дм³: галловая	0,660 ± 0,070	4,010 ± 0,400
ванилиновая	1,840 ± 0,200	2,160 ± 0,220
сиреневая	1,160 ± 0,120	1,150 ± 0,110
синаповая	2,060 ± 0,200	20,860 ± 2,100
Полифенолы, мг/дм³: рутин	15,000 ± 1,500	43,400 ± 4,300
кверцетин	н/о	6,710 ± 0,650

на ЭХА-установке или католит с pH 9,6 ± 0,1 способствует высвобождению различных связанных полифенольных веществ дробины. Наибольшая концентрация полифенолов достигается через 26–30 ч от начала выдержки дробины в католите.

Увеличение концентрации экстрагируемых полифенолов объясняется щелочной природой католита – он обладает отрицательным зарядом окислительно-восстановительного потенциала за счет накопления ионов H^+, т. е. в среде поддерживается реакция восстановления [28]. Этерифицированные полифенольные соединения лигнина дробины взаимодействуют с ионами активированной воды с разрывом карбонильных и эфирных связей в данных условиях [29]. Соответственно, можно говорить о положительном влиянии предобработки ЭХА-водой на высокомолекулярные соединения растительной матрицы дробины, что будет способствовать лучшему контакту ферментных препаратов и субстрата.

На рисунке 2 представлена динамика накопления полифенолов в зависимости от продолжительности выдержки с католитом и ферментным препаратом Вискофло.

Полученные результаты, представленные на рисунке 2, свидетельствуют о том, что оптимальные условия переработки пивной дробины достигаются при продолжительности обработки ЭХА-водой 4 ± 0,05 ч и продолжительности обработки препаратом Вискофло в течение 2 ± 0,05 ч. Более длительный гидролиз при той же продолжительности выдержки с католитом приводили к незначительным потерям содержания полифенолов в гидролизатах.

Полученные результаты исследования относительно комплексной обработки пивной дробины

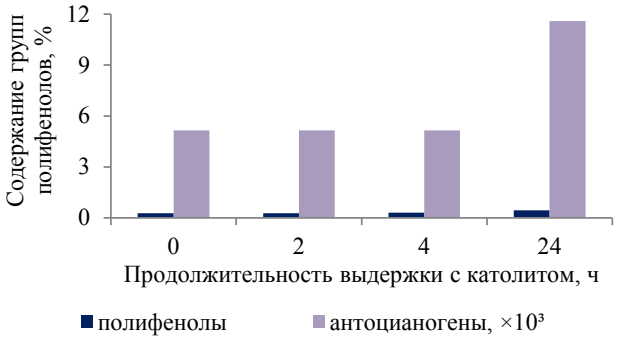


Рисунок 1. Динамика накопления в экстрактах полифенолов в зависимости от длительности обработки ЭХА-водой

Figure 1. Effect of ECA-water treatment time on the accumulation of polyphenols in extracts

показали первоочередность длительной стадии предподготовки, осуществляемой в условиях щелочного pH католита, чем более продолжительного времени биокатализа. Это, на наш взгляд, логично, поскольку длительность предподготовки цитолитических полимеров отработанного зерна влияет на доступность биополимеров ферментным препаратам, вносимым после.

Были проведены исследования, касающиеся количественного внесения ферментных препаратов к массе обрабатываемой дробины. Из трех норм задачи биокатализатора Вискофло (30, 50 и 100 % от нормы внесения, рекомендуемой производителем) наиболее целесообразным оказалось 100 % применение биокатализатора.

В дальнейшем за условия исследования действия других биокатализаторов нами были приняты условия их 100 % задачи от рекомендуемой

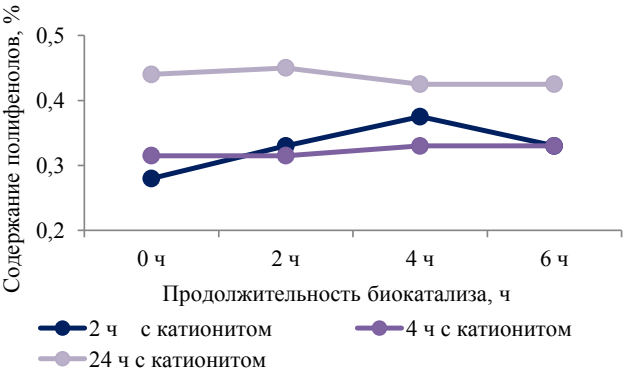


Рисунок 2. Динамика накопления полифенолов в процессе комбинированной обработки дробины ЭХА-водой и биокатализатором Вискофло

Figure 2. Accumulation of polyphenols during combined processing of brewer's spent grain with ECA-water and Viskoflo biocatalyst

Таблица 8. Содержание различных групп полифенолов в гидролизатах с различными биокатализаторами

Table 8. Effect of various biocatalysts on the content of polyphenols in hydrolysates

Продолжительность обработки биокатализатором пивной дробины, ч		Содержание, %	
		полифенолов	антоцианогенов, $\times 10^{-3}$
Без биокатализатора	2 ± 0,05	0,281 ± 0,020	5,150 ± 0,500
	4 ± 0,05	0,281 ± 0,020	5,150 ± 0,500
	6 ± 0,05	0,313 ± 0,030	5,150 ± 0,500
Церемикс плюс	2 ± 0,05	0,281 ± 0,020	5,150 ± 0,500
	4 ± 0,05	0,410 ± 0,030	14,800 ± 1,500
	6 ± 0,05	0,410 ± 0,030	14,800 ± 1,500
Ультрафло XL	2 ± 0,05	0,281 ± 0,020	5,150 ± 0,500
	4 ± 0,05	0,281 ± 0,020	5,150 ± 0,500
	6 ± 0,05	0,317 ± 0,030	5,700 ± 0,500
Вискофло MG	2 ± 0,05	0,450 ± 0,030	17,900 ± 1,800
	4 ± 0,05	0,425 ± 0,030	11,600 ± 1,150
	6 ± 0,05	0,425 ± 0,030	11,600 ± 1,150

доли внесения. Продолжительность выдержки с католитом составила 24 ± 0,05 ч. Данные применения комплексной обработки дробины с участием других биокатализаторов представлены в таблице 8.

Полученные в результате исследований данные демонстрируют преимущество применения биокатализатора Вискофло перед Церемиксом и Ультрафло по содержанию полифенолов и антоцианогенов в полученных гидролизатах (табл. 8). Содержание полифенолов в случае применения Вискофло увеличилось относительно контрольного образца на 60 %, а содержание антоцианогенов – в 3,5 раза. Препарат Ультрафло не показал эффективности применения: показатели содержания полифенолов находились на уровне контрольных значений, а препарат Церемикс позволил увеличить количество экстрагируемых полифенолов после гидролиза на 45 %, а антоцианогенов – в 2,8 раза, по сравнению с контрольным образцом, через 6 ч его применения.

Подобный эффект от применения биокатализатора Вискофло объясняется наличием в его составе эндо-(1,3-(4))-β-глюканазы, целлюлазы, ксиланазы, арабиноксидазы, пентозаназы, арабиназы и гемицеллюлазы в комплексе гидролизующих гемицеллюлозы различного строения и молекулярной массы, что приводит к высвобождению из связанного состояния полифенольных веществ [11].

Качественный и количественный состав полученных гидролизатов представлен в таблице 9.

Представленный в таблице 9 качественный и количественный состав полифенольных соединений экстрактов пивной дробины, полученных в результате различной обработки, свидетельствует о различных гидролитических процессах, проходящих в результате простой экстракции полярным растворителем, щелочного или ферментативного гидролиза в совокупности с обработкой ЭХА-водой.

В составе зерновой дробины присутствуют немодифицированная целлюлоза, воска на основе липидов, включающих в себя фенольные соединения, а также запасные белки зерна [4]. Макромолекула целлюлозы построена из микрофибрил линейных цепей целлюлозы, стабилизированных меж- и внутримолекулярными водородными связями, которые окружены арабиноксиланами. Водородные связи целлюлозы обеспечивают ее нерастворимость и устойчивость к действию биокатализаторов. Структура арабиноксилана является разветвленным полимером ксилана с замещенными арабинозными и ацетильными остатками по бокам основной ксилановой цепи [30]. Исследователи отме-

Таблица 9. Качественный и количественный состав экстрактов пивной дробины различной степени обработки

Table 9. Qualitative and quantitative composition of brewer's spent grain extracts of various processing degrees

Наименование	Содержание после экстракции дистиллятом пива при обработке		
	без гидролиза	применение щелочного гидролиза	применение комбинированной обработки ЭХА-водой и Вискофло
Фенольные кислоты, мг/дм^3:			
галловая	0,660 ± 0,070	4,010 ± 0,400	0,670 ± 0,070
ванилиновая	1,840 ± 0,020	2,160 ± 0,210	2,610 ± 0,250
сиреневая	1,160 ± 0,010	1,150 ± 0,110	1,230 ± 0,120
синаповая	2,060 ± 0,200	20,860 ± 2,100	2,390 ± 0,240
Фенольные альдегиды, мг/дм^3:			
сиреневый	н/о	н/о	0,400 ± 0,040
конифериловый	н/о	н/о	0,955 ± 0,100
синаповый	н/о	н/о	0,863 ± 0,100
Полифенолы, мг/дм^3:			
рутин	15,000 ± 1,500	43,400 ± 4,300	32,160 ± 3,200
кверцетин	н/о	6,71	н/о

чают, что остатки арабинозы могут быть дополнительно замещены феруловой кислотой через сложноэфирную связь и через свои димеры соединять молекулы арабиноксилана вместе, а также связывать арабиноксиланы с лигнином [31, 32]. Лигнин дробины сформирован из фенольных единиц п-кумарилового, конифирилового и синапилового спиртов, объединенные между собой в звенья с последующей полимеризацией [33].

Основываясь на вышесказанном можно сказать, что экстракция этанол-содержащими растворами позволяет выделить свободные полифенолы и прочие соединения, не затрагивая внутреннюю структуру дробины. Щелочная экстракция наибольшим образом воздействует на арабиноксиланы, разрушая их до декстринов различной молекулярной массы, о чем свидетельствовали вязкие непрозрачные гидролизаты. Также при щелочном гидролизе экстрагируются запасные белки зерна и в небольшой степени происходит высвобождение фенольных соединений из лигнина (табл. 8). Необходимо отметить, что только щелочной гидролиз привел к экстракции кверцетина. Таким образом, можно предположить, что кверцетин этерифицирован с арабиноксиланами или запасными белками дробины. Комбинированный способ переработки дробины с помощью ЭХА-воды и биокатализаторов позволил выделить низкомолекулярные фенольные кислоты и их производные, а также рутин. Гидролитический распад макромолекул полисахаридов прошел, учитывая модификацию целлюлозы посредством разрыва водородных связей, ее удерживающих, а также арабиноксиланов. Это привело к повышенной доступности высокомолекулярных полимеров для действия цитолитических ферментов.

Выводы

Рассмотрены различные способы извлечения полифенольных соединений пивной дробины, отмечены различия в механизмах гидролитического разрыва связей между молекулами некрахмальных полисахаридов и других полимеров при участии щелочного и ферментативного гидролиза. Проведенные исследования позволили подобрать оптимальные условия для глубокой физико-химической переработки дробины: продолжительность обработки католитом с pH 9,6 ± 0,1 составила 24 ± 0,05 ч, длительность биокатализа с помощью препарата Вискофло составила 2 ± 0,05 ч, гидромодуль – 2:1, температура процесса – 50 ± 2 °С, раствор экстрагента – дистиллят пива крепостью 70 % об.

Критерии авторства

К. В. Кобелев осуществлял общее руководство проектом исследования. М. В. Гернет осуществляла разработку макета исследований. И. Н. Грибкова обеспечивала исследовательский процесс экспериментальными данными и их обобщением.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

K.V. Kobelev supervised the project. M.V. Gernet developed the layout. I.N. Gribkova provided the research process with experimental data and their synthesis.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Bioprocessing of brewers' spent grain enhances its antioxidant activity: Characterization of phenolic compounds and bioactive peptides / M. Verni, E. Pontonio, A. Krona [et al.] // Frontiers in Microbiology. – 2020. – Vol. 11. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01831.

2. Technological properties and consumer acceptability of bakery products enriched with brewers' spent grains / T. Amoriello, F. Mellara, V. Galli [et al.] // Foods. – 2020. – Vol. 9, № 10. https://doi.org/10.3390/foods9101492.

3. Brewer's spent grains – valuable beer industry by-product / M. Jackowski, L. Niedzwiecki, K. Jagiello [et al.] // Biomolecules. – 2020. – Vol. 10, № 12. https://doi.org/10.3390/biom10121669.

4. Composition and nutrient value proposition of brewers spent grain / S. Ikram, L. Huang, H. Zhang [et al.] // Journal of Food Science. – 2017. – Vol. 82, № 10. – P. 2232–2242. https://doi.org/10.1111/1750-3841.13794.

5. Lynch, K. M. Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health / K. M. Lynch, E. J. Steffen, E. K. Arendt // Journal of the Institute of Brewing. – 2016. – Vol. 122, № 4. – P. 553–568. https://doi.org/10.1002/jib.363.

6. The role of microorganisms on biotransformation of brewers' spent grain / A. Bianco, M. Budroni, S. Zara [et al.] // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2020. – Vol. 104, № 20. – P. 8661–8678. https://doi.org/10.1007/s00253-020-10843-1.

7. Chetrariu, A. Brewer's spent grains: Possibilities of valorization, a review / A. Chetrariu, A. Dabija // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10, № 16. https://doi.org/10.3390/app10165619.

8. Enzymatic hydrolysis of brewer's spent grain to obtain fermentable sugars / A. Paz, D. Outeiriño, N. P. Guerra [et al.] // Bioresource Technology. – 2019. – Vol. 275. – P. 402–409. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.082.

9. Process simulation for xylitol production from brewer's spent grain in a Colombian biorefinery. Part 1: Xylose production from arabinoxilans extracted by the alkaline pretreatment of BSG / A. A. Gil-Montenegro, J. S. Arocha-Morales, L. C. Rojas-Pérez [et al.] // Ingeniería e Investigación. – 2019. – Vol. 39, № 1. – P. 15–23. https://doi.org/10.15446/ing.investig.v39n1.70080.

10. Сравнительный анализ способов гидролиза пивной дробины / В. Я. Пономарев, Э. Ш. Юнусов, Р. Р. Ахметшин [и др.] // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 23. – С. 136–138.

11. Bonifacio-Lopesa, T. Current extraction techniques towards bioactive compounds from brewer's spent grain – A review / T. Bonifacio-Lopesa, J. A. Teixeira, M. Pintado // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2020. – Vol. 60, № 16. – P. 2730–2741. https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1655632.

12. Characterisation of the in vitro bioactive properties of alkaline and enzyme extracted brewers' spent grain protein hydrolysates / A. Connolly, M. Cermeño, D. Crowley [et al.] // Food Research International. – 2019. – Vol. 121. – P. 524–532. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.008.

13. Mini-review on brewer's spent grain protein: Isolation, physicochemical properties, application of protein, and functional properties of hydrolysates / C. Wen, J. Zhang, Y. Duan [et al.] // Journal of Food Science. – 2019. – Vol. 84, № 12. – P. 3330–3340. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14906.

14. Improved efficiency of brewer's spent grain arabinoxylans by ultrasound-assisted extraction / S. F. Reis, E. Coelho, M. A. Coimbra [et al.] // Ultrasonics Sonochemistry. – 2015. – Vol. 24. – P. 155–164. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.10.010.

15. Determination of total phenolic content using the Folin-C assay: Single-laboratory validation, first action 2017.13 / S. Kupina, C. Fields, M. C. Roman [et al.] // Journal of AOAC International. – 2018. – Vol. 101, № 5. – P. 1466–1472. https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0031.

16. Wannenmacher, J. Phenolic substances in beer: Structural diversity, reactive potential and relevance for brewing process and beer quality / J. Wannenmacher, M. Gastl, T. Becker // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Technology. – 2018. – Vol. 17, № 4. – P. 953–988. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12352.

17. Грибкова, И. Н. Влияние некрахмальных полисахаридов ячменного пивоваренного солода на качество и безопасность пива / И. Н. Грибкова, И. В. Лазарева, Ю. А. Докучаева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2019. – Т. 8, № 1 (45). – С. 103–107.

18. Lim, H.-H. Determination of volatile organic compounds including alcohols in refill fluids and cartridges of electronic cigarettes by headspace solid-phase micro extraction and gas chromatography-mass spectrometry / H.-H. Lim, H.-S. Shin // Analytical and Bioanalytical Chemistry. – 2016. – Vol. 409, № 5. – P. 1247–1256. https://doi.org/10.1007/s00216-016-0049-0.

19. Prasad, K. HPLC analysis of amino acid and antioxidant composition of three medicinal plants of (Pithoragarh) Uttarakhand Himalayas / K. Prasad // Journal of Analytical and Pharmaceutical Research. – 2017. – Vol. 6, № 5. – P. 186–193. https://doi.org/10.15406/japlr.2017.06.00186.

20. Comparison of common analytical methods for the quantification of total polyphenols and flavanols in fruit juices and ciders / S. Ma, C. Kim, A. P. Neilson [et al.] // Journal of Food Science. – 2019. – Vol. 84, № 8. – P. 2147–2158. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14713.

21. Ломако, Е. В. Применение поверхностно-активных веществ в анализе лекарственного растительного сырья, содержащего флаваноиды / Е. В. Ломако, Н. А. Кузмичева // Вестник фармации. – 2014. – Т. 65, № 3. – С. 42–49.

22. Solubility and modeling of hesperidin in cosolvent mixtures of ethanol, isopropanol, propylene glycol, and *n*-propanol + water / R. Xu, Y. Cong, M. Zheng [et al.] // Journal of Chemical and Engineering Data. – 2018. – Vol. 63, № 3. – P. 764–770. https://doi.org/10.1021/acs.jced.7b00948.

23. Release and *in vitro* skin permeation of polyphenols from cosmetic emulsions / O. V. Zillich, U. Schweiggert-Weisz, K. Hasenkopf [et al.] // International Journal of Cosmetic Science. – 2013. – Vol. 35, № 5. – P. 491–501. https://doi.org/10.1111/ics.12072.

24. Химический состав, антиоксидантная активность, стандартизация и кинетика получения водно-пропиленгликолевых экстрактов лекарственных растений / В. А. Волков, М. В. Воронков, В. М. Мисин [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2020. – Т. 86, № 8. – С. 12–22. https://doi.org/10.26896/1028-6861-2020-86-8-12-22.

25. Mazur, K. Hydrogen bond dynamics in primary alcohols: A femtosecond infrared study / K. Mazur, M. Bonn, J. Hunger // Journal of Physical Chemistry B. – 2015. – Vol. 119, № 4. – P. 1558–1566. https://doi.org/10.1021/jp509816q.

26. Isolation and structural characterization of the milled wood lignin, dioxane lignin, and cellulolytic lignin preparations from brewer's spent grain / J. Rencoret, P. Prinsen, A. Gutiérrez [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2015. – Vol. 63, № 2. – P. 603–613. https://doi.org/10.1021/jf505808c.

27. Structure of brewer's grain lignin and its interactions with gut microbiota in vitro / T. Ohra-aho, P. Niemi, A.-M. Aura [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2016. – Vol. 64, № 4. – P. 812–820. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b05535.

28. Danylkovych, A. G. Use of electrochemically activated aqueous solutions in the manufacture of fur materials / A. G. Danylkovych, V. I. Lishchuk, O. O. Romaniuk // SpringerPlus. – 2016. – Vol. 5, № 1. https://doi.org/10.1186/s40064-016-1784-6.

29. Electrochemical degradation of lignin by ROS / H. Jiang, A. Xue, Z. Wang [et al.] // Sustainable Chemistry. – 2020. – Vol. 1, № 3. – P. 345–360. https://doi.org/10.3390/suschem1030023.

30. Antioxidant and antimicrobial films based on brewers spent grain arabinoxylans, nanocellulose and feruloylated compounds for active packaging / C. Moreirinha, C. Vilela, N. H. C. S. Silva [et al.] // Food Hidrocolloids. – 2020. – Vol. 108. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105836.

31. Ou, J. Feruloylated oligosaccharides: Structure, metabolism and function / J. Ou, Z. Sun / Journal of Functional Foods. – 2014. – Vol. 7, № 1. – P. 90–100. https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.09.028.

32. Ferulate and lignin cross-links increase in cell walls of wheat grain outer layers during late development / A.-L. Chateigner-Boutin, C. Lapierre, C. Alvarado [et al.] // Plant Science. – 2018. – Vol. 276. – P. 199–207. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.08.022.

33. Lignin synthesis and accumulation in barley cultivars differing in their resistance to lodging / L. Begovića, I. Abičićb, A. Lalić [et al.] // Plant Physiology and Biochemistry. – 2018. – Vol. 133. – P. 132–138. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.036.

References

1. Verni M, Pontonio E, Krona A, Jacob S, Pinto D, Rinaldi F, et al. Bioprocessing of brewers' spent grain enhances its antioxidant activity: Characterization of phenolic compounds and bioactive peptides. Frontiers in Microbiology. 2020;11. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01831.

2. Amoriello T, Mellara F, Galli V, Amoriello M, Ciccoritti R. Technological properties and consumer acceptability of bakery products enriched with brewers' spent grains. Foods. 2020;9(10). https://doi.org/10.3390/foods9101492.

3. Jackowski M, Niedzwiecki L, Jagiello K, Uchańska O, Trusek A. Brewer's spent grains – valuable beer industry by-product. Biomolecules. 2020;10(12). https://doi.org/10.3390/biom10121669.

4. Ikram S, Huang L, Zhang H, Wang J, Yin M. Composition and nutrient value proposition of brewers spent grain. Journal of Food Science. 2017;82(10):2232–2242. https://doi.org/10.1111/1750-3841.13794.

5. Lynch KM, Steffen EJ, Arendt EK. Brewers' spent grain: a review with an emphasis on food and health. Journal of the Institute of Brewing. 2016;122(4):553–568. https://doi.org/10.1002/jib.363.

6. Bianco A, Budroni M, Zara S, Mannazzu I, Fancello F, Zara G. The role of microorganisms on biotransformation of brewers' spent grain. Applied Microbiology and Biotechnology. 2020;104(20):8661–8678. https://doi.org/10.1007/s00253-020-10843-1.

7. Chetrariu A, Dabija A. Brewer's spent grains: Possibilities of valorization, a review. Applied Sciences. 2020;10(16). https://doi.org/10.3390/app10165619.

8. Paz A, Outeiriño D, Guerra NP, Domínguez JM. Enzymatic hydrolysis of brewer's spent grain to obtain fermentable sugars. Bioresource Technology. 2019;275:402–409. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.082.

9. Gil-Montenegro AA, Arocha-Morales JS, Rojas-Pérez LC, Narváez-Rincón PC. Process simulation for xylitol production from brewer's spent grain in a Colombian biorefinery. Part 1: Xylose production from arabinoxilans extracted by the alkaline pretreatment of BSG. Ingeniería e Investigación. 2019;39(1):15–23. https://doi.org/10.15446/ing.investig.v39n1.70080.

10. Ponomarev VYa, Yunusov EhSh, Akhmetshin RR, Samigulina LR. Sravnitel′nyy analiz sposobov gidroliza pivnoy drobiny [A comparative analysis of the methods of hydrolysis of brewer's spent grain]. Bulletin of the Technological University. 2016;19(23):136–138. (In Russ.).

11. Bonifacio-Lopesa T, Teixeira JA, Pintado M. Current extraction techniques towards bioactive compounds from brewer's spent grain – A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020;60(16):2730–2741. https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1655632.

12. Connolly A, Cermeño M, Crowley D, O'Callaghan Y, O'Brien NM, FitzGerald RJ. Characterisation of the in vitro bioactive properties of alkaline and enzyme extracted brewers' spent grain protein hydrolysates. Food Research International. 2019;121:524–532. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.008.

13. Wen C, Zhang J, Duan Y, Zhang H, Ma H. Mini-review on brewer's spent grain protein: Isolation, physicochemical properties, application of protein, and functional properties of hydrolysates. Journal of Food Science. 2019;84(12):3330–3340. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14906.

14. Reis SF, Coelho E, Coimbra MA, Abu-Ghannam N. Improved efficiency of brewer's spent grain arabinoxylans by ultrasound-assisted extraction. Ultrasonics Sonochemistry. 2015;24:155–164. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.10.010.

15. Kupina S, Fields C, Roman MC, Brunelle SL. Determination of total phenolic content using the Folin-C assay: Single-laboratory validation, first action 2017.13. Journal of AOAC International. 2018;101(5):1466–1472. https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0031.

16. Wannenmacher J, Gastl M, Becker T. Phenolic substances in beer: Structural diversity, reactive potential and relevance for brewing process and beer quality. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Technology. 2018;17(4):953–988. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12352.

17. Gribkova IN, Lazareva IV, Dokuchaeva UA. The effect of barley malt nonstarch polysaccharides on beer quality and safety. XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present Plus. 2019;8(1)(45):103–107. (In Russ.).

18. Lim H-H, Shin H-S. Determination of volatile organic compounds including alcohols in refill fluids and cartridges of electronic cigarettes by headspace solid-phase micro extraction and gas chromatography-mass spectrometry. Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2016;409(5):1247–1256. https://doi.org/10.1007/s00216-016-0049-0.

19. Prasad K. HPLC analysis of amino acid and antioxidant composition of three medicinal plants of (Pithoragarh) Uttarakhand Himalayas. Journal of Analytical and Pharmaceutical Research. 2017;6(5):186–193. https://doi.org/10.15406/japlr.2017.06.00186.

20. Ma S, Kim C, Neilson AP, Griffin LE, Peck GM, O'Keefe SF, et al. Comparison of common analytical methods for the quantification of total polyphenols and flavanols in fruit juices and ciders. Journal of Food Science. 2019;84(8):2147–2158. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14713.

21. Lomako EV, Kuzmichova NA. Application of surfactants in the analysis of medicinal vegetative raw material containing flavonoids. Vestnik farmatsii [Pharmacy Bulletin]. 2014;65(3):42–49. (In Russ.).

22. Xu R, Cong Y, Zheng M, Chen G, Chen J, Zhao H. Solubility and modeling of hesperidin in cosolvent mixtures of ethanol, isopropanol, propylene glycol, and *n*-propanol + water. Journal of Chemical and Engineering Data. 2018;63(3):764–770. https://doi.org/10.1021/acs.jced.7b00948.

23. Zillich OV, Schweiggert-Weisz U, Hasenkopf K, Eisner P, Kerscher M. Release and *in vitro* skin permeation of polyphenols from cosmetic emulsions. International Journal of Cosmetic Science. 2013;35(5):491–501. https://doi.org/10.1111/ics.12072.

24. Volkov VA, Voronkov MV, Misin VM, Fedorova ES, Rodin IA, Stavrianidi AN. Chemical composition, antioxidant activity, standardization and kinetics of production of water-propylene glycol extracts of medicinal plants. Industrial Laboratory. Diagnostics of Materials. 2020;86(8):12–22. (In Russ.). https://doi.org/10.26896/1028-6861-2020-86-8-12-22.

25. Mazur K, Bonn M, Hunger J. Hydrogen bond dynamics in primary alcohols: A femtosecond infrared study. Journal of Physical Chemistry B. 2015;119(4):1558–1566. https://doi.org/10.1021/jp509816q.

26. Rencoret J, Prinsen P, Gutiérrez A, Martinez AT, del Rio JC. Isolation and structural characterization of the milled wood lignin, dioxane lignin, and cellulolytic lignin preparations from brewer's spent grain. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2015;63(2):603–613. https://doi.org/10.1021/jf505808c.

27. Ohra-aho T, Niemi P, Aura A-M, Orlandi M, Poutanen K, Buchert J, et al. Structure of brewer's grain lignin and its interactions with gut microbiota in vitro. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2016;64(4):812–820. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b05535.

28. Danylkovych AG, Lishchuk VI, Romaniuk OO. Use of electrochemically activated aqueous solutions in the manufacture of fur materials. SpringerPlus. 2016;5(1). https://doi.org/10.1186/s40064-016-1784-6.

29. Jiang H, Xue A, Wang Z, Xia R, Wang L, Tang Y, et al. Electrochemical degradation of lignin by ROS. Sustainable Chemistry. 2020;1(3):345–360. https://doi.org/10.3390/suschem1030023.

30. Moreirinha C, Vilela C, Silva NHCS, Pinto RJB, Almeida A, Rocha MAM, et al. Antioxidant and antimicrobial films based on brewers spent grain arabinoxylans, nanocellulose and feruloylated compounds for active packaging. Food Hidrocolloids. 2020;108. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105836.

31. Ou J, Sun Z. Feruloylated oligosaccharides: Structure, metabolism and function. Journal of Functional Foods. 2014;7(1):90–100. https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.09.028.

32. Chateigner-Boutin A-L, Lapierre C, Alvarado C, Yoshinaga A, Barron C, Bouchet B, et al. Ferulate and lignin cross-links increase in cell walls of wheat grain outer layers during late development. Plant Science. 2018;276:199–207. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.08.022.

33. Begovića L, Abičićb I, Lalić A, Lepeduš H, Cesar V, Leljak-Levanić D. Lignin synthesis and accumulation in barley cultivars differing in their resistance to lodging. Plant Physiology and Biochemistry. 2018;133:132–138. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.036.

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-125-133
УДК 641.3:613.26

Оригинальная статья
http://fptt.ru

Аспекты пищевой безопасности водного и сверхкритического CO_2-экстрактов гриба *Inonotus obliguus*

Н. Г. Ли*, Т. К. Каленик

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

Дата поступления в редакцию: 11.01.2021

Дата принятия в печать: 05.02.2021

**e-mail: li.ng@dvfu.ru*
© Н. Г. Ли, Т. К. Каленик, 2021

Аннотация.
Введение. Использование в качестве компонентов пищевых систем экстрактов и извлечений, контаминированных микроорганизмами, несет угрозу последующей микробной загрязненности пищевого продукта и ухудшению его показателей качества и безопасности, что неизбежно приводит к экономическим потерям и риску для здоровья потребителя. В этой связи необходимым представляется исследование микробиологической чистоты полученных экстрактов, в том числе экстрактов гриба *Inonotus obliquus*, предлагаемых для внесения в пищевые продукты. Вторым немаловажным аспектом исследования безопасности экстрактов и биологически активных соединений является изучение токсичности на живом тест-объекте.
Объекты и методы исследования. Водный и сверхкритический CO_2-экстракты гриба *Inonotus obliguus*. Водный экстракт гриба *Inonotus obliguus* получали по методу, указанному в Государственной Фармакопее СССР. Сверхкритическую CO_2-экстракцию проводили при использовании сверхкритической системы флюидной экстракции Thar SFE-500F-2-FMC50. Микробиологические показатели определяли стандартными действующими методами. Определение относительной биологической ценности (ОБЦ) и выявление возможных токсичных свойств проводили методом биотестирования на инфузории *Tetrahymena pyriformis*.
Результаты и их обсуждение. Установлено, что в течение всего испытуемого срока хранения показатели, характеризующие микробную обсемененность экстрактов, оставались на низком уровне. Также отмечена микробная деактивация диоксидом углерода в сверхкритическом состоянии контаминантов экстракта. В ходе эксперимента на культуре инфузорий *Tetrahymena pyriformis* установлено отсутствие угнетения подвижности и роста, форма клеток инфузорий овальная, ровная, деформация клеточных стенок не обнаружена. Это свидетельствует об отсутствии токсичного действия исследуемых экстрактов.
Выводы. Для испытуемых экстрактов гриба *Inonotus obliguus* характерна стабильность и прослеживаемость микробиологических показателей в процессе хранения, отмечены высокие показатели ОБЦ и установлена токсикологическая безопасность на тест-объекте инфузории *Tetrahymena pyriformis*. Это позволяет использовать водный и сверхкритический CO_2-экстракты в качестве компонентов пищевых систем.

Ключевые слова. Чага, грибы, растительные экстракты, токсичность, микробная инактивация, обсемененность, *Tetrahymena pyriformis*, относительная биологическая ценность

Финансирование. Работа выполнена на базе Департамента пищевых наук и технологий Школы биомедицины Дальневосточного федерального университета (ДВФУ).

Для цитирования: Ли, Н. Г. Аспекты пищевой безопасности водного и сверхкритического CO2-экстрактов гриба *Inonotus obliguus* / Н. Г. Ли, Т. К. Каленик // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 125–133. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-125-133.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

Safety Assessment of Aqueous and Supercritical CO_2 Extracts of the Chaga Mushroom *Inonotus obliguus*

Natalia G. Li*, Tatyana K. Kalenik

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Received: January 11, 2021

Accepted: February 05, 2021

**e-mail: li.ng@dvfu.ru*

© N.G. Li, T.K. Kalenik, 2021

Abstract.
Introduction. Plant materials are susceptible to microbial contamination at all stages of the technological process and storage. This problem becomes highly relevant when extracting biologically active compounds from the *Inonotus obliquus* chaga mushroom. If used in food systems, contaminated extracts may cause their subsequent microbial contamination, as well as deterioration of quality and safety, which inevitably leads to economic losses and health risks. *Inonotus obliquus* is a popular component of various functional foods; therefore, the microbiological purity of its extracts requires a thorough analysis. In this regard, toxicity in a living test object is another important aspect of the safety studies of extracts and biologically active compounds. Before introducing a new food additive or component into the food system, it has to be tested for toxic properties.
Study objects and methods. The research featured aqueous and supercritical CO_2-extracts of the *Inonotus obliguus* chaga mushroom. The aqueous extract was obtained according to the method specified in the State Pharmacopoeia of the USSR. The supercritical CO_2 extraction was obtained using a Thar SFE-500F-2-FMC50 supercritical fluid extraction system. Microbiological indicators were determined by standard operating methods. The relative biological value and possible toxic properties were measured by biotesting on *Tetrahymena pyriformis*.
Results and its discussion. During the entire tested storage period, the microbial contamination of the extracts remained at a low level, while the contaminants in the supercritical extract showed signs of microbial deactivation by carbon dioxide. The experiment on the ciliates demonstrated no inhibition of motility and growth, the shape of the cells was oval, even, and the cell walls remained unaffected, which means that the extracts produced no toxic effect.
Conclusion. The extracts of the *Inonotus obliguus* mushroom proved to be biologically valuable and toxicologically safe. The test on *Tetrahymena pyriformis* showed stable and traceable microbiological indicators. Therefore, aqueous and supercritical CO_2 extracts of *Inonotus obliguus* can be used in food industry.

Keywords. Chaga, mushroom, herbal extracts, toxicity, microbial inactivation, contamination, *Tetrahymena pyriformis*, relative biological value

Funding. The research was carried out on the premises of the Department of Food Science and Technology of School of Biomedicine of Far Eastern Federal University (FEFU).

For citation: Li NG, Kalenik TK. Safety Assessment of Aqueous and Supercritical CO2 Extracts of the Chaga Mushroom *Inonotus obliguus*. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):125–133. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-125-133.

Введение

Одним из видов растительного сырья, содержащего широкий комплекс биологически активных соединений, является бесплодная форма фитопатогенного гриба Трутовика скошенного – *Inonotus obliquus* (Pers.) Pil. formasterilis (Van.) Nikol., сем. Гименохетовых (*Hymenochaetaceae)*, тип Базидиальные грибы (*Basydiomycetes*). Гриб развивается в виде бесформенных наростов на березах и известен под названием «чага» или «березовый гриб» [1]. Извлечения гриба обладают антираковыми, противоопухолевыми, противовирусными и антиоксидантными свойствами [2, 3].

В технологии получения препаратов на основе гриба *Inonotus obliquus* основным процессом является экстрагирование сырья с помощью воды или другого органического растворителя, разрешенного для использования в фармацевтической и пищевой промышленности. Полифенолоксикарбоновый комплекс, образующий в водных извлечениях коллоидную гидрофильную полидисперсную систему, составляет основную часть веществ, экстрагируемых водой из чаги. Большинство способов экстракции заключается в получении водных излечений. Дисперсионная среда этой системы содержит соли органических и минеральных кислот, полисахариды, полифенолы и другие, еще не выявленные, компоненты [4].

Несмотря на многочисленные существующие способы экстракции гриба *Inonotus obliquus*, основанные на использовании разных растворителей, сведения об использовании сверхкритического диоксида углерода в технологии получения экстрактов березового гриба отсутствуют. Экстракционная способность диоксида углерода в до- и сверхкритическом состоянии представлена в работах отечественных и зарубежных авторов [5–10]. Показано, что сверхкритическая экстракция, по сравнению с докритической, обладает высокой экстрагирующей способностью и извлекает широкий спектр соединений, включая органические кислоты, фенольные соединения, гликозиды, флавоновые агликоны, токоферолы и терпеноиды.

Структурно-групповой состав экстрактов гриба *Inonotus obliquus* составляют углеводороды, полифенолы, стерины, стеролы, тритерпены ланостанового типа, тритерпеновые спирты и эфиры. Особенностью сверхкритического CO_2-экстракта

Inonotus obliquus является содержание большого числа полифенольных соединений, которые обладают антиоксидантным действием [2, 5].

Однако в вопросах экстракции биологически активных соединений из гриба *Inonotus obliquus* следует обратить внимание на проблему подверженности сырья микробной контаминации на всех этапах технологического процесса (сбор, первичная обработка, сушка, измельчение, упаковка) и хранения. К факторам, повышающим микробное обсеменение и приводящим к порче сырья, относят: влажность, температуру, запыленность, присутствие насекомых и др. Внешними проявлениями микробной порчи растительного сырья являются изменение цвета и консистенции, загнивание, плесневение. При этом происходит разрушение ценных биологически активных соединений, а использование такого сырья становится бесполезным и небезопасным.

Особую опасность представляют собой плесневые грибы, которые на протяжении многих лет являются частыми контаминантами растительного лекарственного сырья. Среди плесневых грибов-контаминантов более 60 % относятся к родам *Aspergillus* и *Penicillium*, многие из которых известны как потенциальные продуценты микотоксинов [11].

В пищевой и фармацевтической промышленности первостепенным является входной контроль исходного сырья и материалов, регулирование условий хранения и переработки. Использование в качестве компонентов пищевых систем экстрактов и извлечений, контаминированных микроорганизмами, несет угрозу последующей микробной загрязненности пищевого продукта и ухудшению его показателей качества и безопасности. Это неизбежно приводит к экономическим потерям и риску для здоровья потребителя. В этой связи необходимым представляет исследование микробиологической чистоты полученных экстрактов, в том числе экстрактов гриба *Inonotus obliquus*, предлагаемых для внесения в пищевые продукты.

Вторым немаловажным аспектом исследования безопасности экстрактов и биологически активных соединений является изучение токсичности на живом тест-объекте. Перед использованием любой разработанной пищевой добавки или компонента, вводимого в состав пищевой системы, необходимо провести исследование на предмет отсутствия токсических свойств. Токсичность испытуемой добавки или пищевого продукта предлагается определять методом биотестирования по количеству инфузорий *Tetrahymena pyriformis*, выживших или погибших в среде [12]. Выбор данного тест-организма обусловлен быстротой проведения анализа, его относительной простотой и дешевизной, высокой чувствительностью к алиментарным и токсическим факторам и наглядностью проявления биологически активного эффекта. Физиологические изменения, поведенческая активность и реакции клеточных органелл этого организма являются показательными индикаторами присутствия различных токсикантов [13, 14]. При определении токсичности разработанных продуктов основными показателями являются поведение и характер роста клеток. Угнетение подвижности, замедление роста, незначительные деформации инфузорий, а также их гибель свидетельствуют о токсичности исследуемого продукта или добавки.

Целью работы является оценка пищевой безопасности водного и сверхкритического экстрактов гриба *Inonotus obliguus*.

Объекты и методы исследования

Водный экстракт гриба *Inonotus obliguus* получали по методу, указанному в Государственной Фармакопее СССР [15].

Сверхкритическую CO_2-экстракцию проводили при использовании сверхкритической системы флюидной экстракции Thar SFE-500F-2-FMC50 (Parr Instrument, США). Углекислый газ сжат до желаемого давления при помощи компрессора аппарата сверхкритической экстракции. Емкость экстрагирования нагрета с помощью горячего кожуха, температура контролировалась термостатом (± 1 °C). Давление контролировалось дозирующим клапаном. Обедненный шрот гриба *Inonotus obliquus* массой 50 г загружался в однолитровый экстрактор и экстрагирован sc-CO_2 в скорости потока жидкости 250 г/мин. Доля модификатора (со-растворителя) EtOH составила 4,5 %. Для получения сверхкритического CO_2-экстракта были заданы следующие экстракционные условия: давление сверхкритического диоксида углерода в диапазоне 30–60 МПа; температурные режимы 40–70 °C; время воздействия 2 ч. Экстракт был собран в сепараторе, сообщающемся с дозирующим клапаном.

Общее микробное число (ОМЧ) экстрактов определяли по ГОСТ 10444.15-94. Количество дрожжей и плесневых грибов в экстрактах определяли по ГОСТ 10444.12-2013.

Для проведения анализа на токсичность по методике, указанной в пособии авторов [12], готовили ряд пробирок (в 3-х параллелях), содержащих 2 мл углеводно-солевой дрожжевой среды (УСД), в которые внесли по 1 мл сверхкритического CO_2-экстракта или 0,5 % к массе среды УСД сухого экстракта. Контролем в этом эксперименте служат 3 параллельных пробирки с 2 мл УСД, в которые добавляется 1 мл физиологического раствора. В каждую пробирку добавляют по 0,2 мл 3–6 суточной культуры инфузорий *Tetrahymena pyriformis* и оставляют при температуре от 20 до 25 °C в защищенном от прямых солнечных лучей

Таблица 1. Микробиологические показатели экстрактов гриба *Inonotus obliquus*

Table 1. Microbiological indicators of extracts of *Inonotus obliquus*

Продолжительность хранения экстракта, мес.	Микробиологический показатель			
	ОМЧ, КОЕ/мл		Плесневые грибы и дрожжи, КОЕ/мл	
	водный экстракт	сверхкритический CO_2-экстракт	водный экстракт	сверхкритический CO_2-экстракт
0	4	0	3	0
6	4	0	5	0
12	5	0	4	0
18	8	0	5	0
24	8	2	8	0
30	12	0	11	0
36	10	0	15	0

месте. Через 0,25–24 ч учитывают эффект биопробы в капле, взятой стерильной пастеровской пипеткой, на предметном стекле под микроскопом путем просмотра всего объема капли и всех ее слоев.

Для определения относительной биологической ценности (ОБЦ) по методике, указанной в [12], перед анализом в исследуемых пробах определяют содержание белка (%) любым доступным методом. Для сопоставимости результатов расчет навески гомогенизированной пробы при внесении в среду осуществляется таким образом, чтобы в 1 мл содержалось 0,3 мг азота.

Навеску гомогенизированной пробы исследуемого образца в количестве 0,6 мг по азоту помещают в ступку или гомогенизатор, добавляют 2 мл УСД, растирают и перемешивают пестиком в течение 1–2 мин.

Для повышения достоверности результатов и минимизации потерь образца массу навески и количество среды следует увеличить в 5–50 раз.

Каждый образец готовят в 3–5 повторностях. В каждую пробирку вносят по 2 мл полученной суспензии продукта, содержащей 0,6 мг азота, и закрывают резиновыми пробками. Контролем в эксперименте служат 3–5 пробирок, в каждую из которых вносят по 2 мл суспензии стандартного продукта (количество азота также составляет 0,6 мг). Для инактивации посторонней микрофлоры опытные и контрольные пробирки прогревают в воде при температуре 80 °С в течение 20 мин.

В пробирки с суспензией продукта после охлаждения до температуры не выше 25 °С в стерильных условиях вносят пастеровской пипеткой или дозатором по 0,2 мл 3–6-суточной культуры инфузорий *Tetrahymena pyriformis*, выращенных на пептонной среде. Посевы оставляют в термостате при 25 °С на 4–6 суток, ежедневно встряхивая по 3 раза для лучшей аэрации среды.

Для исключения возможного токсического действия ежедневно из контрольных и опытных проб под микроскопом в «раздавленной капле» оценивают движение, размеры и морфологические характеристики клеток инфузорий. По истечении периода инкубирования клетки инфузорий обездвиживают фиксирующим раствором (йодный раствор по Бурке) и производят их подсчет в счетной камере Горяева.

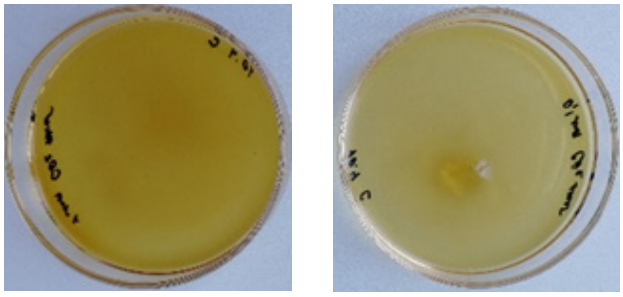
Результаты и их обсуждение

Все продукты переработки сырья растительного происхождения подвержены ухудшению качества в процессе обработки. Поэтому проблема микробной контаминации должна быть полностью решена. Выбираемый способ снижения уровня микробного загрязнения должен быть максимально щадящим, чтобы не повлечь за собой нежелательные изменения в химическом составе и физических свойствах, влияющие на качество готового экстракта. Кроме того, необходимо доказать отсутствие опасных остаточных продуктов после применения того или иного способа деконтаминации.

Так как вода представляет собой благоприятную среду для развития микроорганизмов, то срок и условия хранения жидких экстрактов без консервантов должны быть обоснованы и подтверждены данными по стабильности. В данном исследовании микробиологический анализ проводился путем определения общего микробного числа (ОМЧ) и количества плесневых грибов и дрожжей.

В таблице 1 приведены результаты микробиологического анализа водного и сверхкритического CO_2-экстракта гриба *Inonotus obliquus*. Полученные данные для таких показателей, как ОМЧ и количество плесневых грибов и дрожжей, показывают низкую микробную обсемененность водного экстракта и микробную деактивацию сверхкритического CO_2-экстракта.

Производственный процесс получения водного экстракта путем кипячения обеспечивает снижение количества микроорганизмов. Данные микробиологического анализа характеризуют низкую



(a) (b)

Рисунок 1. Чашки Петри с посевом сверхкритического CO_2-экстракта гриба *Inonotus obliquus* (36 мес. хранения) на питательные среды (5-е сутки культивирования): a – ГРМ-агар; b – агар Сабуро с дектрозой и хлорамфинеколом

Figure 1. Petri dishes with supercritical CO_2-extract of *Inonotus obliquus* (36 months of storage) in nutrient media (5 days of cultivation): a – GRM-agar; b – Sabouraud agar with dectrose and chlorampinecol

обсемененность как на начальном этапе, так и в конце эксперимента: 4–10 КОЕ/мл. Однако указанный способ получения представляет эффективность в отношении вегетативных форм микроорганизмов, о чем свидетельствует увеличение количества микроорганизмов во время хранения экстракта.

В отличие от водного экстракта, полное удаление таких контаминантов, как плесневые грибы и дрожжи, отмечено для образца, полученного методом сверхкритической флюидной экстракции диоксидом углерода (рис. 1). Представленные результаты испытания образцов экстрактов и отсутствие роста на чашках Петри свидетельствуют о высокой микробиологической чистоте сверхкритического CO_2-экстракта гриба *Inonotus obliquus*, сохраняющейся на протяжении всего срока хранения.

Экстракция углерода диоксидом позволяет сократить общее количество аэробных микроорганизмов, дрожжевых и плесневых грибов за счет сочетания действия растворителя с воздействием высокого давления, которые сокращают уровень содержания микроорганизмов.

Механизм бактерицидного действия диоксида углерода был описан авторами [10, 16, 17]. Инактивацию микроорганизмов сверхкритическим диоксидом углерода связывают с необратимыми повреждениями клеточной мембраны микроорганизмов и инактивацией ключевых ферментов в клетке. Сжиженный диоксид углерода обладает бактерицидными и антиоксидантными свойствами, что создает возможность извлечения термо- и оксилабильных веществ, повышающих биологическую ценность экстрактов. В процессе хранения нами не наблюдалось увеличения уровня микробной обсемененности в сверхкритическом CO_2-экстракте, что показывает эффективность инактивации как вегетативных, так и споровых форм микроорганизмов.

Полученные результаты подтверждают бактерицидные свойства экстрактов гриба *Inonotus obliquus* в отношении контаминирующей микрофлоры за счет содержания в своем компонентном составе тритерпенового спирта – бетулина, обладающего антибактериальными свойствами (рис. 2). Идентификацию вещества проводили методом тандемной масс-спектрометрии на масс-спектрометре «amaZon SL» («BRUKER DALTONIKS», Германия).

В результате проведенного испытания образцов экстрактов гриба *Inonotus obliquus*, полученных водной и сверхкритической флюидной экстракцией, установлено, что в течение всего испытуемого срока хранения показатели, характеризующие микробную обсемененность экстрактов, оставались на низком уровне. Также отмечена микробная деактивация диоксидом углерода в сверхкритическом состоянии контаминантов экстракта.

Испытание полученных нами экстрактов березового гриба *Inonotus obliguus* на токсичность проводили на суточной культуре инфузорий *Tetrahymena pyriformis*. Оценивали следующие признаки: поведение и характер роста клеток,

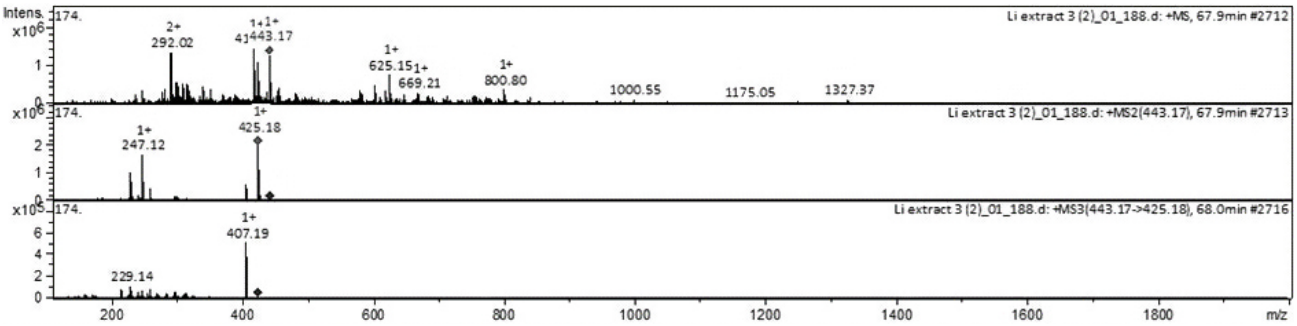


Рисунок 2. Масс-спектр бетулина, идентифицированного в сверхкритическом CO_2-экстракте *Inonotus obliquus*

Figure 2. Mass spectrum of betulin identified in supercritical CO_2 extract of *Inonotus obliquus*



(a) (b) (c)

Рисунок 3. Нативный препарат инфузорий *Tetrahymena pyriformis* в эксперименте исследования токсичности экстрактов гриба *Inonotus obliguus* (24 ч инкубирования): a – водный экстракт; b – сверхкритический CO_2-экстракт; c – контроль физраствор

Figure 3. Native preparation of ciliates *Tetrahymena pyriformis* in the toxicity test of *Inonotus obliguus* extracts (24 h of incubation): a – aqueous extract; b – supercritical CO_2 extract; c – control saline

подвижность, размер и форму клеток, замедление роста, незначительные деформации инфузорий и число погибших клеток. В ходе эксперимента установлено отсутствие угнетения подвижности и роста. Форма клеток инфузорий овальная, ровная, деформация клеточных стенок не обнаружена. Это свидетельствует об отсутствии токсичного действия исследуемых экстрактов. Для опытных и для контрольного образцов характерна активная подвижность инфузорий, отмечен положительный фототаксис, гибель клеток не зафиксирована (рис. 3). Оценка степени токсичности экстрактов позволяет заключить, что экстракты не оказывают токсичного действия на живой организм и безопасны для внесения в пищевые продукты.

Для выявления возможного накопления токсического эффекта и отдаленных отрицательных явлений воздействия экстрактов на организм проводили дальнейшую инкубацию до 7 суток (168 ч). В течение всего срока инкубирования токсического или мутагенного действия экстрактов на культуру инфузорий *Tetrahymena pyriformis* не было выявлено. Результаты наблюдений отражены на рисунке 4. Наибольший прирост популяции инфузорий наблюдался в образце с внесенным сверхкритическим CO_2-экстрактом гриба *Inonotus obliguus.*

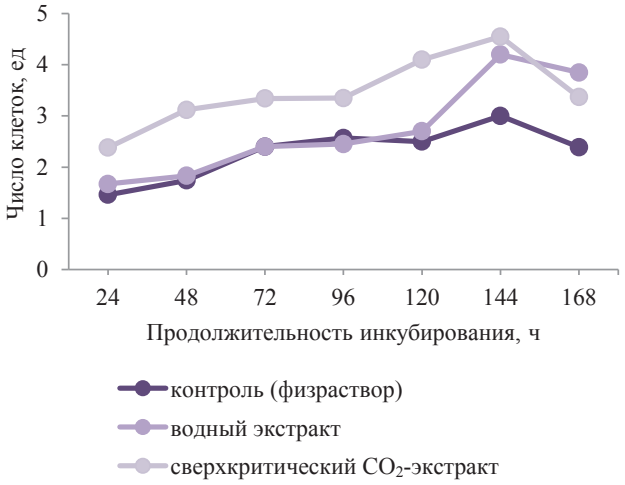


Рисунок 4. Рост тест-культуры инфузорий *Tetrahymena pyriformis* с добавлением экстрактов гриба *Inonotus obliguus* в эксперименте исследования токсичности

Figure 4. Test culture of *Tetrahymena pyriformis* after adding extracts of *Inonotus obliguus* during the toxicity test

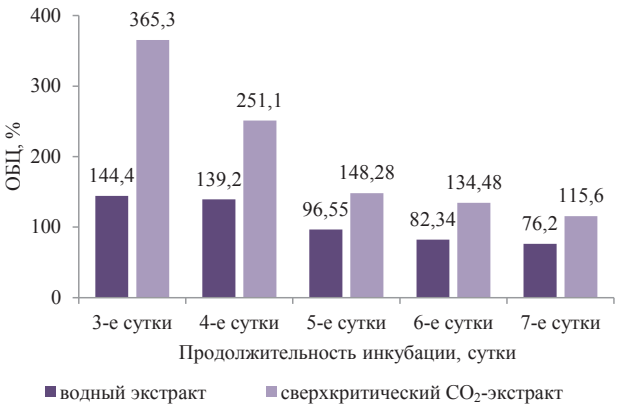
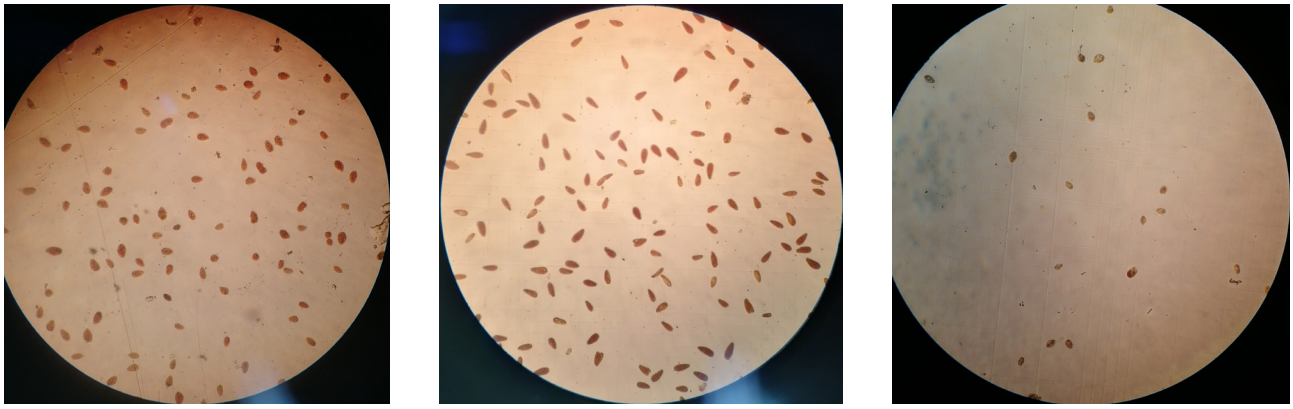


Рисунок 5. Относительная биологическая ценность (ОБЦ) экстрактов гриба *Inonotus obliguus* (контроль – казеин)

Figure 5. Relative biological value of *Inonotus obliguus* extracts (casein control)



(a) (b) (c)

Рисунок 6. Зафиксированный препарат инфузорий *Tetrahymena pyriformis* в эксперименте определения ОБЦ экстрактов гриба *Inonotus obliguus*: a – водный экстракт; b – сверхкритический CO_2-экстракт; c – контроль казеин

Figure 6. Fixed preparation of *Tetrahymena pyriformis* during the test in the relative biological value of *Inonotus obliguus* extracts: a – aqueous extract; b – supercritical CO_2 extract; c – casein control

Для последующей оценки влияния экстрактов гриба *Inonotus obliguus* на биологическую ценность было проведено определение относительной биологической ценности (ОБЦ) экстрактов гриба. В качестве контрольного образца был использован белок казеин.

Установлено, что ОБЦ экстрактов гриба *Inonotus obliguus* превышает показатель относительной биологической ценности стандартного белка – казеина (рис. 5). Набольший показатель ОБЦ установлен для образца сверхкритического CO_2-экстракта на 3-е сутки инкубации и превысил ОБЦ казеина на 265,3 %. При рассмотрении динамики изменения ОБЦ в течение эксперимента зафиксировано снижение показателя ОБЦ, по сравнению с контролем, как для водного экстракта, так и для сверхкритического CO_2-экстракта. Однако следует заметить, что снижение ОБЦ обусловлено общим снижением числа инфузорий в конце эксперимента, связанным с расходованием питательного субстрата.

В результате оценки морфологических показателей тест-объекта на зафиксированном препарате отмечены более крупные размеры клеток инфузорий, культивируемых в среде с добавлением сверхкритического CO_2-экстракта гриба *Inonotus obliguus* (рис. 6). Это связано с компонентным составом CO_2-экстракта термо- и оксилабильные соединения которого оказывают стимулирующее влияние на рост и размножение инфузорий в опытном образце.

Выводы

В результате проведенного исследования установлено, что сверхкритическая флюидная экстракция диоксидом углерода, по сравнению с водной экстракцией, способствует инактивации микробных контаминантов исходного сырья гриба *Inonotus obliguus* и обеспечивает стабильность показателей микробиологической безопасности полученного экстракта на протяжении представленного срока хранения. Водная экстракция представляет эффективность в отношении вегетативных форм микроорганизмов, о чем свидетельствует увеличение количества микроорганизмов во время хранения экстракта. В течение всего срока инкубирования токсического или мутагенного действия экстрактов на культуру инфузорий *Tetrahymena pyriformis* не было обнаружено. Высокий показатель ОБЦ и наибольший прирост популяции инфузорий наблюдался в образце с внесенным сверхкритическим CO_2-экстрактом гриба *Inonotus obliguus*.

Таким образом, для испытуемых экстрактов гриба *Inonotus obliguus* характерна стабильность и прослеживаемость микробиологических показателей в процессе хранения, отмечены высокие показатели ОБЦ и установлена токсикологическая безопасность методом биотестирования на инфузории *Tetrahymena pyriformis*. Это позволяет использовать водный и сверхкритический CO_2-экстракты в качестве компонентов пищевых систем.

Критерии авторства

Н. Г. Ли осуществляла планирование и постановку экспериментального исследования, проводила анализ результатов и их статистическую обработку, формулировала выводы. Ею были написаны такие разделы статьи, как «введение», «объекты и методы исследования» и «выводы». Т. К. Каленик осуществляла научное руководство исследования, обобщала полученные данные, выводила закономерности и формулировала основные выводы.

Ею написаны раздел статьи «результаты и их обсуждение» и откорректированы выводы.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с этой статьей.

Contribution

N.G. Li designed and organized the experimental study, analyzed the results, statistically processed the obtained data, and formulated conclusions. N.G. Li is also responsible for the Introduction, Objects and Methods, and Conclusions. T.K. Kalenik supervised the research, summarized the data, deduced patterns, and formulated the main conclusions. T.K. Kalenik wrote the Results and Discussion paragraph and proofread the conclusions.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interests related to the publication of this article.

Список литературы

1. Isolation, identification, and biological characteristics of a wild chaga mushroom / P. Han, Y. Bian, Q. Chen [et al.] // Chinese Journal of Applied and Environmental Biology. – 2018. – Vol. 24, № 3. – P. 576–582. https://doi.org/10.19675/j.cnki.1006-687x.2017.08036.

2. Chemical characterization and biological activity of Chaga (*Inonotus obliquus*), a medicinal "mushroom" / J. Glamočlija, A. Ćirić, M. Nikolić [et al.] // Journal of Ethnopharmacology. – 2015. – Vol. 162. – P. 323–332. https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.12.069.

3. Shahzad, F. The antiviral, anti-inflammatory effects of natural medicinal herbs and mushrooms and SARS-CoV-2 infection / F. Shahzad, D. Anderson, M. Najafzadeh // Nutrients. – 2020. – Vol. 12, № 9. https://doi.org/10.3390/nu12092573.

4. Сысоева, М. А. Высокоактивные антиоксиданты на основе гриба *Inonotus obliquus*: автореф. дис. … д-р хим. наук: 15.00.02 / Сысоева Мария Александровна. – Казань, 2009. – 32 с.

5. Исследование компонентного состава CO_2-экстракта березового гриба *Inonotus obliguus* методом хромато-масс-спектрометрии / Н. Г. Ли, Т. К. Каленик, Е. В. Моткина [и др.] // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2020. – Т. 9, № 1 (49). – С. 105–110.

6. Evaluation of bioactive compounds and antibacterial activity of *Pulicaria jaubertii* extract obtained by supercritical and conventional methods / Q. A. Al-Maqtari, A. A. Mahdi, W. Al-Ansi [et al.] // Journal of Food Measurement and Characterization. – 2021. – Vol. 15, № 1. – P. 449–456. https://doi.org/10.1007/s11694-020-00652-5.

7. Supercritical CO_2 extraction of compounds from different aerial parts of *Senecio brasiliensis*: Mathematical modeling and effects of parameters on extract quality / T. C. Confortin, I. Todero, N. I. Canabarro [et al.] // Journal of Supercritical Fluids. – 2019. – Vol. 153. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104589.

8. Antioxidant and antimicrobial assessment of licorice supercritical extracts / S. E. Quintana, C. Cueva, D. Villanueva-Bermejo [et al.] // Industrial Crops and Products. – 2019. – Vol. 139. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111496.

9. Antioxidant activity and total polyphenols content of camellia oil extracted by optimized supercritical carbon dioxide / W. Wang, S. Han, Z. Jiao [et al.] // JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society. – 2019. – Vol. 96, № 11. – P. 1275–1289. https://doi.org/10.1002/aocs.12285.

10. Supercritical carbon dioxide applications in food processing / W. Wang, L. Rao, X. Wu [et al.] // Food Engineering Reviews. – 2020. https://doi.org/10.1007/s12393-020-09270-9.

11. Габидова, А. Э. Анализ рисков в производстве лекарственных препаратов / А. Э. Габитова, В. А. Галынкин // Формулы Фармации. – 2019. – Т. 1, № 1. – С. 32–37. https://doi.org/10.17816/phf18552.

12. Шульгин, Ю. П. Ускоренная биотис оценка качества и безопасности сырья и продуктов из водных биоресурсов / Ю. П. Шульгин, Л. В. Шульгина, В. А. Петров. – Владивосток : Изд-во ТГЭУ, 2006. – 123 с.

13. Maurya, R. Importance of protozoa *Tetrahymena* in toxicological studies: A review / R. Maurya, A. K. Pandey // Science of the Total Environment. – 2020. – Vol. 741. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140058.

14. Toropov, A. A. "Ideal correlations" for the predictive toxicity to *Tetrahymena* pyriformis / A. A. Toropov, A. P. Toropova, E. Benfenati // Toxicology Mechanisms and Methods. – 2020. – Vol. 30, № 8. – P. 605–610. https://doi.org/10.1080/15376516.2020.1801928.

15. Государственная Фармакопея СССР. Вып. 2: Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье. 63. *Inonotus obliquus*. Чага. – М. : Медицина, 1990. – 397 с.

16. Supercritical carbon dioxide extraction of plant phytochemicals for biological and environmental applications – A review / T. Arumugham, K. Rambabu, S. W. Hasan [et al.] // Chemosphere. – 2021. – Vol. 271. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129525.

17. A new era for sterilization based on supercritical CO_2 technology / N. Ribeiro, G. C. Soares, V. Santos-Rosales [et al.] // Journal of Biomedical Materials Research – Part B Applied Biomaterials. – 2020. – Vol. 108, № 2. – P. 399–428. https://doi.org/10.1002/jbm.b.34398.

18. Касьянов, Г. И. Особенности экстракции ценных компонентов из эфиромасличного сырья сжиженным и сжатым диоксидом углерода / Г. И. Касьянов, Э. Ю. Мишкевич // Научные труды КубГТУ. – 2019. – № 1. – С. 367–377.

References

1. Han P, Bian Y, Chen Q, Zhang G, Zhang Y, Li B, et al. Isolation, identification, and biological characteristics of a wild chaga mushroom. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology. 2018;24(3):576–582. https://doi.org/10.19675/j.cnki.1006-687x.2017.08036.

2. Glamočlija J, Ćirić A, Nikolić M, Fernandes Â, Barros L, Calhelha RC, et al. Chemical characterization and biological activity of Chaga (*Inonotus obliquus*), a medicinal "mushroom". Journal of Ethnopharmacology. 2015;162:323–332. https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.12.069.

3. Shahzad F, Anderson D, Najafzadeh M. The antiviral, anti-inflammatory effects of natural medicinal herbs and mushrooms and SARS-CoV-2 infection. Nutrients. 2020;12(9). https://doi.org/10.3390/nu12092573.

4. Sysoeva MA. Vysokoaktivnye antioksidanty na osnove griba *Inonotus obliquus* [Highly active antioxidants based on *Inonotus obliquus*]. Dr. chem. sci. diss. Kazan: Kazan State Technological University; 2009. 32 p.

5. Li NG, Kalenik TK, Motkina EV, Motkina MA. The study of the component composition of CO_2 extract of *Inonotus obliguus* birch mushroom by chromato-mass spectrometry. XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present Plus. 2020;9(1)(49):105–110. (In Russ.).

6. Al-Maqtari QA, Mahdi AA, Al-Ansi W, Mohammed JK, Wei M, Yao W. Evaluation of bioactive compounds and antibacterial activity of *Pulicaria jaubertii* extract obtained by supercritical and conventional methods. Journal of Food Measurement and Characterization. 2021;15(1):449–456. https://doi.org/10.1007/s11694-020-00652-5.

7. Confortin TC, Todero I, Canabarro NI, Luft L, Ugalde GA, Neto JRC, et al. Supercritical CO_2 extraction of compounds from different aerial parts of Senecio brasiliensis: Mathematical modeling and effects of parameters on extract quality. Journal of Supercritical Fluids. 2019;153. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104589.

8. Quintana SE, Cueva C, Villanueva-Bermejo D, Moreno-Arribas MV, Fornari T, García-Risco MR. Antioxidant and antimicrobial assessment of licorice supercritical extracts. Industrial Crops and Products. 2019;139. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111496.

9. Wang W, Han S, Jiao Z, Cheng J, Song J. Antioxidant activity and total polyphenols content of camellia oil extracted by optimized supercritical carbon dioxide. JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society. 2019;96(11):1275–1289. https://doi.org/10.1002/aocs.12285.

10. Wang W, Rao L, Wu X, Wang Y, Zhao L, Liao X. Supercritical carbon dioxide applications in food processing. Food Engineering Reviews. 2020. https://doi.org/10.1007/s12393-020-09270-9.

11. Gabidova AEh, Galynkin VA. A unified and simplified flow diagram of the production of active pharmaceutical ingredients and the finished dosage form. Pharmacy Formulas. 2019;1(1):32–37. https://doi.org/10.17816/phf18552.

12. Shul′gin YuP, Shul′gina LV, Petrov VA. Uskorennaya biotis otsenka kachestva i bezopasnosti syr′ya i produktov iz vodnykh biore-sursov [Accelerated biotis assessment of the quality and safety of raw materials and products from aquatic biological resources]. Vladivostok: Izd-vo TGEHU; 2006. 123 p. (In Russ.).

13. Maurya R, Pandey AK. Importance of protozoa *Tetrahymena* in toxicological studies: A review. Science of the Total Environment. 2020;741. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140058.

14. Toropov AA, Toropova AP, Benfenati E. "Ideal correlations" for the predictive toxicity to *Tetrahymena* pyriformis. Toxicology Mechanisms and Methods. 2020;30(8):605–610. https://doi.org/10.1080/15376516.2020.1801928.

15. Gosudarstvennaya Farmakopeya SSSR. Vyp. 2: Obshchie metody analiza. Lekarstvennoe rastitel′noe syr′e. 63. *Inonotus obliquus*. Chaga [State Pharmacopoeia of the USSR. Issue 2: General methods of analysis. Medicinal herbal raw materials. 63. *Inonotus obliquus*. Chaga]. Moscow: Meditsina; 1990. 397 p. (In Russ.).

16. Arumugham T, Rambabu K, Hasan SW, Show PL, Rinklebe J, Banat F. Supercritical carbon dioxide extraction of plant phytochemicals for biological and environmental applications – A review. Chemosphere. 2021;271. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129525.

17. Ribeiro N, Soares GC, Santos-Rosales V, Concheiro A, Alvarez-Lorenzo C, García-González CA, et al. A new era for sterilization based on supercritical CO_2 technology. Journal of Biomedical Materials Research – Part B Applied Biomaterials. 2020;108(2):399–428. https://doi.org/10.1002/jbm.b.34398.

18. Kasyanov GI, Mishkevich EYu. Features of extraction of valuable components from ethermosilic raw material, liquefied and compressed carbon dioxide. Scientific works of the Kuban State Technological University. 2019;(1):367–377. (In Russ.).

2021 Т. 51 № 1 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-134-145
УДК 663.911.15:60

Оригинальная статья
http://fptt.ru

Разработка технологии производства биомассы *Bacillus megaterium* кормового назначения

А. В. Баурина*, Д. В. Баурин, И. В. Шакир, В. И. Панфилов

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, Москва, Россия

Дата поступления в редакцию: 10.12.2020

Дата принятия в печать: 07.02.2021

**e-mail: tur.alexandra96@gmail.com*

© А. В. Баурина, Д. В. Баурин, И. В. Шакир, В. И. Панфилов, 2021

Аннотация.

Введение. Получение белково-витаминных кормовых добавок для сельскохозяйственных животных является одной из актуальных задач современной промышленной биотехнологии. В Российской Федерации ежегодно образуется значительное количество вторичных продуктов переработки семян подсолнечника, которые являются перспективным источником для получения изолята белка подсолнечника. Целью исследования являлась разработка технологии производства бактериальной биомассы *Bacillus megaterium* кормового назначения.

Объекты и методы исследования. Изолят белка подсолнечника, ферментный препарат Protex 7L, а также штамм *B. megaterium* (ВКПМ B-3750). Определение содержания углеводов осуществляли модифицированным методом Бертрана. Определение аминного азота осуществляли формольным титрованием. Определение количества жизнеспособных клеток осуществляли методом Коха. Определение содержания протеиногенных аминокислот проводили методом капиллярного электрофореза.

Результаты и их обсуждение. Подсолнечный белок при обработке ферментными препаратами может стать альтернативным источником азота для культивирования промышленных микроорганизмов. В данной работе представлены результаты аминокислотного анализа изолята белка подсолнечника, а также ферментативного гидролизата, полученного с применением препарата Protex 7L. Сравнительный анализ содержания аминокислот в гидролизате и исходном изоляте белка показал, что ферментативный гидролиз позволяет увеличить содержание свободных аминокислот в среде, доступных для питания микроорганизмов. Показана возможность культивирования штамма продуцента витаминов группы В на ферментативном гидролизате белка подсолнечника, полученного с применением препарата Protex 7L.

Выводы. Результаты сравнительного исследования показали, что ферментативный гидролизат белка подсолнечника может быть использован в качестве источника азота для культивирования продуцента витаминов группы В в качестве альтернативы дорогостоящему мясному пептону. Технико-экономическая оценка процесса культивирования *B. megaterium* на ферментативных гидролизатах белка подсолнечника при мощности производства 100 кг/год показала, что себестоимость белково-витаминной добавки составляет 413 руб/кг. Срок окупаемости капитальных затрат по расчетам составляет 1,5 года.

Ключевые слова. Подсолнечник, шрот подсолнечный, изолят белка, ферментация, ферментативный гидролиз, кормовая добавка

Для цитирования: Разработка технологии производства биомассы *Bacillus megaterium* кормового назначения / А. В. Баурина, Д. В. Баурин, И. В. Шакир [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 134–145. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-134-145.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

Technology for the *Bacillus megaterium* Fodder Biomass Production

Alexandra V. Baurina*, Dmitry V. Baurin, Irina V. Shakir, Victor I. Panfilov

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

Received: December 10, 2020

Accepted: February 07, 2021

**e-mail: tur.alexandra96@gmail.com*

© A.V. Baurina, D.V. Baurin, I.V. Shakir, V.I. Panfilov, 2021

Abstract.

Introduction. Obtaining protein and vitamin fodder is one of the urgent tasks that modern industrial biotechnology has to solve.

Another task is a search of novel medium compositions for microbial fermentation that can lower production costs. Russian food industry produces a significant amount of sunflower seed processing byproducts every year. Sunflower meal is a promising source of sunflower protein isolate. The research objective was to develop a new technology for the production of *Bacillus megaterium* bacterial biomass for fodder purposes.

Study objects and methods. The research featured a sunflower protein isolate, an enzyme complex Protex 7L, and a *B. megaterium* strain (VKPM B-3750). The carbohydrate content was determined using a modified Bertrand method. Amine nitrogen was studied using formol titration, the number of viable cells – by the Koch method, the content of amino acids – by capillary electrophoresis.

Results and discussion. When processed with enzyme complexes, sunflower protein can be an alternative source of nitrogen for industrial fermentation. The study featured amino acid of sunflower protein isolate and enzymatic hydrolyzate obtained using Protex 7L. A comparative analysis of the content of amino acids in the hydrolyzate and the protein isolate showed that enzymatic hydrolysis can significantly increase the content of free amino acids in the medium available for microbial accumulation. The research proved that sunflower protein enzymatic hydrolyzate obtained using Protex 7L can be used to cultivate strains of B vitamins producers.

Conclusion. Sunflower protein enzymatic hydrolyzate can be used as a nitrogen source for B vitamins producer fermentation and as an alternative to expensive meat peptone. The research involved technical and economic assessment of the *B. megaterium* fermentation on enzymatic hydrolysates of sunflower protein at a production capacity of 100 kg per year. The cost of the protein-vitamin supplement was calculated as 413 rubles per kg, while the market price could reach 826 rubles per kg. The payback period for capital expenditures was estimated at 1.5 years. Thus, replacing commercial meat peptone with sunflower protein enzymatic hydrolyzate obtained with Protex 7L reduced the cost of 1 kg of feed additive by three times without affecting *B. megaterium*. Overproduction of B vitamins by the *B. megaterium* strain on a medium containing sunflower protein hydrolyzate requires optimization of fermentation conditions.

Keywords. Sunflower, sunflower meal, protein isolate, fermentation, enzymatic hydrolysis, feed additive

For citation: Baurina AV, Baurin DV, Shakir IV, Panfilov VI. Technology for the *Bacillus megaterium* Fodder Biomass Production. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):134–145. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-134-145.

Введение

Одной из актуальных проблем современной биотехнологии является эффективное использование вторичных продуктов сельского хозяйства для получения полезных продуктов с высокой добавленной стоимостью, направленных на повышение продуктивности животноводства, а также решение проблем экологического характера [1]. Растительные белки обладают большим потенциалом для использования в питании человека в качестве альтернативы животному белку [2]. Производство животного белка в 10 раз дороже, чем производство растительного. При этом около 30 % растительного белка выбрасывается или используется в кормлении животных [3].

Российская Федерация является одним из мировых лидеров по урожайности семян подсолнечника. В 2019 г. площадь посевов превысила 8,5 млн га, а урожайность составила 15,3 млн тонн.

Семена подсолнечника являются богатым источником жиров (от 30 до 50 %) и белков (от 14 до 19 %). При производстве подсолнечного масла образуется значительное количество отработанной массы, прошедшей экстракцию, с выделением подсолнечного масла [4]. Утилизация вторичного продукта производства подсолнечного масла – подсолнечного шрота – является актуальной проблемой [5]. Широкий спектр продуктов переработки семян подсолнечника включает значительное число полупродуктов. В первую очередь это шроты и жмыхи, состав которых варьируется в зависимости от сорта и технологии переработки. Шроты и жмыхи используются в индустрии кормов. Вторая группа полупродуктов получается в результате глубокой переработки. К этой группе можно отнести сухие продукты – изоляты и концентраты белка пищевого и кормового назначения, депротеинизированный шрот и жидкие полупродукты – ферментативные и кислотные гидролизаты (рис. 1). Сухой остаток, остающийся после экстракции масла (шрот подсолнечника), является ценным источником белка (30–50 % в пересчете на сухое вещество), в составе которого преобладают два типа белков: гелиантинины (60–80 %) и альбумины подсолнечника (25–35 %) [6]. Ферментативный гидролиз подсолнечного шрота увеличивает содержание сырого белка в продукте и позволяет улучшить функциональные характеристики получаемого белка. Гидролизат подсолнечного шрота, полученный с применением папаина и грибной протеазы, может быть использован в качестве эмульгатора, антиоксиданта или белковой основы для косметических продуктов [7].

Шрот содержит большое количество ценных веществ (протеины, связанные сахара, минеральные и органические соли и т. д.) и может эффективно использоваться в качестве корма, топлива или органических удобрений. Ранее разработана технология получения продукта с высокой добавленной стоимостью – изолята белка подсолнечника. Технология включает в себя ферментативную обработку



Рисунок 1. Разнообразие продуктов переработки семян подсолнечника

Figure 1. Products of sunflower seed processing

протеолитическими препаратами шрота с последующей ультрафильтрацией, осаждением в изоэлектрической точке, промывкой и вакуумной сушкой [8]. Полученный неочищенный изолят белка может быть использован в качестве альтернативного источника аминного азота при культивировании продуцентов витаминов группы В с получением ценной кормовой добавки для сельскохозяйственной птицы и скота. Кормление сухими рассыпными или гранулированными комбикормами позволяет эффективно использовать сырьевые ресурсы и с наименьшими затратами достигать максимальной продуктивности [9]. Использование высокопротеинового подсолнечного концентрата в рационе цыплят-бройлеров для замены сои продемонстрировало положительные результаты для улучшения экономической эффективности откорма [10]. В связи с активным развитием российского животноводства остро встает вопрос получения белковых кормовых добавок, обогащенных витаминами, а также переработки подсолнечного белка в сухой продукт. Это позволяет рассматривать исследования, направленные на решение настоящих проблем, как имеющие большое практическое и социальное значение [11].

Поиск альтернативных экономичных питательных сред для культивирования штаммов продуцентов витаминов группы В является актуальной задачей современной биотехнологии [12]. В ряде исследований в качестве субстратов для культивирования продуцентов витаминов группы В использовались следующие субстраты: кукурузный экстракт, отработанное подсолнечное масло, свекловичная меласса, соевые бобы [13–16]. Продемонстрирован потенциал вторичных продуктов переработки картофеля для получения кормовой биомассы, обогащенной витаминами группы В [17].

Однако в литературе не представлено информации об использовании в качестве компонента питательных сред для культивирования продуцентов витаминов группы В белка подсолнечника или его ферментативных гидролизатов.

Целью исследования являлась разработка технологии производства бактериальной биомассы *Bacillus megaterium* кормового назначения. В работе представлены результаты использования ферментативной обработки изолята белка подсолнечника, а также результаты расчета основных технико-экономических показателей для получения бактериальной биомассы *B. megaterium* кормового назначения мощностью 100 кг/год.

Объекты и методы исследования

Перечень используемого сырья, реактивов и материалов, применяемых для получения кормовой биомассы, обогащенной витаминами группы В, представлены в таблице 1.

Технический изолят белка подсолнечника производят из подсолнечного шрота, который по органолептическим, химико-технологическим и микробиологическим показателям должен соответствовать требованиям, приведенным в таблице 2.

Ферментативный гидролиз изолята белка подсолнечника проводили в колбе Эрленмейера

Таблица 1. Характеристика основного и вспомогательного сырья

Table 1. Fixed and auxiliary raw materials

№ п/п	Наименование сырья, реактивов и материалов	Характеристика сырья
1	Технический изолят белка подсолнечника	Содержание сырого протеина не менее 85 %
2	Ферментный препарат Protex 7L	Протеолитическая активность не менее 1600 ед/г определяется по результатам гидролиза азо-казеина при pH 7,5 в течение 5 мин при 30 °С
3	Натрий хлористый	В соответствии с ГОСТ 4233-77
4	Лапрол 3003	В соответствии с ТУ 2226-022-10488057-95
5	Кислота соляная	В соответствии с ГОСТ 3118-77
6	Натрия гидроокись	В соответствии с ГОСТ 4328-77

Таблица 2. Описание внешнего вида и потребительских свойств технического изолята белка подсолнечника

Table 2. Appearance and consumer properties of technical isolate of sunflower protein

Наименование показателей	Характеристика и значение показателя
Внешний вид	Порошкообразный
Цвет	Светло-кремовый/светло-желтый/серый
Запах	Не имеет специфического запаха; допускается наличие запаха, свойственного подсолнечнику
Влажность, %, не более	5,0
Содержание сырого протеина % на сухое вещество, не менее	85,0
Суммарное содержание растворимого протеина, % на сухое вещество, не менее	83,8
Содержание липидов, % на сухое вещество, не более	0,5
Содержание NaCl, % на сухое вещество, не более	1,0
Содержание неорганических веществ % на сухое вещество, не более	1,0

объемом 250 мл при 50 °С и pH 7. 10 г изолята белка подсолнечника смешивали с 100 мл дистиллированной воды, pH доводили с помощью 2М NaOH или 2М HCl. 0,1 мл ферментного препарата добавляли к буферу PBS pH 7,2. Затем полученную смесь добавляли к суспензии белка. Гидролиз проводили на водяной бане в течение 24 ч с использованием магнитной мешалки. Полученные гидролизаты использовали в качестве среды для культивирования *Bacillus megaterium*.

Штамм продуцент кормовой биомассы *B. megaterium* (ВКПМ В-3750) был приобретен в Российской национальной коллекции промышленных микроорганизмов ВКПМ. Он является продуцентом витаминов группы В. *B. megaterium* выращивали на скошенном агаре при 37 °С в течение 24 ч. Затем 1 мл суспендированной клетки инокулировали в колбу Эрленмейера объемом 250 мл, содержащую 100 мл питательной среды. Культивирование проводили при 37 °С на роторном шейкере при 180 об/мин. Через 24 ч 10 мл посевной культуры переносили в колбу Эрленмейера объемом 250 мл, содержащую 100 мл питательной среды, и культивировали при 37 °С на роторном шейкере при 180 об/мин в течение 24 ч.

Определение содержания редуцирующих веществ (РВ) осуществляли модифицированным методом Бертрана. Определение аминного азота осуществляли формольным титрованием. Определение количества жизнеспособных клеток осуществляли методом Коха. Определение содержания протеиногенных аминокислот проводили методом капиллярного электрофореза с использованием системы «Капель-105» (длина волны 254 нм, температура 30 °С, давление 30 мбар, время ввода 5 с, напряжение 25 кВ, давление 0–50 мбар, время анализа 10–15 мин) в соответствии с ГОСТ 55569-2013.

Результаты и их обсуждение

Белковый концентрат получается при обработке обезжиренного растительного шрота. Последующая обработка позволяет получить изолят белка, но в продукте значительно снижается содержание фенольных соединений и клетчатки. Нативные белки растительного происхождения имеют плохую растворимость. Самая низкая растворимость наблюдается в области изоэлектрической точки. Ферментативный гидролиз белков, в отличие от химического, дает возможность не только точечно регулировать процесс в сторону получения желаемых продуктов гидролиза, но и получать аминокислоты пищевого качества. При обработке белкового изолята протеолитическими ферментными препаратами образуются белковые гидролизаты,



Рисунок 2. Аминокислотные профили изолята белка подсолнечника и ферментативного гидролизата изолята белка подсолнечника, полученного с применением препарата Protex 7L

Figure 2. Amino acid profiles of sunflower protein isolate and enzymatic hydrolyzate of sunflower protein isolate obtained using Protex 7L

обладающие высокой растворимостью в широком диапазоне pH и температур, по сравнению с исходными белками, а также характеризующиеся функциональными свойствами (например, антиоксидантной активностью). Обработка нативного белка ферментными препаратами позволяет достигнуть максимальной растворимости в области изоэлектрической точки. Дальнейшая обработка получаемого изолята белка протеолитическими ферментными препаратами с образованием подсолнечного пептона может улучшить функциональные характеристики белка.

Препарат Protex 7L был выбран для проведения ферментативного гидролиза изолята белка подсолнечника на основании ранее проведенных исследований [18].

Аминокислотные профили исходного изолята белка подсолнечника и ферментативного гидролизата изолята белка подсолнечника, полученного с применением препарата Protex 7L, представлены на рисунке 2. Аминокислотный профиль изолята белка подсолнечника согласуется с результатами, полученными другими исследователями [19, 20]. Содержание аминокислот в ферментативном гидролизате существенно превосходит содержание свободных аминокислот в исходном изоляте белка подсолнечника.

На основании данных аминокислотного анализа изолята белка подсолнечника и ферментативного гидролизата, полученного с применением препарата Protex 7L, было предложено использование ферментативного гидролиза изолята белка подсолнечника протеолитическими препаратами для улучшения его биодоступности. Это позволило бы расширить область применения белка. Например, в качестве источника азота при культивировании микроорганизмов.

Замена мясного пептона ферментативными гидролизатами белка подсолнечника в качестве источника азота не оказала негативного влияния на рост микроорганизмов (табл. 3).

В результате ферментативной обработки высокомолекулярные белковые комплексы в составе изолята белка подсолнечника могут быть

Таблица 3. Результаты культивирования *Bacillus megaterium* в контрольных средах, а также на ферментативном гидролизате белка подсолнечника

Table 3. Results of cultivation of *Bacillus megaterium* in control media and on enzymatic hydrolyzate of sunflower protein

Параметр	Подсолнечный белок	Мясной пептон	Ферментативный гидролизат белка подсолнечника, полученный с использованием препарата Protex 7L
Концентрация РВ начальная, г/л	0,66	0,79	1,35
Концентрация аминного азота начальная, мг/л	364,00	714,00	784,00
Концентрация РВ конечная, г/л	0,36	0,25	1,07
Концентрация аминного азота конечная, мг/л	84,00	28,00	84,00
ln(КОЕ/мл)	17,58	21,64	21,72
Степень потребления аминного азота, %	76,92	96,08	89,29
Удельная скорость роста, μ, $ч^{-1}$	0,11	0,31	0,32

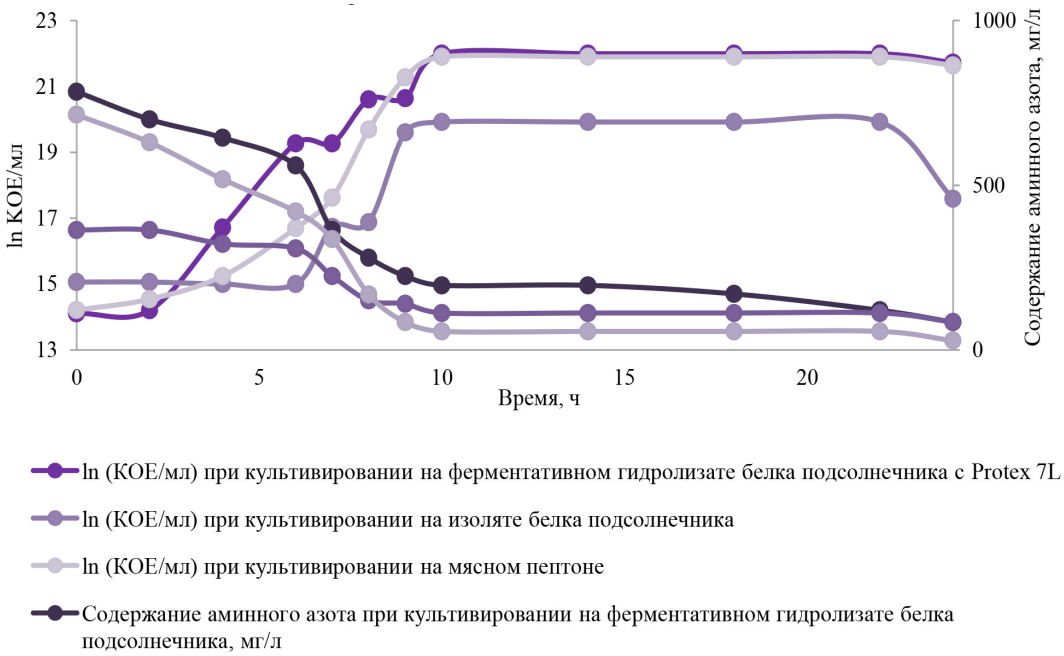


Рисунок 3. Кривая роста ln (КОЕ/мл) *Bacillus megaterium* и потребления аминного азота (мг/л) на среде, содержащей изолят белка подсолнечника, мясной пептон и ферментативный гидролизат белка подсолнечника с Protex 7L

Figure 3. Growth curve ln (CFU/mL) of *Bacillus megaterium* and amine nitrogen consumption (mg/L) on a medium containing sunflower protein isolate, meat peptone, and enzymatic hydrolyzate of sunflower protein with Protex 7L

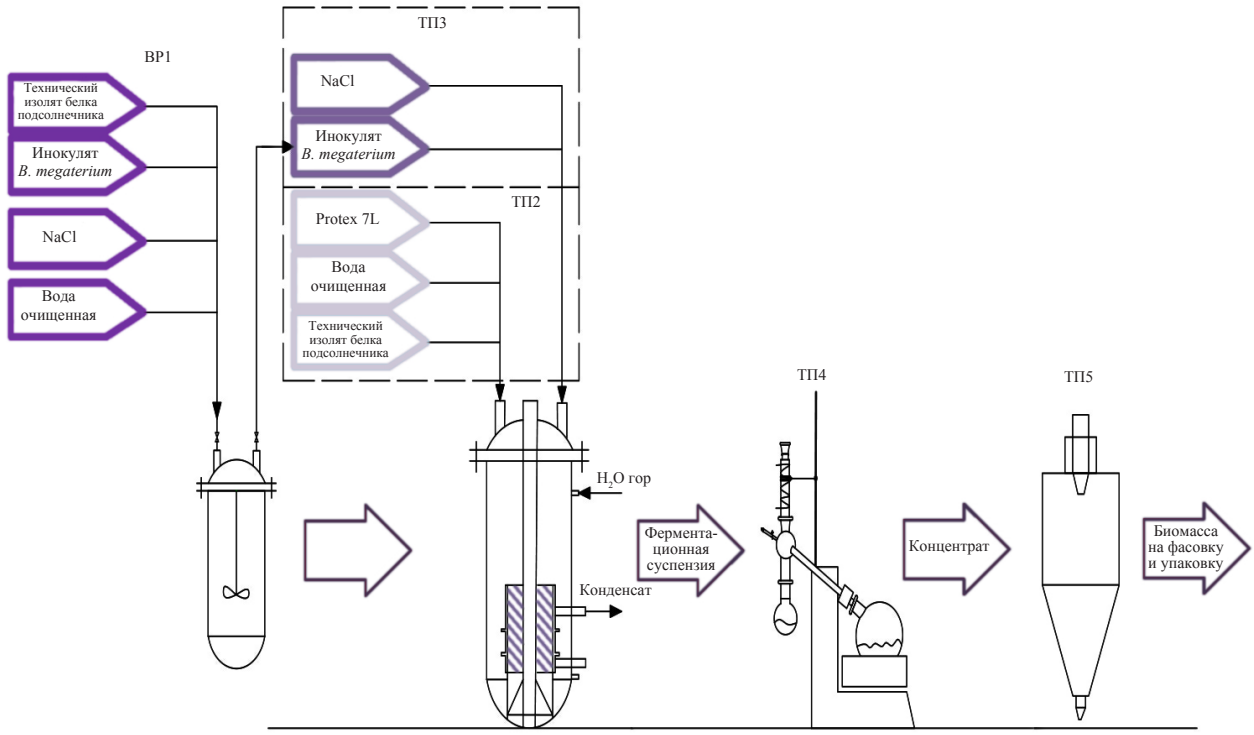


Рисунок 4. Аппаратурная схема производства кормовой биомассы, обогащенной витаминами группы В

Figure 4. Apparatus scheme for the production of feed biomass fortitied with B vitamins

«разбиты» на доступные питательные вещества для роста бактерий. Сравнительные результаты культивирования на контрольных средах и среде, содержавшей гидролизат белка подсолнечника, подтвердили, что предложенная схема обработки может быть применена для замены мясного пептона в составе питательных сред (рис. 3). Степень потребления аминного азота при культивировании бактерий на среде, содержавшей гидролизат белка подсолнечника, составила 89,29 и 96,08 % на среде, содержавшей мясной пептон в качестве источника азота. Удельная скорость роста микроорганизмов при культивировании на ферментативном гидролизате белка подсолнечника не уступала показателям при культивировании на традиционной среде и составила 0,32 и 0,31 $ч^{-1}$ соответственно.

Сверхпродукция витаминов группы В при культивировании *B. megaterium* на средах с использованием ферментативных гидролизатов белка подсолнечника требует дальнейших исследований и оптимизации процесса.

На основании полученных результатов культивирования была предложена аппаратурная (рис. 4) и принципиальная технологическая схемы (рис. 5) процесса культивирования *B. megaterium* (ВКПМ В-3750) на ферментативном гидролизате изолята белка подсолнечника, полученного с применением препарата Protex 7L.

Технология получения кормовой биомассы *B. megaterium*, выращиваемой на ферментативном гидролизате изолята белка подсолнечника, включает следующие стадии:
– санитарная обработка помещений;
– подготовка стерильной воды, воздуха;
– приготовление и стерилизация питательной среды;
– приготовление и стерилизация пеногасителя;
– стерилизация оборудования и коммуникаций;
– наработка чистой культуры продуцента и приготовление инокулята;
– подготовка и стерилизация титрантов;
– ферментативный гидролиз;
– ферментация;
– концентрирование биомассы (выпаривание);
– распылительная сушка биомассы;
– взвешивание, фасовка, маркировка и хранение готового продукта.

Общие обозначения технологических стадий и операций: ТП – технологический процесс; ВР – вспомогательная работа; ПО – переработка отходов, УМО – упаковка и маркировка готовой продукции.

Ферментативный гидролиз изолята белка подсолнечника проводят в биореакторе с мешалкой объемом 15 л с рабочим объемом 10 л (ТП2). Технический изолят белка подсолнечника загружают в биореактор, добавляют очищенную воду и осуществляют перемешивание. После того как в биореакторе установится температура 50 °С добавляют раствор ферментного препарата. Гидролиз ведут на протяжении 24 ч с постоянным перемешиванием и контролем значения pH в диапазоне 6,8–7,2. Подтитровку ведут при помощи 10 % раствора HCl и 10 % раствора NaOH. По истечении 24 ч реактор охлаждают до 37 °С.

Процесс выращивания бактерий *B. megaterium* осуществляют периодическим способом (ТП3). Выращивание биомассы на питательной среде, содержащей технический изолят белка подсолнечника (ТИБП), ведут в аппаратах с барботажной системой аэрации. Готовый инокулят непрерывно подают в ферментер в соотношении 1/10 рабочего объема аппарата. Культивирование проводят при pH 6,8–7,0 и температуре 35–37 °С. Время пребывания среды в аппарате 12 ч. Для регуляции pH среды с помощью насоса из сборника подается 10 %-ный раствор соляной кислоты или 10 %-ный раствор аммиачной воды. Для контроля роста культуры производится отбор проб через каждые 4 и 12 ч с последующим определением КОЕ/мл и концентрации витаминов группы В. Показатель КОЕ/мл в конце ферментации должен составлять не менее 10^{10} КОЕ/мл, а содержание витамина B_{12} в культуральной жидкости не менее 5 мг/л. Отработанный воздух поступает в систему очистки газо-воздушных выбросов.

Таблица 4. Описание внешнего вида и потребительских свойств кормовой добавки, обогащенной витаминами группы В

Table 4. Appearance and consumer properties of the feed additive fortified with B vitamins

№	Наименование показателей	Характеристика и значение показателей
1	Внешний вид	В виде порошка
2	Цвет	Зеленый
3	Запах	Не обладает специфическим запахом
4	Влажность, %, не более	5,0
5	Содержание сырого протеина, % на сухое вещество, не менее	60,0
6	Содержание растворимого протеина, % на сухое вещество, не менее	60,0
7	Содержание липидов, % на сухое вещество, не более	0,5
8	Содержание поваренной соли, % на сухое вещество, не более	1,0
9	Содержание неорганических веществ % на сухое вещество, не более	1,0

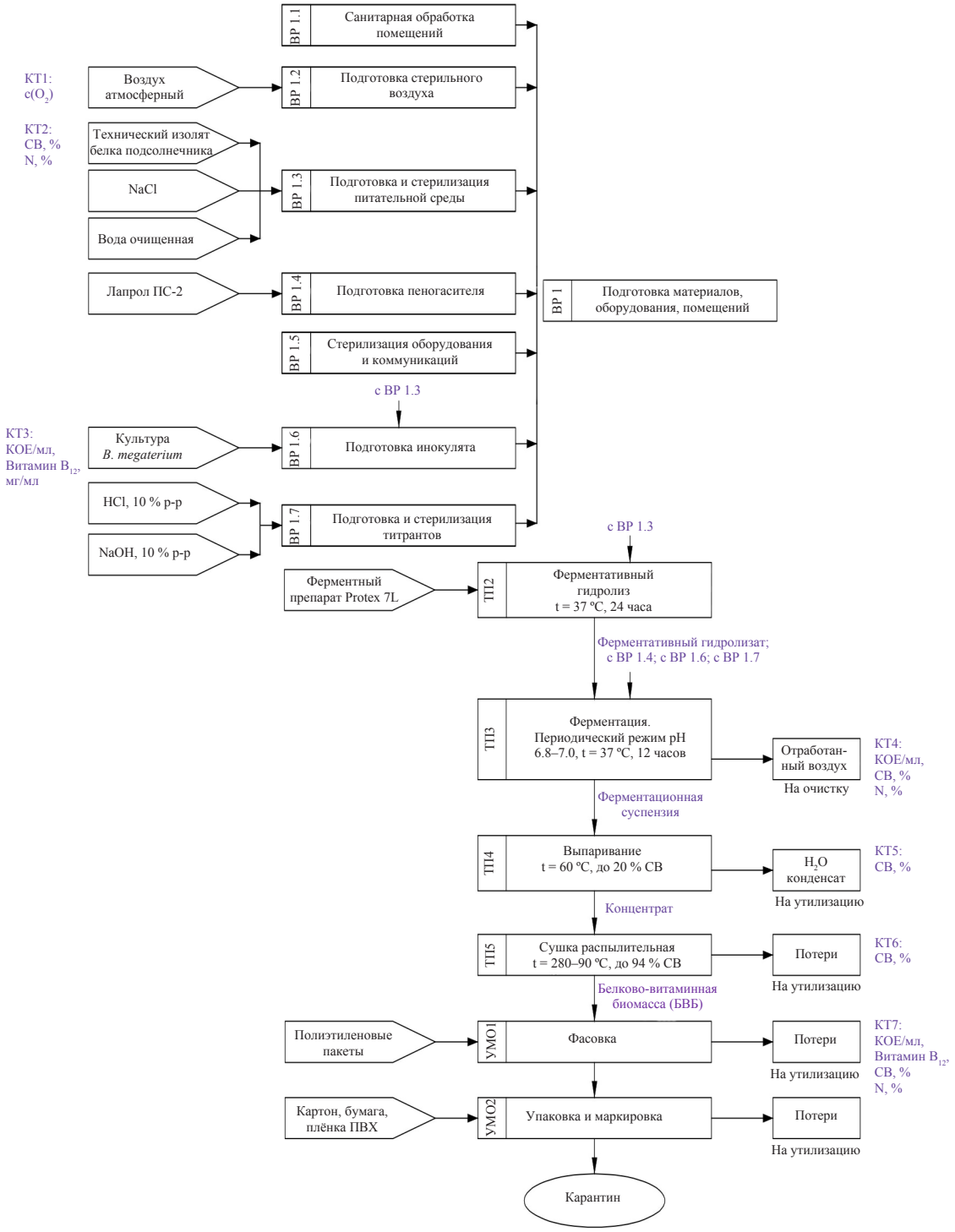


Рисунок 5. Принципиальная технологическая схема производства кормовой биомассы, обогащенной витаминами группы В

Figure 5. Basic technological scheme for the production of feed biomass fortified with B vitamins

Сгущение ферментационной суспензии осуществляют с применением вакуумных выпарных аппаратов до достижения показателя СВ 20–30 % в течение 5 ч (ТП4). Потери на станции концентрирования составляют 10 %.

Бактериальную суспензию после ТП4 доводят до остаточной влажности 10 % с использованием распылительной сушилки (ТП5). Концентрат из сборника направляется в дисковый распылитель, расположенный в верхней части распылительной

Таблица 5. Сводная таблица основных технико-экономических показателей проектируемого предприятия

Table 5. Technical and economic indicators of the business project

Наименование показателя	Единица измерения	Показатели продукта
Годовой выпуск продукции в натуральном выражении	кг	104
Капитальные затраты	тыс. руб	61768
Удельные капитальные вложения	руб	507
Полная себестоимость единицы продукции	руб	413,25
Полная себестоимость годового выпуска продукции	руб	42978
Стоимость годового выпуска продукции	руб	85956
Валовая прибыль от реализации	руб	42978
Чистая прибыль	руб	30698,6
Стоимость основных производственных фондов	руб	41218000
Стоимость нормируемых оборотных средств	руб	3200000
Рентабельность продукции	%	71,4
Срок окупаемости капитальных затрат	год	1,5

сушилки. Вращение распыливающего диска осуществляется с помощью электропривода. Концентрат проходит по радиальным каналам диска и под влиянием центробежной силы превращается в мелкие капли с размерами 5–100 мкм. Эти капли оседают на коническое днище сушилки в течение нескольких секунд. За это время происходит сушка биомассы до влажности 10 %. В качестве теплоносителя используются топочные газы, полученные при полном сгорании топлива и разбавленные атмосферным воздухом до 300–350 °С. В качестве топлива в теплогенераторе сжигается мазут. Также можно использовать природный газ. Температура теплоносителя на выходе из аппарата после контакта с мелкодисперсной суспензией (испарение воды) составляет 90–95 °С. Суспензия поступает на сушку с температурой 75 °С. Основное количество (80–85 %) высушенной биомассы отбирается в конусной части сушильной камеры.

Высушенная биомасса подается в батарею циклонов по пневматической трубе, где происходит отделение биомассы от воздушного потока. Сухая биомасса в виде порошка отбирается в самой нижней части его конуса и из нижней части батареи циклонов. Выделяющиеся из него газо-воздушные выбросы направляются на очистку. Затем сухая биомасса бактерий поступает на упаковку и маркировку готовой продукции. Отработанный воздух поступает в систему очистки газо-воздушных выбросов.

Готовый продукт кормового назначения с влажностью 10 % подается в бункер (ТП6). Далее биомасса перемещается на автоматические весы для взвешивания и упаковывается в крафт-мешки с клапанами в соответствии с ГОСТ 2226-88. С помощью транспортера и электропогрузчика мешки на поддонах размещаются в штабеля на складе (ГОСТ 20083-74).

Основное назначение готовой продукции – добавка кормового назначения для сельскохозяйственной птицы и скота, обогащенная витаминами группы В. Продукт по органолептическим, химико-технологическим и микробиологическим показателям должен соответствовать требованиям, приведенным в таблице 4.

Оптимальные условия для хранения кормового продукта: в закрытых пластиковых пакетах при температуре до 20 °С и при влажности воздуха не более 80 %. Хранить в темном месте. Необходимые данные, указываемые на упаковке: название, дата производства и фасовки, номер партии и процентное содержание сырого протеина. Срок годности – 1 год.

На основании полученных результатов были рассчитаны основные технико-экономические показатели процесса получения кормовой биомассы *B. megaterium* мощностью 100 кг/год (табл. 5). По результатам расчетов замена коммерческого мясного пептона на ферментативный гидролизат белка подсолнечника, полученный с применением ферментного препарата Protex 7L, позволяет снизить себестоимость кормовой добавки в 3 раза: с 1266 до 413 руб за 1 кг в результате снижения затрат на сырье.

Выводы

Аминокислотный анализ ферментативных гидролизатов изолята белка подсолнечника показал, что при обработке ферментным препаратом Protex 7L гидролиз протекает эффективно. Концентрация аминного азота в гидролизате составляет 784 мг/л. Содержание свободных аминокислот в гидролизате значительно превышает содержание аминокислот в исходном изоляте белка подсолнечника. Показано, что ферментативные гидролизаты изолята белка подсолнечника могут быть использованы в качестве единственного источника питательных веществ при культивировании *Bacillus megaterium*.

В данной работе представлены результаты разработки технологической части проекта

производства бактериальной биомассы *B. megaterium* кормового назначения мощностью 100 кг/год.

Себестоимость белково-витаминной биомассы (БВБ) сильно варьируется в зависимости от штамма-продуцента, субстратов, на которых происходит культивирование. Технология биосинтеза БВБ в промышленных масштабах до сих пор находится на стадии разработки. Последние результаты исследований в данной области, позволяющие повысить эффективность и удешевить масштабное производство БВБ, помогут значительно увеличить показатели данного производства.

Расчетная стоимость получаемой продукции бактериальной биомассы *B. megaterium* кормового назначения составляет 413 руб/кг, в то время как рыночная цена может составлять 826 руб/кг. Это позволяет достичь хороших технико-экономических показателей производства со сроком окупаемости 1,5 года.

Таким образом, замена коммерческого мясного пептона на ферментативный гидролизат белка подсолнечника, полученный с применением препарата Protex 7L, позволяет сократить себестоимость 1 кг кормовой добавки в 3 раза без оказания негативного влияния на рост культуры. Сверхпродукция витаминов группы В штаммом *B. megaterium* на среде, содержащей гидролизат белка подсолнечника, требует оптимизации условий культивирования.

Критерии авторства

А. В. Баурина – программное обеспечение исследования, экспериментальная работа, обработка данных, написание исходного текста публикации, подготовка финального текста публикации и визуализация. Д. В. Баурин – концептуализация, методология, подготовка финального текста публикации, формальный анализ. И. В. Шакир – методология исследования, валидация, подготовка финального текста публикации, администрация проекта. В. И. Панфилов – концептуализация, ресурсы, общее руководство проектом, администрация проекта.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

A.V. Baurina provided software and visualization, performed experimental work, processed the data, drafted the manuscript, and proofread the final text. D.V. Baurin designed the research concept and methodology, prepared the final manuscript, and performed the formal analysis. I.V. Shakir developed the research methodology, validated the results, worked on the final text, and supervised the project. V.I. Panfilov helped to develop the concept, provided resources, performed the general project management, and supervised the project.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Bio-processing of agro-industrial wastes for production of food-grade enzymes: Progress and prospects / P. S. Panesar, R. Kaur, G. Singla [et al.] // Applied Food Biotechnology. – 2016. – Vol. 3, № 4. – P. 208–227. https://doi.org/10.22037/afb.v3i4.13458.

2. The role of the anabolic properties of plant-versus animal-based protein sources in supporting muscle mass maintenance: A critical review / I. Berrazaga, V. Micard, M. Gueugneau [et al.] // Nutrients. – 2019. – Vol. 11, № 8. https://doi.org/10.3390/nu11081825.

3. The environmental cost of protein food choices / J. Sabaté, K. Sranacharoenpong, H. Harwatt [et al.] // Public Health Nutrition. – 2015. – Vol. 18, № 11. – P. 2067–2073. https://doi.org/10.1017/S1368980014002377.

4. Multi-objective optimization of solid/liquid extraction of total sunflower proteins from cold press meal / S. Albe Slabi, C. Mathe, M. Basselin [et al.] // Food Chemistry. – 2020. – Vol. 317. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126423.

5. Белковый потенциал семян подсолнечника. Исследования процессов получения пищевых белков из подсолнечного шрота / М. Л. Доморощенкова, Т. Ф. Демьяненко, И. В. Крылова [и др.] // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров. – 2020. – № 1–2. – С. 24–29.

6. Protein extracts from de-oiled sunflower cake: Structural, physico-chemical and functional properties after removal of phenolics / B. G. Subaşı, F. Casanova, E. Capanoglu [et al.] // Food Bioscience. – 2020. – Vol. 38. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100749.

7. Optimization of sunflower albumin extraction from oleaginous meal and characterization of their structure and properties / A. S. Sara, C. Mathé, M. Basselin [et al.] // Food Hydrocolloids. – 2020. – Vol. 99. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105335.

8. Green chemistry for the optimum technology of biological conversion of vegetable waste / A. S. Makarova, D. V. Baurin, M. G. Gordienko [et al.] // Sustainable Production and Consumption. – 2017. – Vol. 10. – P. 66–73. https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.12.003.

9. The effectiveness of dietary sunflower meal and exogenous enzyme on growth, digestive enzymes, carcass traits, and blood chemistry of broilers / M. Alagawany, A. I. Attia, Z. A. Ibrahim [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. – 2017. – Vol. 24, № 13. – P. 12319–12327. https://doi.org/10.1007/s11356-017-8934-4.

10. Гавилей, Е. В. Влияние частичной замены соевого шрота подсолнечным концентратом в рационе цыплят-бройлеров на продуктивность и физиологическое состояние птицы / Е. В. Гавилей, С. Н. Панькова, О. А. Катеринич // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – 2020. – № 23–1. – С. 120–127.

11. Mustafayev, S. K. Organization of fodder production based on sunflower seed waste / S. K. Mustafayev, E. O. Smychagin // Advances in Engineering Research. – 2018. – Vol. 157. – P. 429–434.

12. Fang, H. Microbial production of vitamin B_{12}: a review and future perspectives / H. Fang, J. Kang, D. Zhang // Microbial Cell Factories. – 2017. – Vol. 16, № 1. https://doi.org/10.1186/s12934-017-0631-y.

13. Improved propionic acid and 5,6-dimethylbenzimidazole control strategy for vitamin B12 fermentation by *Propionibacterium freudenreichii* / P. Wang, Z. Zhang, Y. Jiao [et al.] // Journal of Biotechnology. – 2015. – Vol. 193. – P. 123–129. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2014.11.019.

14. Vitamin B_{12} biosynthesis over waste frying sunflower oil as a cost effective and renewable substrate / H. Hajfarajollah, B. Mokhtarani, H. Mortaheb [et al.] // Journal of Food Science and Technology. – 2015. – Vol. 52, № 6. – P. 3273–3282. https://doi.org/10.1007/s13197-014-1383-x.

15. Establishment of beet molasses as the fermentation substrate for industrial vitamin B_{12} production by *Pseudomonas denitrificans* / K.-T. Li, W.-F. Peng, J. Zhou [et al.] // Journal of Chemical Technology and Biotechnology. – 2013. – Vol. 88, № 9. – P. 1730–1735. https://doi.org/10.1002/jctb.4025.

16. Microbial cell factories for the sustainable manufacturing of B vitamins / C. G. Acevedo-Rocha, L. S. Gronenberg, M. Mack [et al.] // Current Opinion in Biotechnology. – 2019. – Vol. 56. – P. 18–29. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2018.07.006.

17. Conversion of potato industry waste into fodder yeast biomass / P. Patelski, J. Berlowska, M. Balcerek [et al.] // Processes. – 2020. – Vol. 8, № 4. https://doi.org/10.3390/pr8040453.

18. Sunflower protein enzymatic hydrolysates as a medium for vitamin B2 and B12 biosynthesis / D. V. Baurin, J. M. Epishkina, A. V. Baurina [et al.] // Chemical Engineering Transactions. – 2020. – Vol. 79. – P. 145–150. https://doi.org/10.3303/CET2079025.

19. Ultrasound pretreatment of sunflower protein: Impact on enzymolysis, ACE-inhibition activity, and structure characterization / M. Dabbour, R. He, B. Mintah [et al.] // Journal of Food Processing and Preservation. – 2020. – Vol. 44, № 4. https://doi.org/10.1111/jfpp.14398.

20. Localized enzymolysis and sonochemically modified sunflower protein: Physical, functional and structure attributes / M. Dabbour, J. Xiang, B. Mintah [et al.] // Ultrasonics Sonochemistry. – 2020. – Vol. 63. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104957.

References

1. Panesar PS, Kaur R, Singla G, Sangwan RS. Bio-processing of agro-industrial wastes for production of food-grade enzymes: Progress and prospects. Applied Food Biotechnology. 2016;3(4):208–227. https://doi.org/10.22037/afb.v3i4.13458.

2. Berrazaga I, Micard V, Gueugneau M, Walrand S. The role of the anabolic properties of plant-versus animal-based protein sources in supporting muscle mass maintenance: A critical review. Nutrients. 2019;11(8). https://doi.org/10.3390/nu11081825.

3. Sabaté J, Sranacharoenpong K, Harwatt H, Wien M, Soret S. The environmental cost of protein food choices. Public Health Nutrition. 2015;18(11):2067–2073. https://doi.org/10.1017/S1368980014002377.

4. Albe Slabi S, Mathe C, Basselin M, Framboisier X, Ndiaye M, Galet O, et al. Multi-objective optimization of solid/liquid extraction of total sunflower proteins from cold press meal. Food Chemistry. 2020;317. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126423.

5. Domoroshchenkova ML, Demjanenko TF, Krilova IV, Kamisheva IM. Protein opportunities of sunflower seeds. Research of processes of food protein production from sunflower oil meal. Vestnik of the All-Russia Scientific Research Institute of Fats. 2020;(1–2):24–29. (In Russ.).

6. Subaşı BG, Casanova F, Capanoglu E, Ajalloueian F, Sloth JJ, Mohammadifar MA. Protein extracts from de-oiled sunflower cake: Structural, physico-chemical and functional properties after removal of phenolics. Food Bioscience. 2020;38. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100749.

7. Sara AS, Mathé C, Basselin M, Fournier F, Aymes A, Bianeis M, et al. Optimization of sunflower albumin extraction from oleaginous meal and characterization of their structure and properties. Food Hydrocolloids. 2020;99. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105335.

8. Makarova AS, Baurin DV, Gordienko MG, Kudryavtseva EI. Green chemistry for the optimum technology of biological conversion of vegetable waste. Sustainable Production and Consumption. 2017;10:66–73. https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.12.003.

9. Alagawany M, Attia AI, Ibrahim ZA, Mahmoud RA, El-Sayed SA. The effectiveness of dietary sunflower meal and exogenous enzyme on growth, digestive enzymes, carcass traits, and blood chemistry of broilers. Environmental Science and Pollution Research. 2017;24(13):12319–12327. https://doi.org/10.1007/s11356-017-8934-4.

10. Gaviley EV, Pan′kova SN, Katerinich OA. Vliyanie chastichnoy zameny soevogo shrota polsolnechnym kontsentratom v ratsione tsyplyat-broylerov na produktivnost′ i fiziologicheskoe sostoyanie ptitsy [Influence of partial replacement of soybean meal with sunflower concentrate in broiler chicken ration on productivity and physiological state of poultry]. Aktual′nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva [Actual problems of intensive development animal husbandry]. 2020;(23–1):120–127. (In Russ.).

11. Mustafayev SK, Smychagin EO. Organization of fodder production based on sunflower seed waste. Advances in Engineering Research. 2018;157:429–434.

12. Fang H, Kang J, Zhang D. Microbial production of vitamin B_{12}: a review and future perspectives. Microbial Cell Factories. 2017;16(1). https://doi.org/10.1186/s12934-017-0631-y.

13. Wang P, Zhang Z, Jiao Y, Liu S, Wang Y. Improved propionic acid and 5,6-dimethylbenzimidazole control strategy for vitamin B12 fermentation by *Propionibacterium freudenreichii*. Journal of Biotechnology. 2015;193:123–129. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2014.11.019.

14. Hajfarajollah H, Mokhtarani B, Mortaheb H, Afaghi A. Vitamin B_{12} biosynthesis over waste frying sunflower oil as a cost effective and renewable substrate. Journal of Food Science and Technology. 2015;52(6):3273–3282. https://doi.org/10.1007/s13197-014-1383-x.

15. Li K-T, Peng W-F, Zhou J, Wei S-J, Cheng X. Establishment of beet molasses as the fermentation substrate for industrial vitamin B_{12} production by *Pseudomonas denitrificans*. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2013;88(9):1730–1735. https://doi.org/10.1002/jctb.4025.

16. Acevedo-Rocha CG, Gronenberg LS, Mack M, Commichau FM, Genee HJ. Microbial cell factories for the sustainable manufacturing of B vitamins. Current Opinion in Biotechnology. 2019;56:18–29. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2018.07.006.

17. Patelski P, Berlowska J, Balcerek M, Dziekonska-Kubczak U, Pielech-Przybylska K, Dygas D, et al. Conversion of potato industry waste into fodder yeast biomass. Processes. 2020;8(4). https://doi.org/10.3390/pr8040453.

18. Baurin DV, Epishkina JM, Baurina AV, Shakir IV, Panfilov VI. Sunflower protein enzymatic hydrolysates as a medium for vitamin B2 and B12 biosynthesis. Chemical Engineering Transactions. 2020;79:145–150. https://doi.org/10.3303/CET2079025.

19. Dabbour M, He R, Mintah B, Golly MK, Ma H. Ultrasound pretreatment of sunflower protein: Impact on enzymolysis, ACE-inhibition activity, and structure characterization. Journal of Food Processing and Preservation. 2020;44(4). https://doi.org/10.1111/jfpp.14398.

20. Dabbour M, Xiang J, Mintah B, He R, Jiang H, Ma H. Localized enzymolysis and sonochemically modified sunflower protein: Physical, functional and structure attributes. Ultrasonics Sonochemistry. 2020;63. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104957.

2021 Т. 51 № 1 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-146-158
УДК 642.59

Оригинальная статья
http://fptt.ru

Управление монетизацией в ресторанном бизнесе

И. Д. Котляров

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Санкт-Петербург, Россия

Дата поступления в редакцию: 12.01.2021

Дата принятия в печать: 09.02.2021

**e-mail: ivan.kotliarov@mail.ru*

© И. Д. Котляров, 2021

Аннотация.

Введение. Традиционная модель деятельности ресторанов характеризуется асимметрией между структурой комплексной услуги ресторана и структурой платы, взимаемой с клиентов. Эта асимметрия ведет к взаимному недовольству клиентов и ресторанов и отрицательно сказывается на эффективности заведений. Это обуславливает потребность в разработке новых подходов к монетизации услуги ресторана, которые бы учитывали ее комплексный характер.

Объекты и методы исследования. Работа основана на анализе практики ресторанного бизнеса. Основное внимание уделено case study сети ресторанов True Cost как типичного представителя модели «честных цен» (true cost).

Результаты и их обсуждение. Работа содержит подробное описание неэкономических и экономических инструментов, направленных на монетизацию комплексной услуги ресторана. Выполнен подробный анализ новой модели true cost («честные цены»), предполагающей отдельную тарификацию услуги по предоставлению места для потребления еды и заказанных блюд. Раскрыта экономическая сущность этой модели, предполагающая выстраивание прямой связи между платежами клиентов, элементами комплексной услуги ресторана и компонентами затрат (постоянными и переменными). Показаны достоинства и недостатки этой модели. Построена структурированная система моделей монетизации в ресторанном бизнесе. Рассмотрена возможность переноса модели true cost в другие отрасли сектора услуг.

Выводы. Традиционная модель монетизации комплексной услуги ресторанов, основанная на включении всех издержек заведения в стоимость продаваемых блюд, не в полной мере обеспечивает интересы ресторанов. Заведениям общественного питания при ценообразовании необходимо монетизировать свою комплексную услугу. Для этого они могут прибегать к отдельной тарификации элементов этой услуги.

Ключевые слова. Ресторан, ресторанный бизнес, общественное питание, монетизация, ценообразование, управление доходами, комплексная услуга, true cost

Для цитирования: Котляров, И. Д. Управление монетизацией в ресторанном бизнесе / И. Д. Котляров // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 146–158. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-146-158.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

Monetization Management in Restaurant Business

Ivan D. Kotliarov

National Research University Higher School of Economics, St. Petersburg, Russia

Received: January 12, 2021

Accepted: February 09, 2021

**e-mail: ivan.kotliarov@mail.ru*

© I.D. Kotliarov, 2021

Abstract.

Introduction. The traditional model of restaurant business demonstrates an asymmetry between the structure of the complex service provided by restaurants and the structure of the customer payments, as restaurants normally charge only the price of meals while providing customers with a place for eating and offering them waiter services. This asymmetry creates mutual misunderstanding between restaurants and customers and undermines the performance of restaurants. Therefore, it creates a demand for a new model of monetization of restaurant service that would take into account the complex nature of these services.

Study objects and methods. The paper reviews the existing practice of restaurant business. It focuses on the case study of the True Cost restaurant chain (Moscow, Russia), which is a typical example of the “true cost” model. Models of monetization are structured on the basis of strategic matrices method.

Results and discussion. The author described the non-economic and economic tools that can be used to capture the value created by the complex restaurant service and built a hierarchical model of monetization system. The “true cost” monetization model sets up separate prices for meals and dining room. The economic nature of this model presupposes a direct link between elements of customers’ payments, elements of the complex service provided by restaurants, and elements of cost – fixed and variable. The author defined advantages and disadvantages of the “true cost” model and assessed the possibility of using it in other sectors of service industry. The paper also introduces a structured system of monetization models in restaurant business.
Conclusion. The tradition monetization model blurs the nature of the restaurant services and reduces the financial results. Restaurants should implement monetization models that valorize all elements of the complex service. This goal can be achieved by pricing different elements of the complex service separately.

Keywords. Restaurant, restaurant business, catering, monetization, pricing, revenue management, complex service, true cost

For citation: Kotliarov ID. Monetization Management in Restaurant Business. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):146–158. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-146-158.

Введение

Особенностью ресторанов как заведений общественного питания является наличие асимметрии между структурой их услуги и структурой платы на нее (и структурой выручки). Они оказывают клиентам комплексную услугу, состоящую из нескольких отдельных элементов (продажа приготовленной под заказ еды, предоставление места для потребления еды и обслуживание клиента) [1, 2]. Но плата, взимаемая с посетителя, привязывается только к количеству блюд. Стоимость всех услуг, оказываемых рестораном, традиционно включается в цену еды (отдельно они не тарифицируются). Такую модель монетизации комплексной услуги ресторана мы будем называть традиционной парадигмой монетизации. Ее также можно описать как косвенную модель монетизации, поскольку элементы комплексной услуги ресторана монетизируются не напрямую, а через оплату еды.

Следствием этой асимметрии является то, что создается пространство для взаимного недовольства клиентов и ресторанами друг другом:

– для клиента стоимость еды в ресторане выглядит завышенной, поскольку она намного превосходит стоимость тех продуктов, из которых ее приготовили (из-за того, что она включает в себя издержки на предоставление всех элементов комплексной услуги). Клиенту неясно, почему он должен сильно переплачивать за блюдо, которое он мог бы приготовить дома из самостоятельно купленных продуктов;

– заказывающие мало еды клиенты нерентабельны для ресторана, особенно если они проводят в ресторане много времени (например, когда клиент пьет одну чашечку кофе в течение нескольких часов; эта ситуация была увековечена в знаменитом советском фильме «Место встречи изменить нельзя», где находящийся на задании в ресторане сотрудник угрозыска Шарапов вызвал острое недовольство официантки тем, что заказывал слишком мало). Взимаемая с таких клиентов плата слишком мала, чтобы окупить издержки заведения на их обслуживание официантами и предоставления места для потребления еды (хотя заказанную ими еду они формально оплачивают в полном объеме). С точки зрения ресторана эти клиенты злоупотребляют возможностью получения отдельно не тарифицируемых элементов комплексной слуги (прежде всего – использование места для потребления еды, а фактически – для проведения времени).

В этой ситуации менеджменту ресторана необходимо, с одной стороны, добиться того, чтобы клиенты оплачивали полную стоимость комплексной услуги, предоставляемой рестораном, а с другой – чтобы стоимость питания в ресторане была для клиентов приемлемой. Иными словами, необходимо монетизировать все элементы комплексной услуги, а не только предлагаемую еду, как при традиционном подходе. Первая задача заключается в недопущении бесплатного использования клиентами ресторана как места проведения времени, а также в стимулировании оплаты клиентами услуг официантов (хотя официанты и получают зарплату, чаевые играют важную роль в их доходе). В настоящее время, когда сектор общественного питания столкнулся со значительными трудностями, разработка инструментов для решения этих двух задач имеет большое значение [3].

Решить эти проблемы ресторан может при помощи управления политикой монетизации путем устранения асимметрии между структурой своей комплексной услуги и структурой выручки. В настоящее время в сфере общественного питания накоплен достаточно большой практический опыт в этой области. Однако он пока не получил отражения в научной и практической литературе. Отечественные и зарубежные исследователи сосредотачиваются на проблемах формирования цен на еду и способах максимального учета в этих ценах полных издержек заведения и воспринимаемой потребителем ценности услуги, т. е. остаются в рамках традиционной парадигмы монетизации, которая порождает упомянутое выше противоречие [2, 4–11]. В зарубежных публикациях большое внимание уделяется управлению доходами (англ. revenue

management) [12–18]. Однако эти работы посвящены не монетизации ключевых элементов комплексной услуги ресторана, а повышению выручки за счет дополнительных сборов (плата за бронирование, учет времени пребывания в заведении, дифференциация цен в зависимости от местоположения столиков, привязка цен к времени суток и т. д.), направленных на рост эффективности использования ресурсов ресторана с учетом покупательского спроса и предоставляемых клиентам дополнительных услуг. Эти меры позволяют повысить доход от каждого клиента и за счет этого создать условия для более полной оплаты комплексной услуги ресторана. Однако содержательно они не выходят за пределы традиционной парадигмы монетизации и не устраняют асимметрию между структурой выручки и структурой услуги. В практической литературе описываются примеры отдельных заведений, применяющих те или иные решения в области монетизации, отклоняющиеся от традиционной парадигмы. Однако этот опыт не обобщается и не систематизируется.

Таким образом, несмотря на большое количество отечественных и зарубежных публикаций, освещающих на вопросы формирования выручки ресторанов, проблематика монетизации заведений общественного питания в них не рассматривается. Поскольку именно модель монетизации определяет то, каким образом формируется выручка, этот пробел в научной и прикладной литературе представляется значимым и нуждающимся в устранении. С теоретической точки зрения есть потребность в осмыслении и обобщении тех моделей монетизации, которые используются (и могут использоваться) в деятельности ресторанов для выявления их экономической природы. С практической точки зрения руководители ресторанов нуждаются в комплексной картине существующих моделей монетизации (с анализом их достоинств и недостатков), поскольку наличие такой картины позволит им выбрать оптимальную, с учетом специфики их бизнеса, модель монетизации.

Данная статья представляет собой попытку выполнить анализ моделей монетизации в ресторанном бизнесе на основе представления о комплексном характере услуги ресторана и принимая во внимание необходимость, с одной стороны, обеспечить полную оплату за комплексную услугу ресторана, а с другой – минимизировать противоречие между рестораном и клиентом, касающееся стоимости блюд.

Далее мы будем выделять в услуге ресторана два компонента: продовольственный (предоставление клиентам питания) и непродовольственный (предоставление места для потребления пищи и организация обслуживания официантами). Вопросы, связанные с дополнительными сборами (плата за бронирование) и платой за дополнительные услуги (возможность зарядки мобильного телефона и т. д.), рассматриваться не будут. Мы будем анализировать только проблему привязки платежей, взимаемых с клиентов, к основным элементам комплексной услуги ресторана.

Объекты и методы исследования

Обзор практики формирования цен на услуги ресторанов (представленный в первой части исследования) выполнен на основе личного опыта авторов, а также материалов о деятельности заведений общественного питания, представленных в общедоступных источниках в сети Интернет [13–15]. Анализ модели «честных цен» (true cost) выполнен на базе case study сети ресторанов True Cost (г. Москва) как типичного представителя этой модели и лидирующего заведения данного формата в России. Информация для case study получена на сайте сети ресторанов True Cost и в профессиональных отраслевых обзорах, а также на сайте отзывов клиентов otzovik.ru [16–18].

Исследование основано на общенаучном методе анализа и синтеза. Описание достоинств и недостатков модели true cost представлено в виде стратегической матрицы 2×2 [19]. Также на методе стратегических матриц основана система моделей ценообразования в ресторанном бизнесе.

Путаницу может создать то, что название исследуемой сети ресторанов True Cost совпадает с анализируемой моделью ценообразования true cost. Чтобы избежать смешения, название сети будет в тексте статьи писаться с большой буквы, а название модели монетизации – с маленькой.

Для дальнейшего исследования важно разграничить понятия монетизации, управления доходами и ценообразования. Под монетизацией мы понимаем формирование связи между ценностью, предлагаемой заведением, и платой, взимаемой с клиентов, т. е. определение канала, посредством которого ценность для клиента будет превращаться в выручку для предприятия [20]. При выборе монетизации предприятие решает, за что и с кого оно будет взимать плату. Управление доходами представляет собой выбор инструментов, которые будут использоваться для максимизации совокупной выручки (в т. ч. и за счет дополнительных платежей, взимаемых с клиентов) [18]. Ценообразование можно определить как выбор конкретной методики расчета количественного значения платы за услугу ресторана. Отношения между этими понятиями можно представить в иерархическом виде (табл. 1). В совокупности выбор моделей монетизации, управления доходами и ценообразования формирует систему монетизации.

Таблица 1. Система монетизации

Table 1. Monetization system

Элементы системы монетизации		Сущность	Примеры
Монетизация		Выбор способа привязки платы, взимаемой с клиента, к элементам ценности комплексной услуги	Привязка платы за услугу ресторана только к количеству потребленных блюд
Управление доходами		Выбор инструментов повышения совокупной выручки	Привязка цен к величине потребительского спроса в зависимости от времени суток
Ценообразование		Выбор конкретной модели расчета цены	Определение величины наценки к блюдам в зависимости от времени суток

Иерархия уровней системы монетизации показывает важность модели монетизации для эффективного функционирования всей системы.

Как уже говорилось выше, в отечественных работах основное внимание уделяется именно моделям ценообразования в заведениях общественного питания. В иностранных работах, наряду с этой проблемой, освещаются вопросы управления доходами. В нашем исследовании мы сосредоточимся на высшем уровне системы монетизации, т. е. на ее моделях.

Результаты и их обсуждение

Инструменты монетизации комплексной услуги ресторана. Для решения описанных выше задач ресторан может использовать неэкономические и экономические инструменты, направленные на монетизацию комплексной услуги ресторана. Под неэкономическими мерами понимаются разнообразные способы запрещающего или убеждающего воздействия на клиентов, призванные побудить их оплачивать непродовольственный элемент услуги ресторана (или осуществлять платеж за комплексную услугу ресторана в объеме, достаточном для оплаты не только продовольственного, но и непродовольственного компонента). При неэкономических мерах сохраняется модель ценообразования, основанная на тарификации только продовольственного компонента услуги. Экономические меры представляют собой совокупность инструментов для взимания обязательной платы с клиентов на непродовольственный компонент услуги. Как экономические, так и убеждающие неэкономические меры могут быть явными и неявными. В случае явных мер определенные элементы комплексной услуги ресторана выделяются в качестве самостоятельных, о чем сообщается клиенту. При неявных мерах такое выделение отсутствует. Экономические меры предполагают отдельную тарификацию непродовольственного компонента (в явной или неявной форме). Эти виды мер не обязательно противопоставляются друг другу и могут использоваться совместно.

К запретительным мерам относятся:

– запрет на пребывание в ресторане без заказа еды. В этом случае клиенту необходимо либо заказать еду, либо покинуть заведение. Эта мера направлена на то, чтобы клиент не пребывал в помещении бесплатно;

– прямой запрет на потребление в ресторане своей еды. Поскольку в ресторане тарифицируется только еда, то возможность потребления своих продуктов сокращает заказ клиента и ведет к убытку. Отметим, что при всей очевидности этой меры она при ее необдуманном применении неудобна клиентам и может принести убыток самому ресторану. Эта проблема ярко проявляется в ситуациях семей с детьми: ресторан нравится родителям, но ребенок может отказаться от всех позиций в меню (как взрослого, так и детского) и настаивать на картошке фри из McDonald’s (расположенного рядом с этим рестораном, куда родители могут быстро за ней сходить). Если менеджер ресторана не пойдет на компромисс и не разрешит ребенку есть эту картошку, то семье проще уйти (поскольку иначе времяпрепровождение будет безнадежно испорчено). В результате клиенты остаются недовольными, а ресторан, из опасения недополучить выручку от заказа, лишается заказа целиком.

Убеждающие меры направлены на стимулирование потребления еды в объеме, достаточном для окупаемости услуги ресторана. Например, один из ресторанов в Санкт-Петербурге разместил у себя на дверях объявление, в котором предлагает своим клиентам, пришедшим провести переговоры, не ограничиваться чашкой кофе, а заказывать бизнес-ланч. Однако речь идет именно о предложении, а не об обязательном требовании. Поскольку здесь нет выделенной платы за отдельные элементы комплексной услуги ресторана, то этот инструмент можно отнести к неявным убеждающим мерам.

В случае явных убеждающих мер плата за непродовольственный элемент услуги не устанавливается и не является обязательной, но при этом клиенту говорится о желательности его оплаты. Классический пример – указание в меню или в счете на то, что чаевые официанту (т. е. плата

за обслуживание) не являются обязательными, но приветствуются.

Недостатком запретительных мер является их чрезмерная жесткость для клиентов, а убеждающие меры не дают для ресторана гарантированного результата.

При экономических мерах ресторан явно или неявно прибегает к отдельной тарификации непродовольственного элемента услуги. Под неявной тарификацией мы понимаем введение пороговой величины оплаты без ее разбивки по элементам комплексной услуги. К неявной тарификации мы можем отнести следующие ситуации:

1. Плата за непродовольственный элемент напрямую не назначается, но ресторан устанавливает минимальную фиксированную цену своей комплексной услуги (т. е. цену входного билета, которая включает в себя стоимость блюд, входящих в будущий заказ). При посещении ресторана клиент обязан оплатить эту цену. При заказе блюд их стоимость вычитается из этой цены. Если клиент заказал еды на сумму меньшую, чем цена посещения заведения, то разница ему не возвращается. Если же он хочет заказать на большую сумму, то ему необходимо доплатить разницу между ценой посещения заведения и дополнительным заказом. При использовании этой модели ресторан получает гарантированный доход от каждого клиента, который покрывает стоимость как продовольственного, так и непродовольственного компонента комплексной услуги. Важно подчеркнуть, что прибыль от каждого клиента не ниже гарантированной: если клиент заказал еды на сумму, меньшую цены входного билета, то прибыль выше суммарной величины наценки в абсолютном выражении, а если заказ превышает цену билета, то прибыль равна суммарной величине наценки (и соответствует среднему уровню наценки).

В разновидности этой модели в стоимость входного билета включается фиксированный набор блюд. Это может происходить в ресторанах, которые в определенные часы переходят на обслуживание только бизнес-ланчей (т. е. заказ других блюд либо невозможен, либо допускается только в дополнение к бизнес-ланчу).

Эту модель не следует путать с ситуацией разовых мероприятий, когда клиент вносит обязательную фиксированную плату, в которую, наряду с развлекательной программой, входит определенный набор блюд (типичной для разнообразных торжеств, проводимых рестораном). В этом случае речь идет об оплате праздничной программы с включенным питанием, а не об обычном посещении ресторана;

2. Модель шведского стола, при котором клиент оплачивает фиксированную сумму и получает право на неограниченное потребление. Ее ключевое отличие от модели, описанной в пункте 1, заключается в том, что в случае шведского стола ресторан гарантирует себе минимальный доход от каждого клиента, но при этом не гарантирует фиксированную минимальную прибыль. Прибыль от обслуживания клиентов, потребляющих много, может быть сравнительно низкой;

3. Плата за непродовольственный компонент не является обязательной, но может взиматься в том случае, если стоимость заказанной клиентом еды меньше определенной минимальной величины. С такой схемой авторам довелось столкнуться в чайном заведении в Москве. В меню указывалось, что если стоимость заказа составит меньше установленного порога, то клиент должен будет доплатить заведению сумму, равную величине этого порога.

Явная тарификация непродовольственного элемента (когда открыто и явно указывается цена за предоставление соответствующей услуги, подлежащая обязательной оплате) используется в двух основных ситуациях:

– для оплаты услуг официантов. Речь идет о получившей широкое распространение оплате сервисного сбора, включаемого в качестве отдельной позиции в счет (отметим, что, как показывают зарубежные исследования, эта практика вызывает недовольство клиентов [21]);

– для оплаты использования помещения ресторана для потребления собственной еды и напитков. Здесь мы говорим не об аренде банкетного зала (со своими продуктами и напитками), в этом случае продовольственный компонент услуги отсутствует и такую ситуацию мы не рассматриваем, а о возможности потреблять свои продукты и напитки в помещении ресторана (как в дополнение к заказу, так и без заказа). Примером такой модели может быть пробковый сбор, представляющий собой взимание рестораном определенной платы за каждую бутылку напитка, принесенную клиентом.

Еще один пример явной тарификации – взимание платы за посещение туалета с людей, не являющихся клиентами ресторана.

Расчет платы за непродовольственный компонент услуги может осуществляться в прямой или косвенной форме. При прямой форме тарифицируется каждая единица непродовольственного компонента. При косвенной форме плата за непродовольственный компонент рассчитываются в виде доли от стоимости продовольственного компонента. Как правило, сервисный сбор тарифицируется в косвенной форме, а пробковый сбор – в прямой.

Однако перечисленные выше меры, обеспечивая ресторану плату за непродовольственный элемент услуги, не решают проблему высокой стоимости еды. Фактически они просто увеличивают издержки клиента на потребление услуги ресторана,

поскольку плата за непродовольственный компонент добавляется к стоимости продуктов, включенных в ресторанную наценку. Они решают проблему повышения эффективности деятельности ресторана, но при этом не устраняют противоречие между клиентом и заведением.

С содержательной точки зрения все перечисленные выше меры представляют собой не отказ от традиционной парадигмы ценообразования в ресторане, а лишь дополнительные инструменты, которые призваны повысить эффективность использования традиционной парадигмы в интересах заведения общественного питания. Эти меры можно отнести к инструментам управления доходами, а не новым моделям монетизации.

Модель true cost. На решение данного противоречия направлена приобретающая популярность модель true cost (англ. «настоящая стоимость» или «честная цена»). Лидером в ее применении в России является одноименная сеть ресторанов. Эта модель основана на следующих основных инструментах (однако, в зависимости от стратегии конкретного заведения, могут использоваться не все эти инструменты; кроме того, может варьироваться способ их применения) [22, 23]:

1. Все элементы комплексной услуги ресторана тарифицируются отдельно в явном виде (т. е. цена на них указывается открыто и подлежит обязательной оплате). Уровень детализации этих элементов может быть различным. Можно ограничиться выделением продовольственного и непродовольственного компонента, а можно в составе непродовольственного компонента также выделить услугу по предоставлению места для потребления еды и обслуживание официантами; возможным исключением является оплата услуг официанта;

2. Стоимость блюд равна номинальной себестоимости тех продуктов, из которых они приготовлены. Отметим, что заведения true cost в своей маркетинговой политике указывают, что стоимость блюд равна цене продуктов, но эта информация не совсем точна. При расчете цены блюд используется базовая отпускная цена поставщиков на продукты без учета скидки, которую получает ресторан за объем закупок (величина этой скидки представляет собой прибыль от продажи еды). Кроме того, к стоимости блюд добавляется небольшая наценка (в размере 15–20 %), призванная застраховать ресторан от повышения цен на продукты. Таким образом, цена блюд выше фактической себестоимости входящих в них продуктов для заведения, но значительно ниже цены аналогичных блюд в других ресторанах (и мало отличается от той цены, которую заплатил бы сам потребитель за приобретение соответствующих продуктов при их самостоятельной покупке, особенно с учетом затрат времени и иных ресурсов на их покупку);

3. При посещении заведения приобретается обязательный входной билет (стоимость которого зависит от дня и от времени суток, что делает процесс формирования цены на билет условно-динамическим). Он покупается до заказа еды. При помощи входного билета оплачивается услуга по предоставлению места для потребления еды. В стоимость билета также входит прибыль ресторана. Модель расчета цены может быть различной. В классическом варианте true cost взимается фиксированная плата за пребывание в ресторане в определенные интервалы времени (например, с 14.00 до 16.00). При этом продолжительность интервалов, на которые разбито время работы ресторана, неодинакова. Стоимость входного билета для каждого интервала также может различаться. Фактическая продолжительность пребывания клиента в течение соответствующего интервала времени на стоимость билета не влияет. В том случае, если клиент задержался и перешел в следующий интервал, то ему потребуется внести дополнительную плату. Отдельные заведения практикуют модель антикафе и взимают поминутную плату за пребывание клиента;

4. Стоимость услуг официанта оплачивается отдельно в виде сервисного сбора. Этот элемент модели является наименее обязательным: заведение может указывать на желательность оплаты чаевых, но оставлять окончательное решение на усмотрение клиента. Работа официантов в этом случае также оплачивается за счет входного билета. Кроме того, сервисный сбор может взиматься только при определенных условиях (например, при обслуживании больших компаний).

Модель true cost позволяет устранить противоречие, описанное в начале статьи. С одной стороны, ресторан получает от клиента гарантированную плату за непродовольственный компонент услуги, а с другой – у клиента возникает ощущение (возможно, пессимисты назовут его иллюзией) того, что он не переплачивает за еду (поскольку цена еды не включает стоимость непродовольственного компонента). Это ощущение имеет большое маркетинговое значение, т. к. формирует у клиента привлекательный образ услуг ресторана. Для закрепления этого впечатления в меню такого ресторана рядом с ценами на блюда указываются средние цены по городу на аналогичные позиции в других ресторанах (которые значительно выше из-за использования традиционной модели ценообразования) [22, 23].

Можно переформулировать это утверждение несколько иначе. Если с маркетинговой точки зрения рестораны, использующие такую модель, представляют ее как возможность для клиента сэкономить на потреблении еды, то с экономической

точки зрения данная схема направлена на обеспечение гарантированной (и в некотором смысле – принудительной) платы от клиента за потребление непродовольственного компонента комплексной услуги ресторана.

Взимание фиксированного платежа с клиента создает возможность пропорционально снизить цены в меню. Эта возможность, как показывает проделанный выше анализ, отсутствует при использовании традиционной парадигмы монетизации, дополненной экономическими инструментами.

Модель true cost предполагает разделение общего потока платежей, генерируемых клиентами, на самостоятельные потоки, привязанные к каждому компоненту комплексной услуги ресторана. Если оставить в стороне вопросы оплаты услуг официантов (которые в ряде случаев включаются в стоимость входного билета; чаевые не являются обязательными и отдаются на усмотрение клиента), то можно говорить о том, что формируется привязка платежей не только к отдельным элементам комплексной услуги ресторана, но и к ключевым элементам затрат (переменным и постоянным), поскольку стоимость продуктов относится к переменным затратам (эти затраты идут на создание продовольственного компонента услуги и возмещаются через плату за блюда), а оплата труда персонала и стоимость аренды помещения могут рассматриваться как постоянные затраты (эти затраты обеспечивают непродовольственный компонент услуги и возмещаются через входной билет). Таким образом, данная модель позволяет гарантировать окупаемость заведения по каждому элементу затрат. Иными словами, каждый элемент затрат окупается за счет собственного потока платежей. Поэтому данную модель монетизации можно назвать прямой (в отличие от традиционной модели, которая была описана как косвенная).

Допустима еще одна экономическая интерпретация модели true cost – стоимость входного билета направлена на возмещение трансакционных издержек (поскольку она представляет собой плату за право потреблять еду в заведении), тогда как плата за еду относится к трансформационным издержкам. Однако такое разбиение менее однозначно, чем привязка элементов оплаты к постоянным и переменным издержкам, поскольку стоимость входного билета включает в себя также и трансформационные издержки (оплата труда персонала и т. д.).

Эта модель направлена на повышение эффективности использования основного капитала предприятия общепита. Это повышение опирается на исключении платы за пользование основным капиталом заведения из единой платы за комплексную услугу ресторана и введение ее в качестве отдельного платежа.

Преимущества и недостатки модели true cost. Благодаря тому, что цена самих блюд в такой модели становится намного более доступной для клиента, а также из-за стремления потребителя окупить стоимость входного билета, объем заказов растет (табл. 2). Это также выгодно для ресторана: стоимость блюд выше себестоимости входящих в них продуктов, а при росте продаж еды увеличивается не только выручка, но и прибыль.

Преимущества для клиента велики. Покупатель может снизить свои затраты на покупку еды (но при условии, что разница цен на заказанные им в ресторане true cost блюда, по сравнению с аналогичными позициями в других заведениях, достаточна для того, чтобы перекрыть стоимость входного билета). Для выполнения этого условия клиент должен либо приходить в ресторан в те интервалы, когда цена входного билета сравнительно низкая, либо же делать большой заказ. Кроме того, низкая номинальная цена блюд позволяет клиенту потреблять больше еды, а также заказывать те

Таблица 2. Сравнительный анализ преимуществ и недостатков модели true cost

Table 2. Advantages and disadvantages of the true cost model

	Для ресторана	Для клиента
Достоинства	Взимание гарантированной платы за непродовольственный компонент услуги; Формирование у клиента впечатления низкой стоимости услуги ресторана; Максимизация потребления	Возможность сэкономить на оплате еды; Возможность не ограничивать себя при потреблении еды (как с количественной, так и с качественной точки зрения); Возможность потребления комплексной услуги ресторана на комфортных для себя условиях; Справедливость оплаты комплексной услуги ресторана
Недостатки	Сложность переноса в дистанционный формат	Отсутствие реальной экономии при малых заказах; Вынужденная максимизация потребления; Отсутствие гарантии заказа желаемого блюда при обязательной оплате входного билета; Непривычность системы тарификации; Невозможность экономии при заказе на вынос

позиции, которые, при их обычной цене в других заведениях, для него были бы недоступны (именно эту возможность мы называем отсутствием количественных и качественных ограничений на потребление). При этом необходимость окупать входной билет стимулирует клиента заказывать больше.

Важным преимуществом является возможность для потребителя самостоятельно выбрать формат использования услуг ресторана. В обычное заведение нельзя приходить со своей едой и маленькие заказы не поощряются. Поскольку в ресторане true cost обеспечивается гарантированная выручка от входного билета, то клиент, оплатив его, может находиться со своей едой или ограничиться заказом только чашечки кофе (используя ресторан как антикафе).

Под справедливостью оплаты комплексной услуги ресторана мы понимаем то, что каждый клиент платит только за себя (хотя это преимущество может быть далеко не очевидно, поскольку потребители зачастую об этой проблеме не задумываются). Обычный ресторан вынужден компенсировать свои издержки на обслуживание клиентов, заказывающих мало, увеличивая свою наценку и перенося эти затраты на других потребителей. В ресторане true cost каждый клиент должен оплатить входной билет (т. е. от каждого клиента гарантируется минимальная величина выручки). Благодаря этому исчезает необходимость осуществлять перекрестное субсидирование потребителей. Заведениям true cost стоит подчеркнуть этот аспект в своей маркетинговой политике. С экономической точки зрения этот аспект служит дополнительным фактором, позволяющим удерживать низкие цены на еду (из-за отсутствия перекрестного субсидирования).

Из описанных достоинств модели true cost следуют ее недостатки. Клиент не может сэкономить при малом объеме заказа (что ограничивает привлекательность таких ресторанов для семей с детьми). Клиент принуждается к максимизации потребления, что удобно не всем. Таким образом, в модели true cost в выигрыше оказываются те клиенты, которые потребляют много, тогда как при традиционной парадигме ценообразования – те, которые заказывают мало. Этом момент следует учитывать тем компаниям, которые хотя провести время совместно, но участники которых характеризуются разным объемом потребления.

Проблемой является то, что при отказе от заказа еды (например, из-за того, что интересующие клиента позиции в меню в этот день закончились, а другие блюда он заказывать не хочет) стоимость входного билета не возвращается. Клиент теряет деньги и не получает ту услугу, за которой он приходил в ресторан (в обычных заведениях такая ситуация невозможна). Эта проблема решается путем своевременного информирования клиента на входе об отсутствии тех или иных блюд. Но эта информация может поступать из кухни с задержкой.

Для отдельных клиентов неудобна двойная схема тарификации (входной билет и оплата блюд). Они привыкли к тому, что полная стоимость комплексной услуги ресторана включена в цену заказанной еды. Поэтому необходимость оплаты входного билета вызывает у них отторжение. Они воспринимают это как жульничество со стороны ресторана: заведение декларирует низкие цены на блюда, но при этом назначает дополнительную плату за свои услуги, которая призвана компенсировать эти цены.

Большой интерес представляет проблема заказа блюд навынос. Модель true cost основана на продаже входных билетов, что невозможно, если клиент предпочитает заказать блюда с собой. Поэтому для обеспечения выручки ресторана при торговле навынос цена еды увеличивается по сравнению с указанной в меню (например, в сети True Cost она удваивается) [23]. Цена меняется даже для тех блюд, которые клиент заказал и начал есть в ресторане, но по каким-то причинам не доел. Такое изменение цены призвано решить две задачи:

1. Обеспечить ресторану достаточный объем выручки даже от тех клиентов, которые не остаются в заведении (т. е. не приобретают непродовольственный элемент услуги, например, при заказе через Delivery Club или Yandex.Eda). Отсутствие входного билета компенсируется для ресторана повышенной ценой блюд. В этом отношении модель true cost принципиально отличается от обычных заведений. Если в традиционном ресторане блюда навынос могут продаваться со скидкой (поскольку клиент не потребляет непродовольственный компонент услуги), то в модели true cost цена возрастает. Хотя с экономической точки зрения такой подход вполне оправдан, с точки зрения маркетинга он может подрывать образ ресторана как заведения с честными ценами (особенно с учетом того, что в базовую стоимость блюд уже включена определенная наценка, о которой говорилось выше);

2. Не допустить слишком большого заказа блюд на один входной билет (в том случае, если часть блюд хочет с собой забрать человек, уже оплативший стоимость входа), т. е. обеспечить достаточный уровень маржинальности каждого клиента. Здесь также видна разница между обычным заведением и рестораном true cost. Традиционный ресторан рассматривает в качестве паразитического поведения клиента слишком маленький заказ еды при слишком длительном использовании помещения для проведения времени. В ресторане true cost паразитическим поведением клиента является слишком большой заказ еды при недостаточной оплате непродовольственного компонента услуги.

Под недостаточной оплатой может пониматься слишком короткое (для потребления всего заказанного количества блюд) пребывание в ресторане или заказ, избыточный для одного человека. В первом случае, забирая часть заказа с собой, клиент может избегать доплаты за следующий интервал времени (если он не успел все съесть за оплаченный интервал). Во втором случае клиент, прося подготовить оставшиеся блюда на вынос, не желает оплачивать дополнительные входные билеты (либо для себя на следующий день, либо для другого человека, для которого он понесет заказ).

Таким образом, при заказе с собой модель true cost перестает действовать и возможность клиента сэкономить на заказе существенно уменьшается. Для него это имеет двойной негативный эффект. Во-первых, объем экономии человека на заказе определяется размером его разового потребления (это похоже на скрытую форму ограничения продаж «не более определенного количества в одни руки»). Во-вторых, такое отношение к себе может восприниматься клиентом (который просит завернуть с собой оставшуюся еду, что является нормальной практикой в традиционной модели ресторанов) как несправедливое: его вынуждают дважды оплатить один и тот же заказ.

Сложность переноса модели true cost в дистанционный формат является ее ключевым недостатком для самого ресторана. Именно эта схема ценообразования является ключевым фактором дифференциации ресторана. Ее отсутствие при дистанционном заказе (при росте популярности доставки на дом, особенно с учетом фактического закрытия общепита для соблюдения карантинных мероприятий) ослабляет конкурентное преимущество заведения и ставит его в один ряд с другими ресторанами, предлагающими аналогичную кухню.

Однако до пандемии коронавируса COVID-19 данный формат активно развивался в России как самой сетью True Cost, так и ее многочисленными последователями по всей стране. Также стали возникать вариации этой модели. В Санкт-Петербурге было открыто заведение, в котором отказались от фиксированной стоимости входного билета и стали использовать поминутную тарификацию (т. е. распространили формат антикафе на заведение общепита).

Владельцы сети True Cost рассматривали вариант развития этой модели монетизации, предполагающий отказ от оплаты входного билета, при сохранении столь же низких цен на еду (по номинальной себестоимости) [22]. Реализация этой гипотетической модели (условно назовем ее low-cost; на момент написания статьи – январь 2021 г. – доступной информации о ее внедрении не было) основывалась на росте оборота. Та минимальная (по сравнению с практикой ресторанного бизнеса) наценка на еду, которая используется в модели true cost, была бы достаточной для требуемого уровня рентабельности при условии высокой проходимости заведения. Оставляя в стороне вопрос о том, насколько эта задача выполнима на практике, отметим, что именно такая модель монетизации соответствовала бы тому смыслу, который вкладывается в понятие «true cost» («честные цены») с точки зрения обывателя. С точки зрения сущности модели монетизации эта система ничего нового на рынке не предлагает – она представляет собой откат к традиционной модели монетизации, при которой платеж клиента привязывается только к стоимости еды. Однако этот откат происходит на основе более эффективного управления деятельностью ресторана, что позволяет удерживать цены на низком уровне. За счет этого компания может реализовать стратегию конкурентного преимущества, основанного на лидерстве по издержкам.

Система моделей монетизации. Модели монетизации, используемые ресторанами, могут быть классифицированы по их способности обеспечивать, с одной стороны, оплату комплексной услуги ресторана в полном объеме, а с другой – устранять противоречие между клиентом и рестораном (нельзя говорить о полном устранении этого противоречия, поскольку оно присуще отношениям между продавцом и покупателем; скорее всего, речь идет о его минимизации). Путем совмещения этих критериев модели монетизации могут быть сведены в систему, представленную в таблице 3.

Таким образом, на сегодняшний день можно говорить о том, что модель true cost представляет собой наилучший баланс интересов ресторана

Таблица 3. Структура моделей монетизации

Table 3. Structure of monetization models

		Гарантированная оплата услуги ресторана в полном объеме	
		Обеспечивается	Не обеспечивается
Противоречие между клиентом и рестораном	Устраняется	True cost	Low cost
	Не устраняется	Традиционная парадигма монетизации, дополненная экономическими инструментами	Традиционная парадигма монетизации

и клиента (со всеми оговорками, касающихся присущих ей недостатков).

Модель low cost, как уже было сказано выше, носит условный характер – о возможности ее внедрения говорили владельцы сети ресторанов True cost, но информации о ее реализации на практике не было. Можно предположить, что в чистом виде (т. е. в форме традиционной модели монетизации, но с невысокой наценкой и с низкой стоимостью блюд) она реализована не будет, поскольку это связано со слишком высокими рисками для заведения. Для устранения этих рисков она должна быть дополнена инструментами управления доходами, которые позволят повысить оборачиваемость в ресторане (например, нормирование времени пребывания в ресторане со взиманием платы за его превышение, отказ от размещения людей за отдельными столиками, т. е. заполнение всех посадочных мест и т. д.).

Главный вывод, который можно сделать на основе таблицы 3, заключается в том, что традиционная парадигма монетизации не соответствует ни интересам ресторанов, ни интересам клиентов. По этой причине рестораны будут мигрировать от нее в сторону альтернативных моделей монетизации.

За пределами общепита. Интересно рассмотреть возможность применения модели true cost в других отраслях сектора услуг. Ряд сервисных заведений сталкивается с тем, что клиент бесплатно использует их ресурсы. Простейшим примером является посещение магазина для ознакомления с товаром – клиент осматривает выставленную продукцию, сравнивает ее, просит продавца оказать консультацию, принести другие образцы, проверить товар и т. д., но при этом может не совершить покупки [24, 25]. Иными словами, затраты ресурсов магазина на взаимодействие с этим клиентом останутся неоплаченными, поскольку единственным источником выручки является плата за проданный товар. Эта ситуация показывает, что услуга магазина также является комплексной и не ограничивается только продажей: в нее входит предоставление товара для ознакомления, выбора и консультирование со стороны продавца. Однако стоимость всех этих отдельных услуг может быть компенсирована для магазина только путем продажи товаров, в цену которых она включена. Также очевидно, что в магазинах имеет место перекрестное субсидирование: купив товар, потребитель оплатил не только издержки магазина на взаимодействие с собой, но и затраты ресурсов торговой точки на обслуживание всех потенциальных клиентов, которые по каким-то причинам отказались от покупки.

Для отдельных категорий услуг взимание платы за доступ к потреблению услуги с пропорциональным снижением цен на продаваемую продукцию могло бы быть эффективным решением. Отметим, что в мягкой форме такой инструментарий в рознице уже используется. Поскольку магазины, в отличие от ресторанов, предполагают повседневное потребление (мы не говорим о бизнес-ланчах), то для них введение платы за вход экономически нецелесообразно. Вместо этого может применяться специальный регулярный членский взнос. Именно такой подход используется в магазинах формата warehouse club в США, которые за счет этого удерживают низкие цены на свой ассортимент [26, 27]. Это магазины клубного типа, покупки в которых могут совершать только члены клуба. Отметим что это правило справедливо только для покупок в офлайн-магазинах. Покупки через сайт могут совершать все желающие, но по более высоким ценам, чем для членов клуба (легко увидеть здесь аналогию с повышением цен при торговле на вынос в ресторанах, работающих по модели true cost).

Из исторических примеров можно привести изменение тарифа на такси в СССР, проведенное по рекомендации Л. В. Канторовича, советского лауреата нобелевской премии по экономике. Суть этого изменения состояла в снижении платы за километр при одновременном введении платы за посадку.

В задачи данной статьи не входит разработка практического инструментария переноса модели true cost на другие отрасли сферы услуг. В этом разделе мы лишь хотим подчеркнуть, что проблема неполной оплаты комплексной услуги сервисного заведения (или даже бесплатного использования его ресурсов) не является уникальной для ресторанов, а характерна для сферы услуг в целом. По этой причине внедрение модели true cost (взимание фиксированной платы для компенсации постоянных издержек с пропорциональным снижением тарифа, связанного с возмещением переменных издержек) может быть целесообразным: с учетом специфики конкретной области сервисной деятельности и предпочтений клиентов на соответствующем рынке.

Выводы

Выполненный анализ показывает, что при формировании цен на услуги ресторана необходимо рассматривать ресторан как организацию, предлагающую комплексный сервисный продукт, включающий в себя продажу приготовленных на заказ блюд, услугу по предоставлению места для потребления еды и организацию обслуживания официантами. Традиционная модель монетизации, при которой стоимость всех услуг ресторана включается в цену блюд, скрывает природу услуги, предоставляемой рестораном, и может усложнять управление отношениями с клиентами, а также отрицательно влиять на экономические показатели.

Элементы, из которых состоит сервисный продукт ресторана, обладают определенной

самостоятельностью и могут тарифицироваться отдельно. Задача ресторана заключается в выборе такой модели тарификации своей комплексной услуги (и ее отдельных элементов), которая позволила бы ему дифференцироваться на рынке, подчеркнуть создаваемую для потребителей ценность и обеспечить максимальную выручку. Ценовая политика ресторана должна обеспечивать монетизацию всей комплексной услуги ресторана, а не только давать доход от продажи блюд.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Николаева, Т. И. Особенности услуг общественного питания на современном этапе развития отрасли / Т. И. Николаева, З. О. Фадеева // Известия Уральского государственного экономического университета. – 2007. – Т. 18, № 1. – С. 10–16.

2. Особенности формирования цены на продукцию предприятий общественного питания в условиях региона / Т. А. Щербакова, Т. В. Крапива, С. В. Новоселов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – Т. 40, № 1. – С. 157–164.

3. Бахарев, В. В. Влияние современной экономической ситуации в России на сферу торговли и общественного питания / В. В. Бахарев, Р. А. Икрамов // В мире научных открытий. – 2015. – Т. 65, № 5. – С. 7–18. https://doi.org/10.12731/wsd-2015-5-1.

4. Dominique-Ferreira, S. Estimating the price range and the effect of price bundling strategies: An application to the hotel sector / S. Dominique-Ferreira, C. Antunes // European Journal of Management and Business Economics. – 2019. – Vol. 29, № 2. – P. 166–181. https://doi.org/10.1108/EJMBE-04-2019-0066.

5. Will reduced portion size compromise restaurant customer's value perception? / L. Ge, B. Almanza, C. Behnke [et al.] // International Journal of Hospitality Management. – 2018. – Vol. 70. – P. 130–138. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2017.10.026.

6. Consumers' willingness to pay for natural food: evidence from an artefactual field experiment / G. Migliore, M. Borrello, A. Lombardi [et al.] // Agricultural and Food Economics. – 2018. – Vol. 6, № 1. https://doi.org/10.1186/s40100-018-0117-1.

7. Jeong, E. H. Price premiums for organic menus at restaurants: What is an acceptable level? / E. H. Jeong, S. S. Jang // International Journal of Hospitality Management. – 2019. – Vol. 77. – P. 117–127. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2018.06.020.

8. Mun, S. G. Restaurant operating expenses and their effects on profitability enhancement / S. G. Mun, S. S. Jang // International Journal of Hospitality Management. – 2018. – Vol. 71. – P. 68–76. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2017.12.002.

9. Ozdemir, B. A review of literature on restaurant menus: Specifying the managerial issues / B. Ozdemir, O. Caliskan // International Journal of Gastronomy and Food Science. – 2014. – Vol. 2, № 1. – P. 3–13. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2013.12.001.

10. Raucci, D. Activity-based pricing in small and medium-sized restaurants. Evidence from the Italian context / D. Raucci, D. Lepore, R. Sabatiello // International Journal of Culture, Tourism and Hospitality Research. – 2020. – Vol. 14, № 4. – P. 565–577. https://doi.org/10.1108/IJCTHR-02-2020-0046.

11. Saad, A. T. Factors affecting online food delivery service in Bangladesh: an empirical study / A. T. Saad // British Food Journal. – 2020. – Vol. 123, № 2. – P. 535–550. https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2020-0449.

12. Etemad-Sajadi, R. Are customers ready to accept revenue management practices in the restaurant industry? / R. Etemad-Sajadi // International Journal of Quality and Reliability Management. – 2018. – Vol. 35, № 4. – P. 846–856. https://doi.org/10.1108/IJQRM-01-2017-0007.

13. Denizci, G. B. How do restaurant customers make trade-offs among rate fences? / G. B. Denizci, R. Law, D. Kucukusta // Journal of Foodservice Business Research. – 2018. – Vol. 21, № 4. – P. 359–376. https://doi.org/10.1080/15378020.2017.1401896.

14. Can restaurant revenue management work with menu analysis? / H. B. J. Lai, S. Karim, S. E. Krauss [et al.] // Journal of Revenue and Pricing Management. – 2019. – Vol. 18, № 3. – P. 204–212. https://doi.org/10.1057/s41272-019-00194-6.

15. Tang, J. Perceived fairness of revenue management practices in casual and fine-dining restaurants / J. Tang, T. Repetti, C. Raab // Journal of Hospitality and Tourism Insights. – 2019. – Vol. 2, № 1. – P. 92–108. https://doi.org/10.1108/JHTI-10-2018-0063.

16. Tse, T. S. M. Modeling no-shows, cancellations, overbooking, and walk-ins in restaurant revenue management / T. S. M. Tse, Y. T. Poon // Journal of Foodservice Business Research. – 2017. – Vol. 20, № 2. – P. 127–145. https://doi.org/10.1080/15378020.2016.1198626.

17. Vieveen, I. Lost opportunities in restaurant revenue management / I. Vieveen // Journal of Revenue and Pricing Management. – 2018. – Vol. 17, № 3. – P. 194–199. https://doi.org/10.1057/s41272-017-0109-x.

18. Camilleri, M. A. Pricing and revenue management / M. A. Camilleri // Travel marketing, tourism economics and the airline product / M. A. Camilleri. – Cham : Springer, 2018. – P. 155–163. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49849-2_9.

19. Гареев, Т. Р. Матрицы стратегических группировок: от «старой» критики к новым измерениям / Т. Р. Гареев, В. В. Бельский // Инновации. – 2015. – Т. 196, № 2. – С. 50–57.

20. Täuscher, K. Understanding platform business models: A mixed methods study of marketplaces / K. Täuscher, S. M. Laudien // European Management Journal. – 2018. – Vol. 36, № 3. – P. 319–329. https://doi.org/10.1016/j.emj.2017.06.005.

21. Lynn, M. A within-restaurant analysis of changes in customer satisfaction following the introduction of service inclusive pricing or automatic service charges / M. Lynn, Z. W. Brewster // International Journal of Hospitality Management. – 2018. – Vol. 70. – P. 9–15. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2017.11.001.

22. Новый формат на рынке – рестораны true cost [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.inventica.ru/post/новый-формат-на-рынке-рестораны-true-cost. – Дата обращения: 11.01.2021.

23. Честная игра: как работают рестораны формата true cost [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cafe-future.ru/success-stories/chestnaya-igra-kak-rabotayut-restorany-formata-true-cost/. – Дата обращения: 11.01.2021.

24. Котляров, И. Д. Феномен паразитирования в интернет-коммерции / И. Д. Котляров // Управление продажами. – 2015. – № 3. – С. 198–201.

25. Митяшин, Г. Ю. Паразитирование в интернет-коммерции: эмпирический анализ / Г. Ю. Митяшин, Ю. В. Катрашова // Наука Красноярья. – 2020. – Т. 9, № 3. – С. 142–157. https://doi.org/10.12731/2070-7568-2020-3-142-157.

26. Ailawadi, K. L. The club store effect: Impact of shopping in warehouse club stores on consumers' packaged food purchases / K. L. Ailawadi, Y. Ma, D. Grewal // Journal of Marketing Research. – 2018. – Vol. 55, № 2. – P. 193–207. https://doi.org/10.1509/jmr.16.0235.

27. Li, J. International retail format transfer: A comparison study of Australian and U.S. warehouse club members / J. Li, P. Huddleston, S. Minahan // Journal of Retailing and Consumer Services. – 2021. – Vol. 59. https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2020.102358.

References

1. Nikolaeva TI, Fadeeva ZO. Peculiarities of public catering services at the present stage of the branch development. Journal of the Ural State University of Economics. 2007;18(1):10–16. (In Russ.).

2. Scherbakova TA, Krapiva TV, Novoselov SV, Mayurnikova LA. Pricing at food service establishment under the conditions of the region. Food Processing: Techniques and Technology. 2016;40(1):157–164. (In Russ.).

3. Bakharev VV, Ikramov RA. Impact of the present economic situation in Russia on retail and catering. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2015;65(5):7–18. (In Russ.). https://doi.org/10.12731/wsd-2015-5-1.

4. Dominique-Ferreira S, Antunes C. Estimating the price range and the effect of price bundling strategies: An application to the hotel sector. European Journal of Management and Business Economics. 2019;29(2):166–181. https://doi.org/10.1108/EJMBE-04-2019-0066.

5. Ge L, Almanza B, Behnke C, Tang C-HH. Will reduced portion size compromise restaurant customer's value perception? International Journal of Hospitality Management. 2018;70:130–138. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2017.10.026.

6. Migliore G, Borrello M, Lombardi A, Schifani G. Consumers' willingness to pay for natural food: evidence from an artefactual field experiment. Agricultural and Food Economics. 2018;6(1). https://doi.org/10.1186/s40100-018-0117-1.

7. Jeong EH, Jang SS. Price premiums for organic menus at restaurants: What is an acceptable level? International Journal of Hospitality Management. 2019;77:117–127. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2018.06.020.

8. Mun SG, Jang SS. Restaurant operating expenses and their effects on profitability enhancement. International Journal of Hospitality Management. 2018;71:68–76. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2017.12.002.

9. Ozdemir B, Caliskan O. A review of literature on restaurant menus: Specifying the managerial issues. International Journal of Gastronomy and Food Science. 2014;2(1):3–13. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2013.12.001.

10. Raucci D, Lepore D, Sabatiello R. Activity-based pricing in small and medium-sized restaurants. Evidence from the Italian context. International Journal of Culture, Tourism and Hospitality Research. 2020;14(4):565–577. https://doi.org/10.1108/IJCTHR-02-2020-0046.

11. Saad AT. Factors affecting online food delivery service in Bangladesh: an empirical study. British Food Journal. 2020;123(2):535–550. https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2020-0449.

12. Etemad-Sajadi R. Are customers ready to accept revenue management practices in the restaurant industry? International Journal of Quality and Reliability Management. 2018;35(4):846–856. https://doi.org/10.1108/IJQRM-01-2017-0007.

13. Denizci GB, Law R, Kucukusta D. How do restaurant customers make trade-offs among rate fences? Journal of Foodservice Business Research. 2018;21(4):359–376. https://doi.org/10.1080/15378020.2017.1401896.

14. Lai HBJ, Karim S, Krauss SE, Ishak FAC. Can restaurant revenue management work with menu analysis? Journal of Revenue and Pricing Management. 2019;18(3):204–212. https://doi.org/10.1057/s41272-019-00194-6.

15. Tang J, Repetti T, Raab C. Perceived fairness of revenue management practices in casual and fine-dining restaurants. Journal of Hospitality and Tourism Insights. 2019;2(1):92–108. https://doi.org/10.1108/JHTI-10-2018-0063.

16. Tse TSM, Poon YT. Modeling no-shows, cancellations, overbooking, and walk-ins in restaurant revenue management. Journal of Foodservice Business Research. 2017;20(2):127–145. https://doi.org/10.1080/15378020.2016.1198626.

17. Vieveen I. Lost opportunities in restaurant revenue management. Journal of Revenue and Pricing Management. 2018;17(3):194–199. https://doi.org/10.1057/s41272-017-0109-x.

18. Camilleri MA. Pricing and revenue management. In: Camilleri MA, editor. Travel marketing, tourism economics and the airline product. Cham: Springer; 2018. pp. 155–163. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49849-2_9.

19. Gareev TR, Belskiy VV. Strategic groups matrices: from "old" criticism to new dimensions. Innovations. 2015;196(2): 50–57. (In Russ.).

20. Täuscher K, Laudien SM. Understanding platform business models: A mixed methods study of marketplaces. European Management Journal. 2018;36(3):319–329. https://doi.org/10.1016/j.emj.2017.06.005.

21. Lynn M, Brewster ZW. A within-restaurant analysis of changes in customer satisfaction following the introduction of service inclusive pricing or automatic service charges. International Journal of Hospitality Management. 2018;70:9–15. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2017.11.001.

22. Novyy format na rynke – restorany true cost [True cost restaurants as a new format on the market] [Internet]. [cited 2021 Jan 11]. Available from: https://www.inventica.ru/post/новый-формат-на-рынке-рестораны-true-cost.

23. Chestnaya igra: kak rabotayut restorany formata true cost [Fair play: how true cost restaurants work] [Internet]. [cited 2021 Jan 11]. Available from: https://www.cafe-future.ru/success-stories/chestnaya-igra-kak-rabotayut-restorany-formata-true-cost/.

24. Kotlyarov ID. Fenomen parazitirovaniya v internet-kommertsii [The phenomenon of parasitism in internet commerce]. Upravlenie prodazhami [Sales Management]. 2015;(3):198–201. (In Russ.).

25. Mityashin GYu, Katrashova YuV. Parasitism in e-commerce: empirical analysis. Krasnoyarsk Science. 2020;9(3): 142–157. (In Russ.). https://doi.org/10.12731/2070-7568-2020-3-142-157.

26. Ailawadi KL, Ma Y, Grewal D. The club store effect: Impact of shopping in warehouse club stores on consumers' packaged food purchases. Journal of Marketing Research. 2018;55(2):193–207. https://doi.org/10.1509/jmr.16.0235.

27. Li J, Huddleston P, Minahan S. International retail format transfer: A comparison study of Australian and U.S. warehouse club members. Journal of Retailing and Consumer Services. 2021;59. https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2020.102358.

2021 Т. 51 № 1 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-159-169
УДК 634.7:616-003.725

Оригинальная статья
http://fptt.ru

Биологически активные вещества *Vitis amurensis* Rupr. для профилактики преждевременного старения

Ю. А. Праскова[1], Т. Ф. Киселева[2], И. Ю. Резниченко[2], Н. А. Фролова[1], Н. В. Шкрабтак[1,*], Ю. Лоуренс[3]

[1] Амурский государственный университет, Благовещенск, Россия

[2] Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

[3] RED Solution provider, Хемел Хемпстед, Великобритания

Дата поступления в редакцию: 20.01.2021 *Дата принятия в печать: 19.02.2021*

**e-mail: mmip2013@mail.ru*
© Ю. А. Праскова, Т. Ф. Киселева, И. Ю. Резниченко, Н. А. Фролова, Н. В. Шкрабтак, Ю. Лоуренс, 2021

Аннотация.
Введение. Старение населения, как медико-социальная проблема, вызывает особое внимание со стороны правительства во многих странах, включая как развитые, так и развивающиеся. Цель настоящего исследования заключалась в оценке содержания биологически активных веществ плодов и листьев *Vitis amurensis* Rupr., произрастающих в Амурской области, путем анализа фенольного профиля, антирадикального потенциала и возможности их комплексной переработки для дальнейшего использования в технологиях продуктов питании пожилых людей.
Объекты и методы исследования. Листья и плоды *Vitis amurensis* Rupr., собранные в различных местах произрастания Амурской области. При исследовании состава биологически активных веществ применяли потенциометрический, титриметрический, колориметрический, фотоколориметрический методы, а также метод рентгенофлуоресцентного анализа.
Результаты и их обсуждение. Содержание сахаров в плодах и листьях *Vitis amurensis* Rupr. составило 11,97 и 1,14 % соответственно. В плодах *Vitis amurensis* Rupr. наблюдалось максимальное содержание кальция – 62,57 ± 0,01 мг/100 г, в листьях было самое высокое содержание калия – 0,105 ± 0,004 мг/100 г. Наибольшую долю по содержанию в листьях и плодах *Vitis amurensis* Rupr. имеет кафтаровая кислота – 4,97 ± 0,01 и 125,69 ± 0,32 мг/кг соответственно. Наибольшее содержание ресвератрола выявлено в плодах (148,16 ± 1,40 мг/кг), в то время как в листьях всего 9,87 ± 0,61 мг/кг. Максимальное содержание флавонолов было выявлено в плодах: кверцетина – 136,21 ± 5,60 мг/кг, кемпферола – 1,19 ± 0,01 мг/кг.
Выводы. В последнее время *Vitis amurensis* Rupr. вызывает растущий интерес как многообещающий источник биоактивных соединений, которые, благодаря всесторонней фитохимической оценке, могут найти широкое применение в нутрицевтике, космецевтике и пищевой комбинаторике. Установлено, что плоды и листья *Vitis amurensis* Rupr. обладают высокой антиоксидантной активностью, обусловленной содержанием полифенолов, ресвератрола, витаминов группы В и витамина С.

Ключевые слова. *Vitis amurensis* Rupr., фенольные соединения, витамины, минеральный состав, профилактическое питание

Для цитирования: Биологически активные вещества *Vitis amurensis* Rupr. для профилактики преждевременного старения / Ю. А. Праскова, Т. Ф. Киселева, И. Ю. Резниченко [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 159–169. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-159-169.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

Biologically Active Substances of *Vitis amurensis* Rupr.: Preventing Premature Aging

Juliya A. Praskova[1], Tatyana F. Kiseleva[2], Irina Yu. Reznichenko[2], Nina A. Frolova[1], Natalia V. Shkrabtak[1,*], Yulia Lawrence[3]

[1] Amur State University, Blagoveshchensk, Russia

[2] Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

[3] RED Solution provider, Hemel Hempstad, United Kingdom

Received: January 20, 2021 Accepted: February 19, 2021

*e-mail: mmip2013@mail.ru
© Ju.A. Praskova, T.F. Kiseleva, I.Yu. Reznichenko, N.A. Frolova, N.V. Shkrabtak, Yu. Lawrence, 2021

Abstract.
Introduction. Population aging is a medical and social problem that receives special attention from the governments of developed and developing countries. The research objective was to assess the content of biologically active substances in fruits and leaves of *Vitis amurensis* Rupr. harvested in the Amur Region. The authors analyzed the phenolic profile, anti-radical potential, and the possibility of their complex processing for further use in functional foods.
Study objects and methods. The author reviewed ten years of domestic and foreign publications, standards, and legislative documents. The research featured leaves and fruits of *Vitis amurensis* Rupr., collected in various areas of the Amur Region. The composition of biologically active substances was analyzed using potentiometric, titrimetric, colorimetric, and photocolorimetric methods, as well as the method of X-ray fluorescence analysis.
Results and discussion. The sugar content in fruits of *Vitis amurensis* Rupr. was 11.97%, in leaves – 1.14%. In the fruits, the maximum calcium content was 62.57 ± 0.01 mg/100 g. Potassium content was the highest in the leaves (0.105 ± 0.004 mg/100 g). Caftaric acid had the largest content in leaves and fruits: 4.97 ± 0.01 and 125.69 ± 0.32 mg/kg, respectively. The highest content of resveratrol was found in fruits (148.16 ± 1.40 mg/kg), while in leaves it was only 9.87 ± 0.61 mg/kg. Likewise, fruits demonstrated the maximum content of flavonols: quercetin – 136.21 ± 5.60 mg/kg, kaempferol – 1.19 ± 0.01 mg/kg.
Conclusion. *Vitis amurensis* Rupr. is a promising source of bioactive compounds. Due to its comprehensive phytochemical assessment, it can find wider application in nutritive sciences, cosmetic industry, and food combinatorics. Fruits and leaves of *Vitis amurensis* Rupr. proved to possess a high antioxidant activity due to polyphenols, resveratrol, B vitamins, and vitamin C.

Keywords. *Vitis amurensis* Rupr., phenolic compounds, vitamins, mineral composition, preventive nutrition

For citation: Praskova JuA, Kiseleva TF, Reznichenko IYu, Frolova NA, Shkrabtak NV, Lawrence Yu. Biologically Active Substances of *Vitis amurensis* Rupr.: Preventing Premature Aging. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1): 159–169. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-159-169.

Введение

Старение населения, как медико-социальная проблема, вызывает особое внимание со стороны правительства во многих странах, включая как развитые, так и развивающиеся. Согласно данным Российского статистического ежегодника за 2019 год доля пожилых людей в структуре населения увеличилась за последние 15 лет: в 2005 г. она составляла 20,4 %, в 2020 г. – 25,4 %. Прогнозируется, что к 2050 г. этот показатель достигнет 26,7 % [1]. Быстрый процесс старения все больше привлекает внимание правительства и побуждает политиков пересмотреть фундаментальные потребности общества, в том числе людей пожилого возраста.

Рацион пожилых людей характеризуется однообразием, несбалансированностью основных нутриентов, недостаточным количеством витаминов и минеральных веществ [2–5]. Исследования, проведенные учеными Кемеровского государственного университета по выявлению предпочтений людей пожилого и старческого возраста, позволили установить факторы, влияющие на формирование рациона и выбор товаров, удовлетворяющих спрос [4]. Основным фактором респонденты выделили стоимость товара. Это необходимо учитывать при формировании ассортимента продукции для геродиетического питания.

Учитывая вероятное несоответствие спроса и предложения функциональных продуктов для пожилых людей, понимание их характеристик и потребностей, может помочь лицам, определяющим политику, предоставлять качественные функциональные продукты населению. Выявлено, что поведение и потребности пожилых людей в функциональном питании в России отличаются от многих развитых стран. Отличительные особенности, как отмечают ученые Института экспериментальной медицины и Национального медицинского исследовательского центра онкологии им. Н. Н. Петрова, связаны с низкой эффективностью государственной политики в сфере продления периода активного долголетия, снижением качества и доступности государственной медико-социально-психологической помощи гражданам старших возрастных групп, недоработанностью действующих законодательных и нормативных актов в области социальной поддержки пожилых граждан [6, 7].

Старение – это многофакторный процесс, сопровождающийся потерей функций клеток. Наука много лет занимается поиском факторов, вызывающих старение. Однако, несмотря на выявление ряда возможных причин, определенная причина старения до сих пор неуловима. Один из факторов старения – свободные радикалы кислорода [4]. В этом контексте были исследованы биологически активные вещества *Vitis amurensis* Rupr. для профилактики преждевременного старения. Применение *Vitis amurensis* Rupr. в технологиях

пищевых продуктов связано с их высокой биологической ценностью, исследованию которой посвящены работы отечественных и зарубежных ученых [8, 13, 14].

Дикий виноград *(Vitis amurensis* Rupr.) – это вид семейства *Vitaceae*, распространенный на Дальнем Востоке и Восточной Азии (Корея, Китай и Япония) [8]. Установлено, что виноград амурский *Vitis amurensis* Rupr. накапливает ценные вторичные метаболиты, одним из которых является ресвератрол – противоопухолевое вещество, имеющее ведущее значение в биосинтезе стильбенов винограда. Учеными Дальневосточного отделения Российской академии наук в результате проведенных исследований установлено полигенное наследование показателя качественного признака ресвератролла. Это позволяет надежно отбирать формы внутри вида с повышенным содержанием стильбенов [9, 10, 14].

Результаты исследования показали преимущества ресвератрола в замедлении старения и поддержании здоровья клеток, предложены рекомендации его использования в качестве антиоксиданта для предотвращения сердечно-сосудистых заболеваний [11, 12].

Полностью спелые плоды *Vitis amurensis* Rupr. употребляются в сыром виде и содержат много питательных веществ, таких как сахароза, глюкоза, белок и витамины. Поэтому их используют в качестве основного сырья для получения вина, сока, желе и джема. Кроме того, его листья используют в салатах. Его корни и стебли применяют как традиционные лекарственные средства для лечения рака, невралгической боли и боли в животе [8, 10]. Корни винограда амурского содержат процианидины, флавоноиды, тритерпеноиды и другие фенольные соединения. Плоды *Vitis amurensis* Rupr. включают органические кислоты, сахара, летучие соединения, полифенолы и фенольные кислоты [13, 14].

Несколько тысяч молекул, имеющих структуру полифенола (т. е. несколько гидроксильных групп на ароматических кольцах), были идентифицированы в высших растениях, несколько сотен – в съедобных растениях.

Эти молекулы являются вторичными метаболитами растений и участвуют в защите от ультрафиолетового излучения или агрессии со стороны патогенов. Полифенольные соединения можно разделить на разные группы в зависимости от количества фенольных колец, которые они содержат, и структурных элементов, которые связывают эти кольца друг с другом [15–20]. Одной из самых больших полифенольных групп, присутствующих в винограде, являются флавоноиды, в том числе антоцианы, флавонолы и флаван-3-олы [21–25]. Исследовано полифенольное разнообразие, биотрансформация антоцианов, представлена характеристика антоцианин 5-О-глюкозилтрансферазы *Vitis amurensis* Rupr., летучих соединений [17, 21, 25–28].

Анализ и обобщение материала многочисленных научных исследований показал, что они содержат обзоры химии и биохимии полифенолов, их состава и содержания в органах *Vitis amurensis* Rupr., а также их воздействия на здоровье населения [4, 29–34].

Цель настоящего исследования заключалась в оценке содержания биологически активных веществ в плодах и листьях *Vitis amurensis*, произрастающего в Амурской области, путем анализа фенольного профиля, антирадикального потенциала и возможности их комплексной переработки для дальнейшего использования в питании пожилых людей.

Объекты и методы исследования

Листья *Vitis amurensis* Rupr. собирали после сбора урожая плодов (14 сентября 2015 г.) в один и тот же день (16 сентября 2015 г.) в различных местах произрастания на территории Амурской области. Исследования проводили в усредненной пробе (из пяти проб в 3-кратной повторности). Экспериментальные данные обрабатывали статистическими методами анализа.

Массовую долю титруемых кислот определяли потенциометрическим титрованием по ГОСТ Р 34127.

Массовую долю экстрактивных веществ устанавливали рефрактометрическим методом по ГОСТ 6687.2-90.

Массовую концентрацию сахаров определяли по ГОСТ 13192-73.

Массовую долю влаги находили по ГОСТ 33977-2016.

Элементный состав листьев и плодов винограда амурского определен методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА).

Содержание аскорбиновой кислоты выявляли по ГОСТ 7047-55.

Определение витаминов группы осуществляли с помощью метода капиллярного электрофореза на приборе «Капель-105М» («Люмэкс», Россия).

Витамин К находили по способности в щелочной среде давать с диэтилмалоновым эфиром окрашенное соединение, интенсивность окраски которого определяли колориметрически.

Витамин Е определили фотоколориметрическим методом.

Содержание фенольных соединений проводили спектрофотометрическим методом.

Антиоксидантную активность устанавливали по методу DPPH.

Результаты и их обсуждение

В данной работе авторами был исследован химический состав листьев и плодов *Vitis amurensis*

Таблица 1. Химический состав плодов и листьев *Vitis amurensis* Rupr.

Table 1. Chemical composition of fruits and leaves of *Vitis amurensis* Rupr.

Части растения	Наименование показателей			
	Массовая доля экстрактивных веществ, %	Массовая доля влаги, %	Массовая доля сахаров, %	Массовая доля титруемых кислот (в пересчете на яблочную кислоту), %
Листья	36,11 ± 0,02	69,37 ± 0,07	1,14 ± 0,03	0,94 ± 0,05
Плоды	29,27 ± 0,04	78,64 ± 0,01	11,97 ± 0,02	2,16 ± 0,04

Rupr. Среднестатистические данные химического состава представлены в таблице 1.

При сравнении было определено, что содержание сахаров в плодах *Vitis amurensis* Rupr. составляет 11,97 %, тогда как в листьях всего 1,14 %. Стоит отметить, что все исследуемые части *Vitis amurensis* Rupr. характеризуются высоким содержанием экстрактивных веществ: в листьях – 36,11 %, в плодах – 29,27 %.

Проведена серия опытов по исследованию витаминного состава плодов и листьев *Vitis amurensis* Rupr. Полученные среднестатистические результаты представлены в таблице 2.

Обнаружено высокое содержание аскорбиновой кислоты в плодах и листьях *Vitis amurensis* Rupr. – 26,05 и 14,06 % от суточной нормы потребления этого витамина соответственно. Также листья *Vitis amurensis* Rupr. богаты витамином К – 0,105 мг/100 г, количество которого составляет 87,5 % от суточной нормы потребления. В листьях обнаружен холин в количестве 24,0 % от рекомендуемой суточной нормы. Было установлено, что содержание α-токоферола, который является наиболее активной формой витамина Е, в листьях винограда амурского составило 1,17 ± 0,09 мг/100 г, в плодах – 1,48 ± 0,03 мг/100 г.

Результаты проведенных исследований показали, что листья и плоды *Vitis amurensis* Rupr. могут являться дополнительным источником указанных биологически активных веществ.

Суточными микронутриентами дневного рациона человека, влияющими на работу всех органов и систем организма, являются микро- и макроэлементы. Потребление калия положительно связано с метаболизмом костей, снижением артериального давления, а также снижением заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистых заболеваний. Калий является основным внутриклеточным катионом в организме. Суточная норма потребления калия составляет от 2500 мг. Вместе с кальцием и магнием калий участвует в синтезе аминокислот и белка. Определен минеральный состав плодов и листьев *Vitis amurensis* Rupr. (табл. 3).

Наибольшее содержание кальция установлено в плодах *Vitis amurensis* Rupr. – 62,57 ± 0,01 мг/100 г, в то время как содержание калия было высоким в листьях – 0,105 ± 0,004 мг/100 г. Наибольшее содержание натрия определено в плодах – 29,41 ± 0,005 мг/100 г, а в листьях всего 1,32 ± 0,001 мг/100 г. Содержание цинка было самым высоким в плодах – 0,290 ± 0,002 мг/100 г.

Установлено, что содержание йода в плодах составляет 0,014 ± 0,0001 мг/100 г, в листьях – 0,001 ± 0,00004 мг/100 г. Содержание железа было высоким в плодах – 7,390 ± 0,002 мг/100 г, тогда как в листьях его содержание составило 0,134 ± 0,0003 мг/100 г.

На основании результатов эксперимента можно сделать вывод о том, что листья *Vitis amurensis* Rupr. богаты железом и кальцием, плоды – железом, кальцием и йодом.

Наличие йода позволяет обосновать применение изучаемого вида *Vitis amurensis* Rupr. и функциональных продуктов на его основе как профилактическое средство эндемического зоба, гипотиреоза и преждевременного старения. Это особенно актуально для жителей Дальнего Востока, который входит в число регионов, эндемичных по зобной болезни [35].

Таблица 2. Витаминный состав плодов и листьев *Vitis amurensis* Rupr., мг/100 г

Table 2. Vitamin composition of fruits and leaves of *Vitis amurensis* Rupr., mg/100 g

Части растения	Тиамин (B_1)	Рибовлавин (B_2)	Холин (B_4)	Аскорбиновая кислота (витамин С)	Токоферол (витамин Е)	Витамин К
Листья	следы	0,04	0,12	12,66	1,17	0,105
Плоды	0,02	0,06	следы	23,45	1,48	0,018
Уточненная физиологическая потребность для взрослых согласно МР 2.3.1.2432-08, мг/сутки	1,5	1,8	0,5	90,0	15,0	0,120

$P < 0{,}0001$.

Таблица 3. Минеральный состав плодов и листьев *Vitis amurensis* Rupr., мг/100 г

Table 3. Mineral composition of fruits and leaves of *Vitis amurensis* Rupr., mg/100 g

Химический элемент	Части растения		Уточненная физиологическая потребность для взрослых согласно МР 2.3.1.2432-08, мг/сут
	Листья	Плоды	
Цинк	0,027	0,290	12
Железо	0,134	7,390	10 – для мужчин 18 – для женщин
Кальций	18,94	62,57	1000
Фосфор	1,36	19,42	800
Магний	1,24	17,38	400
Калий	0,105	0,018	2500
Натрий	1,32	29,41	1300
Марганец	0,008	0,015	2
Йод	0,001	0,014	0,15

$P < 0{,}0001$.

Известные стимуляторы сиртуинов (например, ресвератрол, полифенолы) − это не только антиоксиданты, но и мощные регуляторы энергетического метаболизма, препятствующие старению [36–38]. В связи с этим были проведены исследования по содержанию фенольных соединений в листьях и плодах *Vitis amurensis* Rupr.

Фенольные кислоты делятся на две основные группы: бензойные кислоты с семью атомами углерода и коричные кислоты с девятью атомами углерода. Эти соединения существуют в виде гидроксибензойной и гидроксикоричной кислот, которые могут находиться как в свободной, так и в конъюгированной формах.

Гидроксибензойные кислоты необходимы для синтеза других соединений, участвующих в росте и развитии виноградной ягоды.

Гидроксикоричные кислоты являются основным классом фенольных кислот в виноградных ягодах. Наиболее распространенными кислотами значатся кофейная, *P*-кумаровая, феруловая и синаповая.

Гидроксикоричные кислоты могут находиться в свободной форме или в форме сложных эфиров, образованных винной кислотой, сахарами или флавоноидами. Содержание оксикарбоновых кислот в плодах и листьях *Vitis amurensis* представлено в таблице 4.

Данные, представленные в таблице 4, свидетельствует о том, что наиболее распространенной в листьях и плодах *Vitis amurensis* Rupr. была кафтаровая кислота. Ее содержание в листьях находится в количестве 4,97 ± 0,01 мкг/100 г, в плодах – 125,69 ± 0,32 мг/кг, что составляет 30,3 и 50,3 % от общей суммы проанализированных оксикарбоновых кислот соответственно.

Большое количество полифенольных соединений в винограде – это флавоноиды. Флавонолы гликозилированы по С-3 положению С-кольца. Антоцианы синтезируются из антоцианидинов путем гликозилирования в положениях 3 и 5 кольца С, накапливаются в кожуре ягод, а также в мякоти от истинного до полного созревания, когда синтез прекращается. Гликозиды антоцианидина более стабильны, чем соответствующие агликоны, поскольку гликозилирование индуцирует внутримолекулярное Н-связывание в молекуле антоциана.

Антоцианы выполняют различные биологические функции в тканях растений, такие как защита от солнечного воздействия и ультрафиолетового излучения, атак патогенов, окислительного повреждения

Таблица 4. Содержание оксикарбоновых кислот в плодах и листьях *Vitis amurensis* Rupr.

Table 4. Content of hydroxycarboxylic acids in fruits and leaves of *Vitis amurensis* Rupr.

Наименование показателя	Кислоты						
	Кафтаровая	Кофейная	транс-каутаровая	транс-кумаровая	Феруловая	Хлорогеновая кислота	Галловая
Листья, мкг/100 г	4,97	4,32	0,45	0,769	1,86	3,61	4,03
Плоды, мг/кг	125,69	0,02	84,52	2,32	9,14	748,60	28,10
Адекватный суточный уровень потребления согласно МР 2.3.1.1915-04, мг/сут	10	10	10	10	10	10	100

$P < 0{,}0001$.

и воздействия свободных радикалов [35, 36]. Антоцианы представляют собой важный источник натуральных красителей для пищевой и нутрицевтической промышленности. Процианидины и полимеры полигидроксифлаван-3-олов давно исследуются в качестве пищевых добавок для укрепления здоровья. Процианидины усиливают активность антиоксидантных ферментов и защищают организм человека от окислительного стресса [35–38].

Стильбены – это класс полифенольных соединений, которые действуют как фитоалексины, защищая ягоды от абиотического и биотического стресса. В последние годы возрос интерес к этому классу соединений, особенно к ресвератролу, благодаря его благотворному влиянию на здоровье человека. Они содержат два ароматических кольца, связанных этановым мостиком. Основное содержание стильбенов находится в кожуре винограда. Ресвератрол способствует уменьшению секреции инсулина, его аутокринного эффекта, а также снижает уровень инсулинемии. Также ресвератрол понижает активность метаболических путей, зависящих от инсулиноподобного фактора роста 1 [35–38].

Кверцетин – один из основных полифенолов, обладающих противовоспалительным, нейропротекторным, кардиозащитным и химиопрофилактическим действием. Механизм действия кверцетина связан с антиоксидантными свойствами (отдавать электроны или хелатировать ионы металлов), а также взаимодействовать с белками и нуклеиновыми кислотами. Это возможно, поскольку полифенолы проникают через клеточные и ядерные мембраны и накапливаются в ядре клетки. Было доказано, что полифенолы взаимодействуют с различными компонентами протеинкиназ (регулируют множественные клеточные сигнальные пути путем ингибирования состояния фосфорилирования), рецепторами эстрогена (предотвращают рак груди и яичников), ядерными рецепторами, различными факторами транскрипции (регулируют клеточные факторы), белками плазмы и частицами липопротеинов (изменяют физическую и биологическую структуру липопротеинов) и ферментами, такими как гидролазы, оксидазы и киназы (изменяют структуру и активность ферментов). Кроме того, полифенолы регулируют экспрессию генов и модулируют пути передачи сигнала. Примечательно, что кверцетин, ресвератрол, генистеин и куркумин взаимодействуют с ДНК [36–39].

В связи с этим было определено содержание фенольных соединений в листьях и плодах *Vitis amurensis* Rupr. (табл. 5).

Среди проанализированных классов фенольных соединений наибольшее содержание флаван-3-олы было отмечено в плодах *Vitis amurensis* Rupr. (винограда амурского): катехина – 123,51 ± 4,30 мг/кг, в то время как содержание эпикатехина составило 103,41 ± 2,30 мг/кг. Наибольшее содержание ресвератрола обнаружено в плодах – 148,16 ± 1,40 мг/кг, а в листьях всего 9,87 ± 0,61 мг/кг. Содержание флавонолов было самым высоким в плодах: кверцетина – 136,21 ± 5,60 мг/кг, кемпферола – 1,19 ± 0,01 мг/кг.

Окислительный стресс в организме возникает из-за дисбаланса между производством активных форм кислорода (АФК) и способностью их

Таблица 5. Содержание фенольных соединений в плодах *Vitis amurensis* Rupr., мг/кг

Table 5. Phenolic compounds in fruits of Vitis amurensis Rupr., mg/kg

Показатель	Части растения		Адекватный суточный уровень потребления согласно МР 2.3.1.1915-04, мг/сут
	листья	плоды	
Катехин	48,74 ± 1,20	123,51 ± 4,30	50
Эпикатехин	27,34 ± 0,81	103,41 ± 2,30	50
Процианидин В1	69,74 ± 0,73	129,57 ± 1,20	50
Процианидин В2	45,28 ± 1,10	174,23 ± 1,50	50
Ресвератрол	9,87 ± 0,61	148,16 ± 1,40	10
Мальвидин-3-О-гликозид	42,37 ± 0,82	194,21 ± 3,40	50
Цианидин-3-О-гликозид	4,35 ± 0,11	62,34 ± 0,61	50
Петунидин-3-О-гликозид	2,83 ± 0,05	82,36 ± 0,19	50
Пеонидин-3-О-гликозид	19,20 ± 0,91	49,52 ± 0,36	50
Дельфинидин-3-О-гликозид	4,84 ± 0,07	78,19 ± 1,40	50
Дельфинидин-3,5-О-дигликозид	0,630 ± 0,001	3,12 ± 0,22	50
Петунидин-3,5-О-дигликозид	0,560 ± 0,002	2,89 ± 0,09	50
Цианидин-3,5-О-дигликозид	1,130 ± 0,005	5,32 ± 0,07	50
Рутин	19,45 ± 0,32	118,50 ± 1,40	30
Кверцетин	32,61 ± 0,45	136,21 ± 5,60	30
Кемпферол	1,19 ± 0,01	6,37 ± 0,04	30
Мирицетин	2,19 ± 0,05	9,85 ± 0,01	30

нейтрализовать. Несоответствие между избыточными реактивными молекулами и слабой эндогенной защитой приводит к повреждению клеточных структур и молекул, таких как липиды, белки и ДНК, что способствует патогенезу широкого круга заболеваний. АФК, если они доступны в соответствующих небольших количествах, действуют как молекулы передачи сигналов, управляющие активностью клеток, а также обеспечивают защиту клеток. С другой стороны, если они генерируются в избытке, как при воспалении, то АФК могут запускать производство дополнительных высокореактивных веществ [39]. Ключевым моментом является окислительная модификация ферментов или регуляторных участков, редокс-модификация которых запускает изменение передачи сигналов клеток и запрограммированную гибель клеток. Окислительный стресс и воспаление тесно связаны между собой. Окислительный стресс может вызывать воспаление, а это вызывает окислительный стресс, создавая порочный круг, который приводит к повреждению клеток и способствует созданию провоспалительной среды.

Если система антиоксидантной защиты организма не может нейтрализовать избыток свободных радикалов, то дисбаланс между оксидантами и системой защиты может привести к патологическим состояниям, включая рак, сердечно-сосудистые заболевания, нейродегенеративные расстройства, атеросклероз и другие.

Авторы настоящего исследования определили антиоксидантную активность в плодах и листьях *Vitis amurensis* Rupr., которая составила 367,24 ± 0,53 мг эквивалентов аскорбиновой кислоты/г, в то время как в листьях *Vitis amurensis* Rupr. – 98,05 ± 0,21 мг эквивалентов аскорбиновой кислоты/г.

Выводы

В работе изучено содержание биологически активных соединений в плодах и листьях *Vitis amurensis* Rupr. Данное исследование показало наличие большого количества в плодах дикорастущего *Vitis amurensis* Rupr. катехинов (123,51 ± 4,30 мг/кг), ресвератрола (148,16 ± 1,40 мг/кг), кальция (62,57 ± 0,01 мг/100 г), витамина С (23,45 ± 0,06 мг/100 г). В листьях *Vitis amurensis* Rupr. выявлено большое содержание витамина К – 0,105 мг/100 г, что составляет 87,5 % от суточной нормы его потребления, кверцетина – 136,21 ± 5,60 мг/кг, кемпферола – 1,19 ± 0,01 мг/кг. Установлено, что количество йода в плодах составляет 0,014 ± 0,0001 мг/100 г, в листьях – 0,001 ± 0,00004 мг/100 г. Содержание железа было высоким в плодах – 7,390 ± 0,002 мг/100 г, тогда как в листьях его содержание составило 0,134 ± 0,0003 мг/100 г. Выявлено, что наиболее распространенной в листьях и плодах *Vitis amurensis* Rupr. была кафтаровая кислота. Ее содержание в листьях составило 4,97 ± 0,01 мкг/100 г, в плодах – 125,69 ± 0,32 мг/кг, что составляет 30,3 и 50,3 % от общей суммы проанализированных оксикарбоновых кислот соответственно.

В связи с этим применение плодов и листьев *Vitis amurensis* Rupr. в производстве функциональных продуктов является перспективным. Наиболее целесообразно использовать *Vitis amurensis* Rupr. в производстве напитков, т. к. они являются одной из важнейших составляющих пищевого рациона и потребляются в значительных количествах.

Важным элементом дальнейших исследований станет анализ сенсорных характеристик *Vitis amurensis* Rupr. и дальнейшие исследования химического состава для углубления знаний о содержании других питательных веществ *Vitis amurensis* Rupr.

Критерии авторства

Ю. А. Праскова – проведение эксперимента, анализа и подготовка первоначальных выводов. Т. Ф. Киселева – систематизация данных. И. Ю. Резниченко – анализ и дополнение текста статьи и списка литературы. Н. А. Фролова – проведение эксперимента и обработка данных. Н. В. Шкрабтак – общее руководство проектом. Ю. Лоуренс – подготовка первоначального варианта текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

Ju.A. Praskova performed the experimental studies, analyzed the obtained data, and draw initial conclusions. T.F. Kiseleva systematized the data. I.Yu. Reznichenko analyzed and proofread the text and added to the list of references. N.A. Frolova was responsible for the experimental work and data processing. N.V. Shkrabtak supervised the project. Yu. Lawrence wrote the draft of the manuscript.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gks.ru. – Дата обращения: 15.12.2020.

2. Dietary intake of anthocyanins and risk of cardiovascular disease: A systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies / R. Kimble, K. M. Keane, J. K. Lodge [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2019. – Vol. 59, № 18. – P. 3032–3043. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1509835.

3. Associations between habitual flavonoid intake and hospital admissions for atherosclerotic cardiovascular disease: a prospective cohort study / F. Dalgaard, N. P. Bondonno, K. Murray [et al.] // The Lancet Planetary Health. – 2019. – Vol. 3, № 11. – P. e450–e459. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30212-8.

4. Yadav, K. National iodine deficiency disorders control programme: Current status & future strategy / K. Yadav, C. S. Pandav // Indian Journal of Medical Research. – 2018. – Vol. 148, № 5. – P. 503–510. https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_1717_18.

5. Biban, B. G. Iodine deficiency, still a global problem? / B. G. Biban, C. Lichiardopol // Current Health Sciences Journal. – 2017. – Vol. 43, № 2. – P. 103–111. https://doi.org/10.12865/CHSJ.43.02.01.

6. Рубан, Н. Ю. Особенности предпочтений людей пожилого и старческого возраста при формировании рациона / Н. Ю. Рубан, И. Ю. Резниченко // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 1. – С. 176–184. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-176-184.

7. Пузин, С. Н. Оптимизация питания пожилых людей как средство профилактики преждевременного старения / С. Н. Пузин, А. В. Погожева, В. Н. Потапов // Вопросы питания. – 2018. – Т. 87, № 4. – С. 69–77. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10044.

8. Государственная поддержка граждан старшего поколения: какая геронтология нужна современной России? (часть 1) / В. Н. Анисимов, Г. А. Бордовский, А. В. Финагентов [и др.] // Успехи геронтологии. – 2020. – Т. 33, № 4. – С. 616–624. https://doi.org/10.34922/AE.2020.33.4.001.

9. Государственная поддержка граждан старшего поколения: какая гериатрия нужна современной России? (часть 2) / В. Н. Анисимов, Г. А. Бордовский, А. В. Финагентов [и др.] // Успехи геронтологии. – 2020. – Т. 33, № 4. – С. 625–645. https://doi.org/10.34922/AE.2020.33.4.002.

10. Момот, Т. В. Обоснование выбора сырьевых источников из Дальневосточной флоры для получения фармацевтических препаратов / Т. В. Момот, Н. Ф. Кушнерова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 2. – С. 146–149.

11. Растительное сырье Дальневосточного региона как источник биологически активных веществ / Н. Н. Степакова, И. Ю. Резниченко, Т. Ф. Киселева [и др.] // Пищевая промышленность. – 2020. – № 3. – С. 16–21. https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10025.

12. Dietary flavonoid intake is inversely associated with cardiovascular disease risk as assessed by body mass index and waist circumference among adults in the United States / R. S. Sebastian, C. Wilkinson Enns, J. D. Goldman [et al.] // Nutrients. – 2017. – Vol. 9, № 8. https://doi.org/10.3390/nu9080827.

13. Киселев, К. В. Экспрессия генов транскрипционных факторов MYB R2R3 в растениях и клеточных культур *Vitis Amurensis* Rupr. с различным содержанием резвератрола / К. В. Киселев, О. А. Алейнова, А. П. Тюрин // Генетика. – 2017. – Т. 53, № 4. – С. 460–467. https://doi.org/10.7868/S0016675817040099.

14. Культура клеток *Vitis amurensis* Rupr. как альтернативный источник противоопухолевого резвератрола / О. А. Алейнова, А. С. Дубровина, В. С. Христенко [и др.] // Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира (физиолого-биохимические, эмбриологические, генетические и правовые аспекты) : материалы VII Международной научно-практической конференции. – Симферополь, 2016. – С. 170–171.

15. Резниченко, И. Ю. Влияние климатических условий на биологическую ценность ягодного сырья Амурской области / И. Ю. Резниченко, Н. А. Фролова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2018. – № 4. – С. 92–100.

16. A review of dietary stilbenes: sources and bioavailability / T. El Khawand, A. Courtois, J. Valls [et al.] // Phytochemistry Reviews. – 2018. – Vol. 17, № 5. – P. 1007–1029. https://doi.org/10.1007/s11101-018-9578-9.

17. Vitis amurensis Rupr: A review of chemistry and pharmacology / Q. Chen, L. Diao, H. Song [et al.] // Phytomedicine. – 2018. – Vol. 49. – P. 111–122. https://doi.org/10.1016/j.phymed.2017.08.013.

18. Pressman, P. Bioavailability of micronutrients obtained from supplements and food: A survey and case study of the polyphenols / P. Pressman, R. A. Clemens, A. W. Hayes // Toxicology Research and Application. – 2017. – Vol. 1. https://doi.org/10.1177/2397847317696366.

19. Suppression of presymptomatic oxidative stress and inflammation in neurodegeneration by grape-derived polyphenols / F. Herman, S. Westfall, J. Brathwaite [et al.] // Frontiers in Pharmacology. – 2018. – Vol. 9. https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00867.

20. Применение БИО- и ДНК-технологий в ННЦ «ИВиВ им. В. Е. Таирова» / В. В. Власов, Н. А. Мулюкина, Н. Н. Зелененская [и др.] // Biotehnologii avansate – realizări şi perspective. – Кишинев, 2019. – С. 20.

21. Polyphenolic diversity in *Vitis* sp. leaves / O. Kedrina-Okutan, V. Novello, T. Hoffmann [et al.] // Scientia Horticulturae. – 2019. – Т. 256. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108569.

22. Rasines-Perea, Z. Grape polyphenols' effects in human cardiovascular diseases and diabetes / Z. Rasines-Perea, P. L. Teissedre // Molecules. – 2017. – Vol. 22, № 1. https://doi.org/10.3390/molecules22010068.

23. Nanotechnological breakthroughs in the development of topical phytocompounds-based formulations / A. C. Santos, D. Rodrigues, J. A. D. Sequeira [et al.] // International Journal of Pharmaceutics. – 2019. – Vol. 572. https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2019.118787.

24. Фролова, Н. А. Исследование химического состава плодово-ягодного сырья Дальневосточного региона как перспективного источника пищевых и биологически активных веществ / Н. А. Фролова, И. Ю. Резниченко // Вопросы питания. – 2019. – Т. 88, № 2. – С. 83–90. https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10021.

25. Molecular and biochemical characterization of the UDP-glucose: Anthocyanin 5-O-glucosyltransferase from *Vitis amurensis* / F. He, W.-K. Chen, K.-J. Yu [et al.] // Phytochemistry. – 2015. – Vol. 117. – P. 363–372. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.06.023.

26. Mrduljaš, N. Polyphenols: Food sources and health benefits / N. Mrduljaš, G. Krešić, T. Bilušić // Functional food. Improve health through adequate food / M. C. Hueda. – IntechOpen, 2017. – P. 23–41. https://doi.org/10.5772/intechopen.68862.

27. Biotransformation of anthocyanins from *Vitis amurensis* Rupr of "Beibinghong" extract by human intestinal microbiota / F. Zheng, M. Han, Y. He [et al.] // Xenobiotica. – 2019. – Vol. 49, № 9. – P. 1025–1032. https://doi.org/10.1080/00498254.2018.1532132.

28. Фролова, Н. А. Кондитерские изделия пониженной энергетической ценности для геродиетического питания / Н. А. Фролова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2020. – Т. 8, № 1. – С. 74–80.

29. Stilbene content and expression of stilbene synthase genes in cell cultures of *Vitis amurensis* treated with cinnamic and caffeic acids / A. P. Tyunin, N. N. Nityagovsky, V. P. Grigorchuk [et al.] // Biotechnology and Applied Biochemistry. – 2018. – Vol. 65, № 2. – P. 150–155. https://doi.org/10.1002/bab.1564.

30. Dietary phenolic compounds: Biochemistry, metabolism and significance in animal and human health / V. Tufarelli, E. Casalino, A. G. D'Alessandro [et al.] // Current Drug Metabolism. – 2017. – Vol. 18, № 10. – P. 905–913. https://doi.org/10.2174/1389200218666170925124004.

31. A comparative study on quality attributes and physiological responses of organic and conventionally grown table grapes during cold storage / P. Zahedipour, M. Asghari, B. Abdollahi [et al.] // Scientia Horticulturae. – 2019. – Vol. 247. – P. 86–95. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.077.

32. Arbutus unedo L.: From traditional medicine to potential uses in modern pharmacotherapy / S. Morgado, M. Morgado, A. I. Plácido [et al.] // Journal of Ethnopharmacology. – 2018. – Vol. 225. – P. 90–102. https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.07.004.

33. The polyphenolic profile of grapes / I. Tomaz, P. Štambuk, Ž. Andabaka [et al.] // Grapes: Polyphenolic composition, antioxidant characteristics and health benefits / S. Thomas. – Nova Science Pub Inc, 2017. – P. 1–70.

34. Potential application of grape (*Vitis vinifera* L.) stem extracts in the cosmetic and pharmaceutical industries: Valorization of a by-product / C. Leal, I. Gouvinhas, R. A. Santos [et al.] // Industrial Crops and Products. – 2020. – Vol. 154. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112675.

35. Exogenous calcium deflects grape berry metabolism towards the production of more stilbenoids and less anthocyanins / V. Martins, K. Billet, A. Garcia [et al.] // Food Chemistry. – 2020. – Vol. 313. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126123.

36. Grape berry flavonoids: A review of their biochemical responses to high and extreme high temperatures / J. C. Gouot, J. P. Smith, B. P. Holzapfel [et al.] // Journal of Experimental Botany. – 2019. – Vol. 70, № 2. – P. 397–423. https://doi.org/10.1093/jxb/ery392.

37. The role of polyphenols in human health and food systems: A mini-review / H. Cory, S. Passarelli, J. Szeto [et al.] // Frontiers in Nutrition. – 2018. – Vol. 5. https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00087.

38. Profile of phenolic compounds and antioxidant activity of finger millet varieties / J. Xiang, F. B. Apea-Bah, V. U. Ndolo [et al.] // Food Chemistry. – 2019. – Vol. 275. – P. 361–368. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.120.

39. Pasteurized orange juice rich in carotenoids protects *Caenorhabditis elegans* against oxidative stress and β-amyloid toxicity through direct and indirect mechanisms / R. B. De Oliveira Caland, C. O. M. Cadavid, L. Carmona [et al.] // Oxidative Medicine and Cellular Longevity. – 2019. – Vol. 2019. https://doi.org/10.1155/2019/5046280.

References

1. Federal′naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Federal State Statistics Service] [Internet]. [cited 2020 Dec 15]. Available from: https://gks.ru.

2. Kimble R, Keane KM, Lodge JK, Howatson G. Dietary intake of anthocyanins and risk of cardiovascular disease: A systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2019;59(18):3032–3043. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1509835.

3. Dalgaard F, Bondonno NP, Murray K, Bondonno CP, Lewis JR, Croft KD, et al. Associations between habitual flavonoid intake and hospital admissions for atherosclerotic cardiovascular disease: a prospective cohort study. The Lancet Planetary Health. 2019;3(11):e450–e459. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30212-8.

4. Yadav K, Pandav CS. National iodine deficiency disorders control programme: Current status & future strategy. Indian Journal of Medical Research. 2018;148(5):503–510. https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_1717_18.

5. Biban BG, Lichiardopol C. Iodine deficiency, still a global problem? Current Health Sciences Journal. 2017;43(2):103–111. https://doi.org/10.12865/CHSJ.43.02.01.

6. Ruban NYu, Reznichenko IYu. Preferences of people of advanced and gerontic age in diet formation. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(1):176–184. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-176-184.

7. Puzin SN, Pogozheva AV, Potapov VN. Optimizing nutrition of older people as a mean of preventing premature aging. Problems of Nutrition. 2018;87(4):69–77. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10044.

8. Anisimov VN, Bordovskiy GA, Finagentov AV, Shabrov AV. State support to elderly citizens: which gerontology needs modern Russia? (Part 1). Advances in Gerontology. 2020;33(4):616–624. (In Russ.). https://doi.org/10.34922/AE.2020.33.4.001.

9. Anisimov VN, Bordovskiy GA, Finagentov AV, Shabrov AV. State support to elderly citizens: which geriatric needs modern Russia? (Part 2). Advances in Gerontology. 2020;33(4):625–645. (In Russ.). https://doi.org/10.34922/AE.2020.33.4.002.

10. Momot TV, Kushnerova NF. Justification of the choice of raw sources from far east flora for receiving the pharmaceutical preparations. Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2016;18;(2):146–149. (In Russ.).

11. Stepakova NN, Reznichenko IYu, Kiseleva TF, Shkrabtak NV, Frolova NA, Praskova YuA. Vegetable raw materials of the Far Eastern region as a source of biologically active substances. Food Industry. 2020;(3):16–21. (In Russ). https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10025.

12. Sebastian RS, Wilkinson Enns C, Goldman JD, Moshfegh AJ. Dietary flavonoid intake is inversely associated with cardiovascular disease risk as assessed by body mass index and waist circumference among adults in the United States. Nutrients. 2017;9(8). https://doi.org/10.3390/nu9080827.

13. Kiselev KV, Aleynova OA, Tyunin AP. Expression of the R2R3 MYB transcription factors in *Vitis amurensis* Rupr. plants and cell cultures with different resveratrol content. Genetika. 2017;53(4):460–467. (In Russ.). https://doi.org/10.7868/S0016675817040099.

14. Aleynova OA, Dubrovina AS, Khristenko VS, Kiselev KV. Kul′tura kletok *Vitis amurensis* Rupr. kak al′ternativnyy istochnik protivoopukholevogo rezveratrola [Cell culture of *Vitis amurensis* Rupr. as an alternative source of antitumor resveratrol]. Biotekhnologiya kak instrument sokhraneniya bioraznoobraziya rastitel′nogo mira (fiziologo-biokhimicheskie, ehmbriologicheskie, geneticheskie i pravovye aspekty): materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Biotechnology as a tool for preserving plant biodiversity (physiological, biochemical, embryological, genetic, and legal aspects): Proceedings of the VII International scientific and practical conference]; 2016; Simferopol. Simferopol: Arial; 2016. p. 170–171. (In Russ.).

15. Reznichenko IYu, Frolova NA. The influence of climatic conditions on the biological value of berry raw materials of the amur region. Storage and Processing of Farm Products. 2018;(4):92–100. (In Russ.).

16. El Khawand T, Courtois A, Valls J, Richard T, Krisa S. A review of dietary stilbenes: sources and bioavailability. Phytochemistry Reviews. 2018;17(5):1007–1029. https://doi.org/10.1007/s11101-018-9578-9.

17. Chen Q, Diao L, Song H, Zhu X. *Vitis amurensis* Rupr: A review of chemistry and pharmacology. Phytomedicine. 2018;49:111–122. https://doi.org/10.1016/j.phymed.2017.08.013.

18. Pressman P, Clemens RA, Hayes AW. Bioavailability of micronutrients obtained from supplements and food: A survey and case study of the polyphenols. Toxicology Research and Application. 2017;1. https://doi.org/10.1177/2397847317696366.

19. Herman F, Westfall S, Brathwaite J, Pasinetti GM. Suppression of presymptomatic oxidative stress and inflammation in neurodegeneration by grape-derived polyphenols. Frontiers in Pharmacology. 2018;9. https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00867.

20. Vlasov VV, Muliukina NA, Zeleneanscaia NN, Gheręţchii RV. Primenenie BIO- i DNK-tekhnologiy v NNTS “IViV im. V.E. Tairova” [Application of BIO and DNA technologies in the NSC “IViV im. V.E. Tairova”]. Biotehnologii avansate – realizări și perspective; 2019; Chisinau. Chisinau, 2019. p. 20. (In Russ.).

21. Kedrina-Okutan O, Novello V, Hoffmann T, Hadersdorfer J, Schneider A, Schwab W, et al. Polyphenolic diversity in *Vitis* sp. leaves. Scientia Horticulturae. 2019;256. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108569.

22. Rasines-Perea Z, Teissedre PL. Grape polyphenols’ effects in human cardiovascular diseases and diabetes. Molecules. 2017;22(1). https://doi.org/10.3390/molecules22010068.

23. Santos AC, Rodrigues D, Sequeira JAD, Pereira I, Simões A, Costa D, et al. Nanotechnological breakthroughs in the development of topical phytocompounds-based formulations. International Journal of Pharmaceutics. 2019;572. https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2019.118787.

24. Frolova NA, Reznichenko IYu. Investigation of the chemical composition of fruit and berry raw materials of the Far Eastern Region as a perspective source of nutrients and bioactive compounds. Problems of Nutrition. 2019;88(2):83–90. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10021.

25. He F, Chen W-K, Yu K-J, Ji X-N, Duan C-Q, Reeves MJ, et al. Molecular and biochemical characterization of the UDP-glucose: Anthocyanin 5-O-glucosyltransferase from *Vitis amurensis*. Phytochemistry. 2015;117:363–372. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.06.023.

26. Mrduljaš N, Krešić G, Bilušić T. Polyphenols: Food sources and health benefits. In: Hueda MC, editor. Functional food. Improve health through adequate food. IntechOpen; 2017. pp. 23–41. https://doi.org/10.5772/intechopen.68862.

27. Zheng F, Han M, He Y, Zhang Y, Liu S, Yue H, et al. Biotransformation of anthocyanins from *Vitis amurensis* Rupr of "Beibinghong" extract by human intestinal microbiota. Xenobiotica. 2019;49(9):1025–1032. https://doi.org/10.1080/00498254.2018.1532132.

28. Frolova NA. Confectionery products of reduced energy value for aged people food. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2020;8(1):74–80. (In Russ.).

29. Tyunin AP, Nityagovsky NN, Grigorchuk VP, Kiselev KV. Stilbene content and expression of stilbene synthase genes in cell cultures of *Vitis amurensis* treated with cinnamic and caffeic acids. Biotechnology and Applied Biochemistry. 2018;65(2):150–155. https://doi.org/10.1002/bab.1564.

30. Tufarelli V, Casalino E, D'Alessandro AG, Laudadio V. Dietary phenolic compounds: Biochemistry, metabolism and significance in animal and human health. Current Drug Metabolism. 2017;18(10):905–913. https://doi.org/10.2174/1389200218666170925124004.

31. Zahedipour P, Asghari M, Abdollahi B, Alizadeh M, Danesh YR. A comparative study on quality attributes and physiological responses of organic and conventionally grown table grapes during cold storage. Scientia Horticulturae. 2019;247:86–95. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.077.

32. Morgado S, Morgado M, Plácido AI, Roque F, Duarte AP. *Arbutus unedo* L.: From traditional medicine to potential uses in modern pharmacotherapy. Journal of Ethnopharmacology. 2018;225:90–102. https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.07.004.

33. Tomaz I, Štambuk P, Andabaka Ž, Preiner D, Stupic D, Maletic E, et al. The polyphenolic profile of grapes. In: Thomas S, editor. Grapes: Polyphenolic composition, antioxidant characteristics and health benefits. Nova Science Pub Inc; 2017. pp. 1–70.

34. Leal C, Gouvinhas I, Santos RA, Rosa E, Silva AM, Saavedra MJ, et al. Potential application of grape (*Vitis vinifera* L.) stem extracts in the cosmetic and pharmaceutical industries: Valorization of a by-product. Industrial Crops and Products. 2020;154. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112675.

35. Martins V, Billet K, Garcia A, Lanoue A, Gerós H. Exogenous calcium deflects grape berry metabolism towards the production of more stilbenoids and less anthocyanins. Food Chemistry. 2020;313. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126123.

36. Gouot JC, Smith JP, Holzapfel BP, Walker AR, Barril C. Grape berry flavonoids: A review of their biochemical responses to high and extreme high temperatures. Journal of Experimental Botany. 2019;70(2):397–423. https://doi.org/10.1093/jxb/ery392.

37. Cory H, Passarelli S, Szeto J, Tamez M, Mattei J. The role of polyphenols in human health and food systems: A mini-review. Frontiers in Nutrition. 2018;5. https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00087.

38. Xiang J, Apea-Bah FB, Ndolo VU, Katundu MC, Beta T. Profile of phenolic compounds and antioxidant activity of finger millet varieties. Food Chemistry. 2019;275:361–368. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.120.

39. De Oliveira Caland RB, Cadavid COM, Carmona L, Peña L, De Paula Oliveira R. Pasteurized orange juice rich in carotenoids protects *Caenorhabditis elegans* against oxidative stress and β-amyloid toxicity through direct and indirect mechanisms. Oxidative Medicine and Cellular Longevity. 2019;2019. https://doi.org/10.1155/2019/5046280.

2021 Т. 51 № 1 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-170-178
Review article
Available online at http://fptt.ru/eng

Freeze-Dried Food in the Diet of Temporary Residents of the Far North

Evgeniy I. Titov[1], Irina S. Krasnova[1,*], Vera I. Ganina[2], Elena G. Semenova[3]

[1] Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia

[2] K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management

(The First Cossacs University), Moscow, Russia

[3] Main Clinical Hospital of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Moscow, Russia

Received: January 19, 2021
Accepted: February 16, 2021

**e-mail: ira3891@mail.ru*
© E.I. Titov, I.S. Krasnova, V.I. Ganina, E.G. Semenova, 2021

Abstract.
Introduction. The Russian Arctic, also called the Far North, attracts a lot of people who work on a fly-in fly-out basis. These temporary residents experience the negative impact of the harsh climate and suffer from unvaried diets and poor ration. Freeze-dried products might be the optimal solution to this problem. The research objective was to find a rationale for the use of freeze-dried long-storage products in the diets of temporary residents in regions with harsh climatic conditions.
Study objects and methods. The research featured scientific publications on two topics: 1) nutrition and diet of shift workers in the Far North, 2) development of freeze-dried products for long-term storage in extreme conditions.
Results and discussion. Shift workers consume a lot of fats and carbohydrates, while their diet lacks complete proteins, vitamins, minerals, dairy products, and fresh fruits and vegetables. Taking into consideration the high content of sugar and confectionery, the diet ruins the health of the temporary residents and causes alimentary chronic non-infectious diseases. A healthy diet for the Russian Arctic should correspond to the metabolic profile typical of people in chronic environment stress and be complete both quantitatively and qualitatively. Important food products are difficult to deliver to the Far North. As a result, they are microbiologically and chemically contaminated. Therefore, the region needs high-quality functional products with prolonged shelf life.
Conclusion. Freeze-dried fermented milk products, fruits, and vegetables can help temporary residents of the Far North to maintain their usual food patterns. Freeze-dried foods have a long shelf life in unregulated temperature conditions, which can solve the issue of food supply even to the most remote settlements.

Keywords. Diet, ration, freeze drying, freeze-dried food, functional food, stress, adaptation, Far North, Russian Arctic

For citation: Titov EI, Krasnova IS, Ganina VI, Semenova EG. Freeze-Dried Food in the Diet of Temporary Residents of the Far North. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):170–178. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-170-178.

УДК 613.11:612.391.4(943.8)
Обзорная статья http://fptt.ru

Особенности питания населения, временно пребывающего в условиях Крайнего Севера, и перспективы применения сублимированных продуктов

Е. И. Титов[1], И. С. Краснова[1,*], В. И. Ганина[2], Е. Г. Семенова[3]

[1] Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия

[2] Московский государственный университет технологий и управления

имени К. Г. Разумовского» (ПКУ), Москва, Россия

[3] Главный клинический госпиталь МВД России, Москва, Россия

Дата поступления в редакцию: 19.01.2021
Дата принятия в печать: 16.02.2021

**e-mail: ira3891@mail.ru*
© Е. И. Титов, И. С. Краснова, В. И. Ганина, Е. Г. Семенова, 2021

Аннотация.
Введение. В статье собраны сведения об особенностях питания населения, работающего вахтовым методом в условиях Крайнего Севера. Цель работы – сбор и анализ научно-технической информации о структуре питания временно работающего приезжего населения в российских регионах с трудными климатическими условиями, а также перспективах использования сухих сублимированных продуктов с функциональными свойствами в условиях повышенных физических нагрузок.
Объекты и методы исследования. Научные публикации, посвященные вопросам питания и рациона населения, проживающего в условиях Крайнего Севера, а также разработки сублимированных продуктов длительного хранения в экстремальных условиях.
Результаты и их обсуждение. Выявлено, что рацион вахтовиков характеризуется повышенным содержанием жировых и углеводных продуктов, при недостатке полноценного белка, витаминов и минеральных веществ. В рационах отмечено недостаточное количество молока и молочных продуктов, свежих фруктов и овощей, и повышенное содержание сахара и кондитерских изделий, что отрицательно влияет на здоровье населения и приводит к развитию наиболее распространенных алиментарно-зависимых хронических неинфекционных заболеваний. Показано, что рацион должен соответствовать особенностям обмена веществ при хроническом стрессе и быть полноценным не только по количественному содержанию компонентов, но и по качественному. Определено, что отсутствие необходимых продуктов связано со сложностями их доставки в регион, что приводит к микробиологической и химической контаминации пищевых продуктов во всех административных территориях Арктической зоны. В связи с чем, возникает необходимость в специализированных продуктах высокого качества с длительными сроками хранения.
Выводы. Предложено расширение ассортимента и улучшение структуры питания путём использования в рационах сублимированных функциональных продуктов. Дана информация по примерам использования сублимированных продуктов в нашей стране и за рубежом в условиях повышенных нагрузок в питании космонавтов, военнослужащих, спортсменов и др. Показана экономическая эффективность применения сублимированных продуктов питания в зависимости от продолжительности хранения и дальности перевозки, по сравнению с холодильным хранением. Обобщены данные о перспективах метода вакуумной сублимационной сушки для создания специализированных сублимированных продуктов.

Ключевые слова. Питание, рацион, сублимированные продукты питания, функциональные продукты, стресс, адаптация, макронутриенты, микронутриенты, Крайний Север

Для цитирования: Особенности питания населения, временно пребывающего в условиях Крайнего Севера, и перспективы применения сублимированных продуктов / Е. И. Титов, И. С. Краснова, В. И. Ганина [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 170–178. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-170-178.

Introduction

The Russian Arctic occupies about 70% of the Russian Federation. It is an important and developing source of natural resources. It accounts for 90% of coal reserves, 80% of hydropower resources, large strategic reserves of oil and gas, almost the entire volume of explored rare metals and diamonds, 50% of iron ore deposits, 80% of forest resources, and more than 60% of fresh water reserves [1, 2]. Intensive development of natural resources attracts a lot of shift workers. However, the harsh climatic conditions make it difficult for the temporary residents to live and work in the Russian Arctic: rapid temperature changes, extreme light regime, and various geomagnetic, gravitational, and radiation anomalies [3–7]. Moreover, such conditions are quite often accompanied by unfavorable social and industrial environment. Together with information overloads, it causes additional mental fatigue and emotional stress in the migrant workers, which can become chronic [3, 8–12].

In October 2020, Russian President Vladimir Putin signed the Strategy for the Development of the Russian Arctic and Ensuring National Security for the period until 2035. The pressing issue makes it extremely relevant to improve the adaptation of shift workers and strengthen their health. First of all, shift workers need access to adequate nutrition [6, 8, 9, 13–15]. Second, they should be provided with functional and preventive foods to maintain health, restore energy costs, reduce the loss of working time, and increase performance [16–18].

The research objective was to collect and process scientific and technical data on the food patterns of communities that experience constant physical exertion under harsh climatic conditions and to prove the prospects for introducing freeze-dried long-storage products into local diets.

Study objects and methods

The paper introduces a review of domestic and foreign scientific publications in two major fields: nutrition and diet of the residents of the Far North and the development of freeze-dried products for long-term storage in extreme conditions.

Results and discussion

Diets and food patterns of Arctic communities often become focus of scientific attention. As a rule, research objective is to calculate deviations from the recommended nutrient intake [19, 20].

Ionova studied the diet of the shift workers in the Yamal-Nenets Autonomous Region and revealed a highly atherogenic character of their diet: more than

25% of the temporary residents demonstrated excess fat consumption [20]. Epidemiological studies on the territory of the Yamalo-Nenets Autonomous Region showed that local shift workers aged 20–59 were prone to metabolic syndrome. Their actual diet was imbalanced in many aspects as it contained too much common fats, cholesterol, and sodium, while lacking ω-3 polyunsaturated fatty acids, carbohydrates dietary fiber, vitamins, and minerals, e.g. B-group vitamins, potassium, calcium, magnesium, phosphorus, etc. [19, 21, 22].

At a mine in the North-Yenisei region of the Krasnoyarsk Territory, the food in the stationary canteen fully met the requirements for proteins. In fact, the local shift workers received more protein than recommended for the daily intake, because they habitually chose meat or fish for lunch and dinner, while their breakfast consisted mostly of boiled eggs, cheese, sausages, and cottage cheese with sour cream. However, the Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology warns that protein assimilation can fall down to 80%, which justifies the increased protein intake. The diet satisfied the physiological need for fats by 100% and for digestible carbohydrates – by 85.3%. The content of dietary fiber in the daily ration exceeded the norm by two times because vegetable salads, bean puree, cereals, bread, etc. were the most popular and affordable dishes for breakfast or as a side dish. The miners' diet proved to be quite complete, varied, and balanced. However, the distribution of calories by meals was imbalanced, and the diet was poor in vitamin C, calcium, and magnesium [8].

In the Norilsk industrial region, miners' diet appeared lacking in calories and essential micronutrients. The diet revealed a significant shortage of dairy products, fresh vegetables, and fruits. The share of fish, seafood, eggs, and vegetable oil was below the recommended level, while that of sugar and confectionery products exceeded the norm [23].

A research on the food patterns and nutritional status of industrial workers in the Sverdlovsk region showed an excessive intake of fats, saturated fatty acids, and mono- and disaccharides, as well as a lack of polyunsaturated fatty acids and dietary fiber [24].

Since the 1990s, the Federal Service of State Statistics for the Republic of Sakha (Yakutia) has registered a downward trend in the annual production and consumption of many foods per household member. For dairy products, this amount has fallen from 437 to 279 kg; vegetables and melons – from 82 to 62 kg; eggs – from 269 to 176 pcs. By 2012, the share of agricultural products produced in Yakutia was 28% of the norm for meat products, 73% – for dairy products, 66% – for eggs, and 46% – for vegetables and melons. These data indicate that the local food pattern is undergoing a transformation as the share of carbohydrates and fats increases due to the decreasing protein intake [25].

The Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology studied the food patterns of the indigenous and migrant communities of the Russian Arctic. Compared to the indigenous people, the newcomers appeared to consume less bakery products, fatty products, and fish while eating more vegetables, dairy products (kefir, fermented baked milk, yogurt, sour clotted milk, cheese, cottage cheese, sour cream, etc.), and – less often – such canned dairy products as sweet condensed milk [26]. In general, the local level of consumption of dairy products is not high enough. For instance, in the Tyumen region, only 45.5% of surveyed residents consume dairy products every day. The insufficient calcium intake is typical of all age groups [27].

In 2014, the level of self-sufficiency for milk in accordance with the recommended rational consumption rates was 9.3% in the Murmansk Region and 0.5% in the Chukotka Autonomous Region [13]. A similar study for 2013 also confirmed that the level of self-sufficiency for certain foods was lower than the recommended nutritional standards. For milk, it ranged from 0.6 in the Chukotka Autonomous Region to 59% in the Republic of Sakha (Yakutia); for meat – from 4 in the Magadan Region to 34.3% in Chukotka and Yakutia; for eggs – from 21.7 in Chukotka to 69.5% in the Murmansk Region [28].

Scientists believe that introducing functional and locally produced foods into the local diet can increase people's resistance to unfavorable environmental and labor conditions [8, 13, 29–31]. However, there is evidence that European settlers who adjusted to the local products and food patterns of the indigenous population developed negative changes in lipid metabolism later in life. Their metabolism shifted from the carbohydrate type to the fatty type, and it is fats that compensate for increased energy consumption, which increases serum cholesterol and atherogenic lipids in peripheral blood, thus triggering atherosclerosis [32].

Panin *et al*. performed a longitudinal study, which resulted in *the principle of adequacy of nutrition to the state of energy metabolism*. The obtained results made it possible to reconsider the nutritional standards for shift workers in order to adjust them to the adaptive changes in their metabolism. The research team developed carbohydrate, basic, and protein-lipid diets for young male shift workers and tested them under real-life conditions in the Far North. Both the carbohydrate diet and the diet of the indigenous population proved inadequate for the migrant working population. The ideal of proteins:fats:carbohydrates ratio was 16:40:44. However, energy value can vary depending on the severity of labor [33].

Available publications demonstrate that the diet of temporary residents of the Far North should correspond to the metabolic profile typical of people in chronic environment stress and be complete both quantitatively and qualitatively [8, 19, 29, 31, 34]. Most studies on the diet of non-indigenous communities register excessive consumption of carbohydrates, refined sugars, and

saturated fatty acids against the deficiency of vitamins, some minerals, essential proteins, and amino acids.

If combined with low ambient temperatures and insufficient calorie intake, even a short-term physical activity can lead to vitamin C deficiency. Low temperatures are known to affect the metabolism of vitamin C and B-group vitamins [6, 35, 36]. Moreover, vitamin D deficiency is quite common in high latitudes [37, 38]. These factors trigger the development of such alimentary chronic non-infectious conditions as obesity, atherosclerosis, cardio-vascular problems, arterial hypertension, diabetes, vitamin deficiency, etc. [20, 22, 26, 34, 39, 40].

Fresh vegetables, fruits, berries, as well as eggs and dairy products, are hard to find in the Russian Arctic. It is connected with the existing microbiological and chemical contamination of food products in all administrative territories of the Arctic zone [13, 14]. Nowadays, the microbiological indicators of milk, fermented dairy products, meat, poultry, fish, and seafood seldom meet sanitary and epidemiological standards [14].

This situation results from the economic difficulties associated with the food supply to these remote territories [8, 14, 40, 41, 42]. The most cost-effective and popular way of food delivery is first by railroad and then by river transport. Other options are the Northern Sea Route and air transport.

The food delivery scheme to the Republic of Sakha (Yakutia) shows that the shipping cost for perishable food by rail and river transport is 82 rubles (30 days), by the Northern Sea Route – 118 rubles (13–20 days), by air – 283 rubles (7 h). All these deadlines are hard to meet in the harsh climate, and delivery period often exceeds shelf life of such perishable goods as dairy products, fresh fruits and vegetables, etc. [2].

Such conditions require new long-storage food products with a low weight and volume, which can be achieved by lowering the final moisture content and using vacuum packaging. For instance, Filippova *et al*. developed a technology for natural cryogenic products to be used in extreme living conditions. The team ground raw materials at cryogenic temperatures and then dried them at moderate temperatures. The experiment involved contract servicemen (n = 30 in each observation) that performed extreme physical activities. Introducing 30 g of the experimental product per day for 15 days had a positive effect on their morphological and functional condition. The scientists reported reliable data on the positive changes in the respiratory, cardiovascular, and central nervous systems [43].

The modified diet had a beneficial effect on lipid and protein metabolism as well as liver function. 46.7% of the test subjects improved the muscle strength of the dominant hand. The share of soldiers with excellent physique increased by 1.6 times, the number of those with good physical adaptation – by 1.4 times. The number of test subjects whose defense mechanisms improved their adaptive potential increased by 1.5 times. The new product was also tested on a group of conscript servicemen with weight deficit (n = 650), who consumed up to 35 g per day for 15 days. The new diet helped them to restore standard body weight in 75% of cases. After the experiment was repeated, 99% of the test subjects reached standard body weight [43].

Freeze-dried food products are another promising direction in improving the diets of temporarily residents of the Arctic regions. Such products are obtained by vacuum freeze drying, which increases shelf life while preserving the nutritional value. The method can be applied to a wide range of food products, especially vegetables and fruits, but also dairy and meat products. Domestic freeze-dried products often proved invaluable in harsh conditions. For instance, freeze-dried meat and cottage cheese were in the diet of the famous Arctic expeditions organized by *The Komsomolskaya Pravda* in the summer of 1973–1974 in order to find traces of Russian pioneers. The expeditions received wide media coverage. The freeze-dried products were developed by the All-Russian Research Institute of Canning and Vegetable Drying. During the ascent to Everest in 1984, Russian climbers gave full marks to the freeze-dried products developed by Vladimir Voskoboinikov [44].

In the early 1960s, the Moldavian Research Institute of Food Industry developed and tested a wide range of vegetable-based freeze-dried products, which were regularly used in space flights. In the mid-1970s, the Research Institute of Food Concentrate Industry and Special Food Technology became the leading organization for the development of rations and foods for cosmonauts, borscht with meat being their first successful freeze-dried project.

The contemporary list of space foods includes 300 types of high-quality, reliable, long-storage products designed for specific conditions of transportation and operation [45, 46]. Another list of 100 commercial foods ensures the diversity of space diet. These products passed cold-and-hot control tests and were divided into two groups: those with limited shelf life (60 days) and those with prolonged shelf life (12–15 months). The first group includes pressed beluga caviar, adjika, horseradish, ketchup, and salami mini sausages, while the second consists of liver pate, canned fish, meat, vegetable and fruit, freeze-dried yoghurts, dry instant drinks, and chocolate.

The ration of ISS crews includes the following freeze-dried products:

– beef-based soups, e.g. borscht, green cabbage soup, sauerkraut cabbage soup, pickle soup, potato soup, and smoked borscht;

– main courses, e.g. goulash, pork tenderloin, roast beef with side dishes (cabbage, peas in milk sauce, mashed potatoes, buckwheat porridge), pork with lecso, vegetable stew with meat, home-style beef, and pasta with meat;

– canned meat, e.g. chopped pork with eggs, veal with vegetables, chicken with eggs, chicken with prunes, chicken omelet, etc., and commercial canned food, e.g. liver pate with dill or bacon; and
– canned fish, e.g. five kinds of pike perch, five kinds of salmon, beluga, sturgeon, aspic sturgeon, bream in spicy tomato-mustard sauce, etc.

The diet also includes such complete protein products as freeze-dried milk, cottage cheese with blackcurrant puree, sea buckthorn puree, and freeze-dried nuts, as well as canned processed cheeses. Freeze-dried products include pea puree soup, Bulgarian beans, and canned beans in tomato sauce.

Freeze-dried foods are also known to be part of NASA rations [47]. In the early days of the US space program, space flights lasted from a few minutes to 24 h and required no substantial meals. However, astronauts involved in project Mercury contributed to the development of space food. They tested the physiology of chewing, drinking, and swallowing solid and liquid food in microgravity. The first astronauts ate freeze-dried foods from aluminum tubes. Those tubes caused many problems: it was like sucking in a beverage through a straw, except that the food was much thicker. Special materials coated the inner surface of aluminum tubes because the metal could interact with acids found in such products as applesauce and produce hydrogen gas. Aluminum tubes often weighed more than the food they contained.

Eventually, tubes gave way to lighter plastic containers. Scientists developed small-size solid freeze-dried foods compressed into dehydrated pieces or cubes. The cubes were rehydrated with saliva when chewing. Food crumbles floating in microgravity could damage equipment, or the astronaut could inhale them. That is why the cubes were coated in gelatin to reduce crumbling. Those products were vacuum-packed in separate portioned containers made of transparent three-layer plastic foil, which prevented moisture ingress, preserved taste, and helped to avoid spoilage.

More recent diets included freeze-dried grape and orange drinks, fruit cocktails, turkey chunks, applesauce, cream chicken soup, shrimp cocktail, beef stew, chicken with rice, and turkey with gravy. The menu was repeated every four days. Each astronaut received 0.58 kg of freeze-dried food per day.

Freeze-dried products are an important part of NATO army rations, which proves its rationale. For example, individual LRP rations are used in to feed small, well-armed reconnaissance teams that patrol deep in enemy-held territory. Each package contains 40 bags, each of which provides one soldier with three meals. The food packet weighs 300 g, and its calorie content is 1540 kcal [48–50].

In addition, freeze-dried foods are used by professional athletes during outdoor competitions and are part of emergency food reserves [51–53].

Vacuum freeze drying includes freezing the product and removing moisture by sublimating ice crystals in vacuum. The process requires low temperatures, which preserves all important characteristics and quality indicators of the product [54]. High-quality freeze-dried products – vegetables, fruits, fermented milk products, minced meat and fish – are important both as independent food products and as part of existing rations and formulations. This principle can improve the diet of temporary residents of Arctic Russia, both shift workers and their families.

At the production stage, freeze drying is more expensive than simple freezing. However, storage, transportation, and cooking of frozen products require more energy costs, which is confirmed by foreign and domestic studies [55, 56].

Russia has good prerequisites for increasing the share of freeze-dried foods in the food patterns of Arctic communities. The city of Borovsk, Kaluga Region, boasts a freeze drying plant with 20 domestic freeze-drying units that produce 340 kg of raw materials per drying cycle each. The plant delivers one hundred different food products of plant origin. The technologies meet the best international standards. Freeze-dried products from Borovsk are highly appreciated by Russian consumers and receive prizes at domestic and foreign exhibitions.

Freeze drying is a prospective technology to be used in the diet of shift workers in the Russian Arctic [54]. Freeze-dried products have numerous advantages:
– they preserve nutritional value, including biologically active thermolabile components, i.e. vitamins, enzymes, amino acids, probiotic microorganisms, etc. [56, 57];
– maintain excellent sensory properties, e.g. size, taste, color, smell, etc. [58–62];
– are resistant to radiation;
– have low moisture content, which makes it possible to store them for up to two years in sealed packaging in unregulated temperature conditions, and they maintain high sanitary and hygienic parameters [63];
– possess good porosity and high hygroscopicity; as a result, they regain their initial state quite easily, and the powders get totally dispersed during rehydration [64];
– can acquire new consumer properties and increase their nutritional value if rehydrated with various biological fluids, e.g. minced meat reconstituted with milk;
– contribute to new technologies due to traditional and non-traditional raw materials [65];
– have low weight, which reduces transport costs [66]. For example, the mass of vegetable-based freeze-dried products is ten times lower than that of corresponding fresh fruits and vegetables.

The review shows that the contemporary diets of shift workers in the Far North have a lot of flaws. They contain a lot of fats, fast-digesting carbohydrates, and sodium, but lack fermented dairy products, fruits, and vegetables. Functional foods with prolonged shelf life can improve the situation.

Conclusion

Theoretical and practical research in new technologies of freeze-dried products for preventive dietary nutrition is especially important as it contributes to the extensive development of natural resources in the Russian Arctic, which is fueled by the migration of able-bodied population from the central regions. Shift workers have their own food patterns which local food cannot satisfy. As a result, their diet is imbalanced and poor in various macro- and micronutrients. Industrial production of freeze-dried products could improve the diet of shift workers in the Far North and people in emergency situations, e.g. they can be added to autonomous survival kits. Freeze-dried products can increase the adaptive potential and improve the health of shift workers in hard-to-reach regions.

Contribution

E.I. Titov supervised the research. V.I. Ganina reviewed the available scientific publications on nutrition and diets of shift workers in various regions of the Far North. I.S. Krasnova reviewed articles on the experience of using freeze-dried products for long-term storage in extreme conditions. E.G. Semenova was responsible for the section about alimentary non-infectious chronic diseases and the deficiency of various macro- and microelements in the diet of temporary residents of the Far North.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interests related to the publication of this article.

References

1. Samsonova IV, Yarlykapov AB. Prodovol′stvennoe obespechenie naseleniya rayonov Kraynego Severa Rossii [Food supply to the communities of the Russian Far North]. Economic Policy. 2016;(4). (In Russ.).

2. Poleshkina IO. Problems of food security in the regions of the Far North of Russia. Economy of Region. 2018;14(3): 820–835. (In Russ.). https://doi.org/10.17059/2018-3-10.

3. Nikiforova NA, Karapetyan TA., Dorshakova NV. Feeding habits of the northerners (literature review). Human Ecology. 2018;(11):20–22. (In Russ.).

4. Khasnulin VI. Sindrom polyarnogo napryazheniya [Polar stress syndrome]. In: Khasnulin VI, Vil′gel′m VD, Voevoda MI, Zyryanov BN, Selyatitskaya VG, Kulikov VYu, et al. editors. Mediko-ehkologicheskie osnovy formirovaniya, lecheniya i profilaktiki zabolevaniy u korennogo naseleniya Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga [Medical and ecological foundations of the development, treatment, and prevention of diseases in the indigenous population of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug]. Novosibirsk: Siberian Branch of the RAS; 2004. pp. 24–35. (In Russ.).

5. Deputat IS, Deryabina IN, Nekhoroshkova AN, Gribanov AV. Effect of climatic and ecological conditions of the north on ageing processes. Journal of Medical and Biological Research. 2017;5(3):5–17. (In Russ.). https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2017.5.3.5.

6. Solonin YuG, Bojko ER. Medical and physiological problems of the arctic. Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Division of the Russian Academy of Sciences. 2017;32(4):33–40. (In Russ.).

7. Young TK, Makinen TM. The health of Arctic populations: does cold matter? American Journal of Human Biology. 2010;22(1):129–133. https://doi.org/10.1002/ajhb.20968.

8. Yermosh LG, Safronova TN, Evtukhova OM, Kazina VV. Nutrition analysis of heavy workload workers recruited for rotational assignment operating in extreme north weather conditions. Russian Arctic. 2018;(3):71–92. (In Russ.).

9. Khasnulin VI. Zdorov′e, severnyy tip metabolizma i potrebnost′ ryby v ratsione pitaniya na severe [Health, northern metabolism, and the need for fish in the diet in the north]. In: Kharitonova VI, editor. Problemy sokhraneniya zdorov′ya v usloviyakh Severa i Sibiri: trudy po meditsinskoy antropologii [Health preservation problems in the Far North and Siberia: medical anthropology studies]. Moscow: Novosti; 2009. pp. 58–77. (In Russ.).

10. Khasnulin VI. Vvedenie v polyarnuyu meditsinu [Introduction to the medicine of the Far North]. Novosibirsk: Siberian Branch of the RAS; 1998. 337 p. (In Russ.).

11. Curtis T, Kvernmo S, Bjerregaard P. Changing living conditions, life style and health. International Journal of Circumpolar Health. 2005;64(5):442–450. https://doi.org/10.3402/ijch.v64i5.18025.

12. Storjord E, Dahl JA, Landsem A, Ludviksen JK, Karlsen MB, Karlsen BO, et al. Lifestyle factors including diet and biochemical biomarkers in acute intermittent porphyria: Results from a case-control study in northern Norway. Molecular Genetic and Metabolism. 2019;128(3):254–270. https://doi.org/10.1016/j.ymgme.2018.12.006.

13. Ivanov VA, Ivanova EV. Arctic specifics of food supply and development of agriculture of the European north-east of Russia. Arctic: Ecology and Economy. 2017;26(2):117–130. (In Russ.). https://doi.org/10.25283/2223-4594-2017-2-117-130.

14. Istomin AV, Fedina IN, Shkurikhina SV, Kutakova NS. Nutrition and the north: hygienic problems of the arctic zone of Russia (the review of the literature). Hygiene and Sanitation. 2018;97(6):557–563. (In Russ.). https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-6-557-563.

15. Koval′ EA, Khayrullin MF, Sharova TN. Features of nutrition of industry workers in the district of the extreme north. Molodezh′ i nauka [Youth and Science]. 2019;(1):83–87. (In Russ.).

16. Dubenko SE, Mazhaeva TV. The comparative assessment of the effectiveness of the therapeutic diet. Hygiene and Sanitation. 2017;96(12):1176–1178. (In Russ.). https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-12-1176-1178.

17. Kasymov SK, Rebezov MB. Development of functional foods for ecologically unfavorable regions. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2015;3(3):83–91. (In Russ.).

18. Novikov VS, Soroko SI, Shustov YeB. Functional food for improving tolerance to extreme climate impacts. Herald of Education and Science Development of Russian Academy of Natural Sciences. 2017;(2):106–117. (In Russ.).

19. Agbalyan EV. Assessment of actual nutrition of arctic migrants sympathoadrenal and the activity of the sympathoadrenal system. Hygiene and Sanitation. 2012;91(5):40–42. (In Russ.).

20. Ionova IE. Osobennosti kharaktera pitaniya i zdorov′e korennogo (malochislennogo) i prishlogo naseleniya Kraynego Severa [Peculiarities of the diet and health of the indigenous (small-numbered) and newcomer communitites of the Far North]. Cand. med. sci. diss. Nadym: Research Institute of Nutrition of the RAMS; 2004. 25 p.

21. Agbalyan EV, Lobanova LP, Buganov AA. Problemy pitaniya i zdorov′ya naseleniya Kraynego Severa [Issues of the diet and health of the population of the Far North]. Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya. 2009;195(6):16–19.

22. Lobanova LP, Agbalyan EV, Buganov AA. Providing of non- natives of the Far North with micronutrients. Problems of Nutrition. 2007;76(5):51–54. (In Russ.).

23. Saarkoppel′ LM, Istomin AV, Yatsyna IV. Disbalans fakticheskogo pitaniya kak faktor riska dlya zdorov′ya rabochikh Arkticheskoy zony Rossii [Actual nutritional imbalance as a health risk factor for shift workers in the Russian Arctic]. Zdorov′e natsii – osnova protsvetaniya Rossii: materialy XII Vserossiyskogo foruma [The health of the nation as the basis for the prosperity of Russia: Proceedings of the XII All-Russian Forum]; 2018; Moscow. Moscow: Liga zdorov′ya natsii; 2018. p. 138–139. (In Russ.).

24. Mazhaeva TV, Dubenko SE, Pogozheva AV, Khotimchenko SA. Characteristics of the diet and nutritional status of workers at various industrial enterprises of the Sverdlovsk region. Problems of Nutrition. 2018;87(1):72–78. (In Russ.).

25. Klimova TM, Fedorova VI, Baltakhinova ME, Fedorov AI, Leonard VR, Tarskaya LA. Transformatsiya kharaktera pitaniya i zabolevaemost′ naseleniya Respubliki Sakha (Yakutiya) [Effect of the diet transformation on the morbidity in the Sakha Republic (Yakutia)]. Problems of Nutrition. 2015;84(S3):117. (In Russ.).

26. Baturin AK, Pogozheva AV, Keshabyants EE, Starovoytov ML, Kobelkova IV, Kambarov AO. The study of nutrition, anthropometric testes and body composition among native and alien population of Russian Arctic. Problems of Nutrition. 2017;86(5):11–16. (In Russ.).

27. Suplotova LA, Avdeeva VA, Sharukho GV. Assessment of the level of consumption of calcium and vitamin d with food in the adult population of Tyumen region. Problems of Nutrition. 2019;88(5):45–52. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10053.

28. Polbitsyn SN, Drokin VV, Juravlev AS. The main directions of the organization of the food supply of the population of the northern, polar and Arctic territories. Management of Economic Systems. 2014;70(10). (In Russ.).

29. Boyko NN. Pitanie protiv stressa [Anti-stress diet]. In: Boyko NN, editor. Razbudit′ vnutrennego vracha (stress i adaptatsiya) [Wake up your inner doctor (stress and adaptation)]. Moscow: Rodnaya strana; 2017. pp. 259–272. (In Russ.).

30. Layshev KA, Dubovik IK, Beletsky SL. Reserves of food security of the arctic zone of Russia. Izvesniya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2018;52(3):198–203. (In Russ.).

31. Panin LE. Homeostasis and problems of circumpolar health (methodological aspects of adaptation). The Siberian Scientific Medical Journal. 2010;30(3):6–11. (In Russ.).

32. Panin LE. Ehnergeticheskie aspekty adaptatsii [Energy aspects of adaptation]. Leningrad: Meditsina; 1978. 192 p. (In Russ.).

33. Panin LE, Vloshchinskij PE. Influence of dietary patterns on energy metabolism and endocrine status in organized community of non-aboriginal young men in the Far North. Ateroscleroz. 2013;9(3–4):44–50. (In Russ.).

34. Eganian RA. Nutritional characteristics in dwellers of the far north of Russia (a review of literature). Russian Journal of Preventive Medicine. 2013;16(5):41–47. (In Russ.).

35. Larin I, Shagarov D. V usloviyakh Arktiki i Kraynego Severa [In the conditions of the Arctic and the Far North]. Orientir. 2016;(2):21–23. (In Russ.).

36. Sharonov AN, Larin IA, Timoshenkova IA. The study of the problems of nutrition in northern areas. Problemy ehkonomiki i upravleniya v torgovle i promyshlennosti [Issues of economics and management in trade and industry]. 2015;10(2): 68–72. (In Russ.).

37. Brustad M, Edvardsen K, Wilsgaard T, Engelsen O, Aksnes L, Lund E. Seasonality of UV-radiation and vitamin D status at 69 degrees north. Photochemical and Photobiological Sciences. 2007;6(8):903–908. https://doi.org/10.1039/b702947k.

38. Sharma S, Barr AB, Macdonald HM, Sheehy T, Novotny R, Corriveau A. Vitamin D deficiency and disease risk among aboriginal Arctic populations. Nutrition Review. 2011;69(8):468–478. https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2011.00406.x.

39. Kozlov AI, Ateyeva YuA, Vershubskaya GG, Ryzhayenkov VG, Suvorov AV. Vitamin D status in population of the perm territory and Komi and Udmurtia republics. Problems of Nutrition. 2013;82(2):31–36. (In Russ.).

40. Beketova NA, Kodentsova VM, Vrzhesinskaya OA, Keshabyants EE, Sokolnikov AA, Kosheleva OV, et al. Vitamin status of rural residents, living in Russian arctic. Problems of Nutrition. 2017;86(3):83–91. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00049.

41. Khurtsilava OG, Chashchin VP, Meltser AV, Dardynskaia IV, Erastova NV, Chashchin MV, et al. Pollution of the environment with persistent toxic substances and prevention of their harmful impact on the health of the indigenous population residing in the arctic zone of the Russian Federation. Hygiene and Sanitation. 2017;96(5):409–414. (In Russ.). https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-5-409-414.

42. Vasilovsky AM, Kurkatov SV. Hygienic assessment of food and beverages production in Krasnoyrsk region. Problems of Nutrition. 2012;81(2):46–50. (In Russ.).

43. Filippova ON, Istomin AV, Rakhmanov R, Gruzdeva AE. Perspectives of cryogen product nutrition of workers and military men exposed to extreme conditions. Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya. 2014;260(11):11–13. (In Russ.).

44. Voskoboynikov VA, Zakharchenko TS, Belakovskiy MS. Pitanie pervoy zkspeditsii sovetskikh al′pinistov na Ehverest [Diet of the first expedition of Soviet climbers to Everest]. Kosmicheskaya biologiya i meditsina [Space biology and medicine]. 1984;18(5). (In Russ.).

45. Dobrovol′skiy VF. Ispol′zovanie spetsial′no razrabotannykh i promyshlennykh produktov v pitanii kosmonavtov dlya optimizatsii nutrioma organizma v usloviyakh kosmicheskogo polyota [Targeted and industrial products in the diet of cosmonauts: how to improme human foodomics in space]. Polzunovsky Vestnik. 2018;(2):3–7. (In Russ.). https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2018.02.001.

46. Dobrovolsky VF. The modern technology utilization for the space feeding development and provision. Food Industry. 2016;1(1):33–36. (In Russ.).

47. Space food and nutrition. An educator's guide with activities in science and mathematics [Internet]. [cited 2021 Jan 04]. Available from: https://www.nasa.gov/pdf/143163main_Space.Food.and.Nutrition.pdf.

48. Khrustalev EYu, Koleukho DS. Subsistence support of the armies of the leading member states of NATO: particularities. National Interests: Priorities and Security. 2016;12(9)(342):178–191. (In Russ.).

49. Weaver CM, Dwyer J, Fulgoni VL, King JC, Leveille GA, MacDonald RS, et al. Processed foods: contributions to nutrition. American Journal of Clinical Nutrition. 2014;99(6):1525–1542. https://doi.org/10.3945/ajcn.114.089284.

50. Lombraña JI. Fundamentals and tendencies in freeze-drying of foods. In: Ratti C, editor. Advances in food dehydration. Boca Raton: CRC Press; 2009. pp. 209–235. https://doi.org/10.1201/9781420052534.

51. Novikov VS, Karkishchenko VN, Shustov EB. Funktsional′noe pitanie cheloveka pri ehkstremal′nykh vozdeystviyakh [Functional diet in extreme environment]. St. Petersburg: Politekhnika-print; 2017. 346 p. (In Russ.).

52. Nakazawa T, Beppu S. Shifting from emergency food to disaster preparation food to help disaster survivors. Science and Technology Trends. Quarterly Review. 2012;(44):36–54.

53. Sato M, Nakano M, Gatto K, Wunderlich S. Nutritional and environmental considerations of food stockpiles in Japan and USA: reducing food waste by efficient reuse through the food banks. International Journal of Sustainable Development and Planning. 2016;11(6):980–988. https://doi.org/10.2495/SDP-V11-N6-980-988.

54. Semenov GV, Krasnova IS. Sublimatsionnaya sushka pishchevykh produktov [Freeze drying of food products]. Moscow: DeLi plyus; 2018. 291 p. (In Russ.).

55. Agafonychev VP, Archakov AI, Voronkov AV, Selivyorstov AI, Protsenko VI. Novye aspekty tekhnologii sublimatsionnoy sushki [New aspects of freeze-drying technology]. Milk Processing. 2011;136(2):6–11. (In Russ.).

56. Gümüşay OA, Borazan AA, Ercal N, Demirkol O. Drying effects on the antioxidant properties of tomatoes and ginger. Food Chemistry. 2015;173:156–162. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.162.

57. Tarafdar A, Shahi NC, Singh A, Sirohi R Optimization of freeze-drying process parameters for qualitative evaluation of button mushroom (*Agaricus bisporus*) using response surface methodology. Journal of Food Quality. 2017;2017. https://doi.org/10.1155/2017/5043612.

58. Ratti C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. Journal of Food Engineering. 2001;49(4):311–319. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00228-4.

59. Valentina V, Pratiwi AR, Hsiao PY, Tseng HT, Hsieh JF, Chen CC. Sensorial characterization of foods before and after freeze-drying. Austin Food Science. 2016;1(6).

60. Serna-Cock L, Vargas-Mucoz DP, Aponte AA. Structural, physical, functional and nutraceutical changes of freeze-dried fruit. African Journal of Biotechnology. 2015;14(6):442–450. https://doi.org/10.5897/AJB2014.14189.

61. An K, Zhao D, Wang Z, Wu J, Xu Y, Xiao G. Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure. Food Chemistry. 2016;197:1292–1300. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.033.

62. Fante L, Noreña CPZ. Quality of hot air dried and freeze-dried of garlic (*Allium sativum* L.). Journal of Food Science Technology. 2015;52(1):211–220. https://doi.org/10.1007/s13197-013-1025-8.

63. Barros Fuchs RH, Ribeiro RP, Matsushita M, Coelho Tanamati AA, Canan C, Bona E, et al. Chemical, sensory and microbiological stability of freeze-dried Nile tilapia croquette mixtures. CyTA – Journal of Food. 2015;13(4)556–562. https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1014431.

64. Ivančević S, Mitrović D, Brkić M. Specificities of fruit freeze-drying and product prices. Economics of Agriculture. 2012;59(3)461–471.

65. Cui L, Niu L-Y, Li D-J, Liu C-Q, Liu Y-P, Liu C-J, et al. Effects of different drying methods on quality, bacterial viability and storage stability of probiotic enriched apple snacks. Journal of Integrative Agriculture. 2018;17(1):247–255. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61742-8.

66. Ciurzyńska A, Lenart A. Freeze-drying – application in food processing and biotechnology – A review. Polish Journal of Food and Nutrition Science. 2011;61(3):165–171. https://doi.org/10.2478/v10222-011-0017-5.

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-179-187
УДК 615.322(517.17)

Оригинальная статья
http://fptt.ru

Экспериментальное определение биологически активных соединений в выжимках свеклы и моркови, районированных в Сибирском регионе

А. В. Кожемяко, И. Ю. Сергеева*, И. В. Долголюк

Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

Дата поступления в редакцию: 21.01.2021

Дата принятия в печать: 02.03.2021

**e-mail: sergeeva.76@list.ru*
© А. В. Кожемяко, И. Ю. Сергеева, И. В. Долголюк, 2021

Аннотация.
Введение. В основе защиты окружающей среды лежит принцип рационального использования природных ресурсов, основанный на безотходной технологии. Отходы переработки овощей – овощные выжимки, которые могут использоваться в качестве вторичного сырья. Получение сведений по содержанию биологически активных веществ в выжимках моркови и свеклы, выращенных на территории Сибирского региона, с целью их дальнейшего использования в технологии функциональных продуктов питания представляет научную значимость.
Объекты и методы исследования. Выжимки моркови сортов «Лосиноостровская», «Нантская» и «Королева осени», выжимки свеклы сортов «Цилиндра» и «Бордо», районированные в Кемеровской области. Год сбора урожая 2019. Определение физико-химических показателей проводили стандартными методами, принятыми в отрасли. Определение каротиноидов, флавоноидов и β-цианина – спектро- и фотоколориметрическим методами.
Результаты и их обсуждение. Изучено содержание основных групп биоактивных веществ в выжимках моркови и свеклы, полученных при переработке овощей различных сортов. Содержание каротиноидов в моркови (мг β-каротина на 100 г сухой массы): «Лосиноостровская» – 23,56 ± 0,23, «Нантская» – 25,32 ± 0,18, «Королева осени» – 20,78 ± 0,25. Содержание флавоноидов (мг катехинового эквивалента на 100 г сухой массы): «Лосиноостровская» – 12,02 ± 0,37, «Нантская» – 13,45 ± 0,56, «Королева осени» – 11,50 ± 0,48. Содержание β-цианина в свекле (мг на 100 г сухой массы): «Цилиндра» – 100,0 ± 8,5; «Бордо» – 35,0 ± 1,8. Определена пищевая ценность выжимок из моркови и свеклы с массовой долей влаги 10 %.
Выводы. Полученные результаты по исследованию основных групп биоактивных веществ в выжимках, полученных при промышленной переработке моркови и свеклы, позволят многоаспектно использовать биохимический потенциал растительного сырья и получить функциональные пищевые продукты, расширив ассортимент здоровых продуктов питания.

Ключевые слова. Переработка овощей, отходы, выжимки, флавоноиды, каротиноиды, цианины

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и Кемеровской области в рамках научного проекта № 20-416-420001.

Для цитирования: Кожемяко, А. В. Экспериментальное определение биологически активных соединений в выжимках свеклы и моркови, районированных в Сибирском регионе / А. В. Кожемяко, И. Ю. Сергеева, И. В. Долголюк // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 179–187. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-179-187.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

Experimental Determination of Biologically Active Compounds in Pomace of Siberian Beet and Carrot

Anastasia V. Kozhemayko, Irina Yu. Sergeeva*, Irina V. Dolgolyuk

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Received: January 21, 2021

Accepted: March 02, 2021

**e-mail: sergeeva.76@list.ru*
© A.V. Kozhemayko, I.Yu. Sergeeva, I.V. Dolgolyuk, 2021

Abstract.
Introduction. With the development of the food and processing industry, the matter of environmental pollution is becoming more and more acute. Environmental protection is based on the principle of rational use of natural resources and sustainable technology.

Vegetable pomace is a secondary raw material; its amount depends on the production technology and equipment. The observed positive trend in the gross harvest of vegetables in open ground can increase the number of vegetable processing enterprises and the capacity of existing enterprises. Eventually, waste will start accumulating at processing sites, and it will have to be used as raw materials. The present paper features the content of biologically active substances in pomace of carrots and beets grown on the territory of the Siberian region and introduces options for their further use in functional foods.

Study objects and methods. The research featured carrot pomace of the varieties Losinoostrovskaya, Nantskaya, and Queen of Autumn, as well as beet pomace of varieties Cylinder and Bordeaux. All the samples were harvested in the Kemerovo region in 2019. Determination of physical and chemical parameters was carried out using standard methods. Carotenoids, flavonoids, β-cyanine were studied using spectrometry and photocolorimetric method.

Results and discussion. The experiment featured the content of bioactive substances in pomace of carrots and beets obtained during industrial processing. The content of carotenoids in carrots (mg of β-carotene per 100 g of dry weight): for Losinoostrovskaya variety – 23.56 ± 0.23; Nantskaya – 25.32 ± 0.18; Queen of Autumn – 20.78 ± 0.25. Flavonoid content (mg of catechol equivalent per 100 g of dry weight): Losinoostrovskaya – 12.02 ± 0.37; Nantskaya – 13.45 ± 0.56; Queen of Autumn – 11.50 ± 0.48. The content of β-cyanine in beets (mg per 100 g of dry weight): Cylinder – 100.0 ± 8.5; Bordeaux – 35.0 ± 1.8. The nutritional value of carrot and beet pomace with a mass fraction of moisture was 10%. The nutritional value of vegetable pomace is due to the high content of dietary fiber; therefore, the raw materials can be considered for functional food production. The content of biologically active substances in vegetable pomace (flavonoids, carotenoids, β-cyanines) can enhance the functional orientation of this secondary raw material when used in food technologies for the production of food of high nutritional value.

Conclusion. The results obtained will make it possible to use the biochemical potential of plant raw materials in many aspects, as well as to obtain new functional food products, thereby expanding the range of healthy foods.

Keywords. Vegetable processing, waste, pomace, flavonoids, carotenoids, cyanines

Funding. The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR) and the government of the Kemerovo Region, project No. 20-416-420001.

For citation: Kozhemayko AV, Sergeeva IYu, Dolgolyuk IV. Experimental Determination of Biologically Active Compounds in Pomace of Siberian Beet and Carrot. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):179–187. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-179-187.

Введение

Овощные культуры открытого грунта выращиваются на территории Российской Федерации (РФ) повсеместно. Однако, в силу агроклиматических условий выращивания сельскохозяйственной продукции, растениеводство затруднено на отдельных территориях. Это связанно с тем, что больше половины территории РФ находится в умеренном поясе. Еще одним важным условием при выращивании сельскохозяйственных растениеводческих культур является химический состав почв [1].

В связи с этим территории, занятые под возделывание овощных и злаковых культур на территории РФ, распределены неравномерно.

Информация по использованию всей посевной площади в РФ для выращивания сельскохозяйственных культур и сборам овощей открытого грунта приведена в таблице 1.

Статистические данные по посевным площадям и валовому сбору свеклы и моркови по РФ (в процентах от количественного показателя категории «овощи открытого грунта» из таблицы 1) приведены на рисунках 1 и 2.

Результаты статистики демонстрируют положительную динамику сборов свеклы и моркови по стране.

Информация по валовым сборам овощей открытого грунта в хозяйствах всех категорий по областям Сибирского федерального округа (СФО) за 2019 г. в % к 2018 г. представлена на рисунке 3 [2].

Рассматривая валовые сборы овощей в хозяйствах всех категорий по областям СФО за 2019 г., в четырех областях – Омской, Новосибирской, Кемеровской и Алтайском крае – наблюдается рост по данному показателю.

Наблюдаемая ситуация скажется либо на увеличении количества предприятий по переработке

Таблица 1. Посевные площади и валовые сборы сельскохозяйственных культур по РФ (хозяйства всех категорий) [2]

Table 1. Harvest area and gross yield of agricultural crops in the Russian Federation (all categories) [2]

Показатель	Года				
	2016	2017	2018	2019	2020 (предв.)
Вся посевная площадь, тыс. гектаров:	79312	80049	79634	79880	79921
в т. ч. овощи открытого грунта	551	535	526	517	513
Валовые сборы овощей открытого грунта, тыс. тонн	11698	11979	11853	12091	–

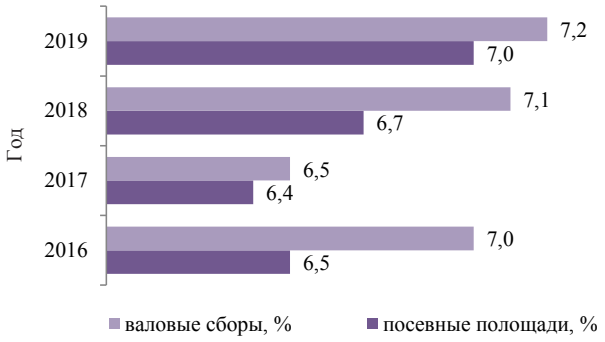


Рисунок 1. Посевные площади и валовые сборы свеклы столовой [2]

Figure 1. Harvest area and gross yield of beets [2]



Рисунок 2. Посевные площади и валовые сборы моркови столовой [2]

Figure 2. Harvest area and gross yield of carrots [2]

овощной продукции, либо на наращивании мощности действующих предприятий. Также она может привести к сосредоточению отходов в местах переработки и к поиску возможных путей их использования.

Важную роль в развитии пищевой промышленности в современных условиях, создании ее инвестиционного потенциала и защиты внутреннего рынка играет система технического регулирования. Она призвана обеспечивать защиту жизни и здоровья граждан, а также охрану окружающей среды. Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности создает предпосылки для дальнейшего совершенствования агропромышленного комплекса и формирует благоприятные условия для социально-экономического развития страны.

Сегодня остро стоит вопрос о состоянии окружающей среды, о ее поддержании и создании технологий в различных отраслях, где влияние со стороны производства по отношению к природе сведется к минимуму. Принцип рационального использования природных ресурсов, обеспечивающих защиту окружающей среды, – это и есть основа безотходной технологии. Организовать производство по принципу безотходного производства сложно. Но это необходимо не только из-за состояния окружающей среды, но и ограниченности ресурсов.

Наращивание мощности производства и применение рационального подхода к использованию сырьевых ресурсов – это две одновременно решаемые проблемы перерабатывающей промышленности.

Комплексное и рациональное использование ресурсной базы должно проводиться в сочетании со следующими подходами:

– стремление к безотходной или малоотходной технологии;

– стремление к максимальному использованию отходов и вторичных ресурсов с получением продуктов пищевого и технического назначения.

В настоящее время реализуется много технологий комплексной переработки овощей [3, 4]. Однако далеко не каждый производитель может

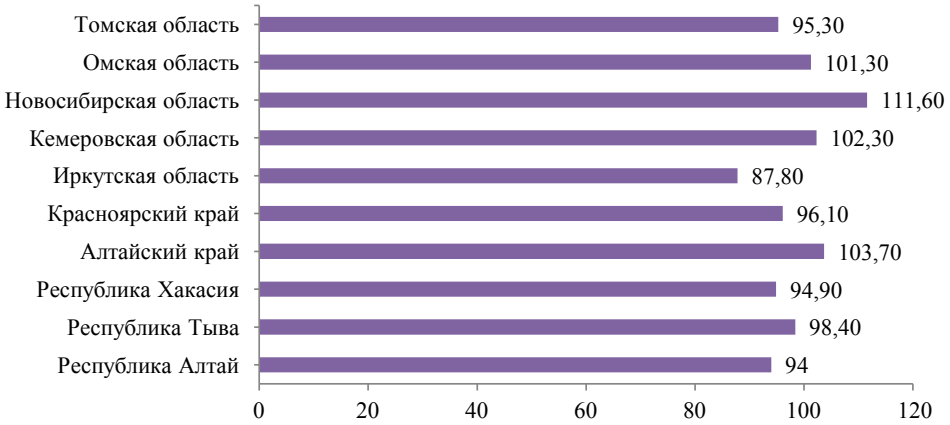


Рисунок 3. Сборы овощей в хозяйствах всех категорий по областям СФО (за 2019 г. в % к 2018 г.)

Figure 3. Harvests of vegetables in farms of all categories by regions of the Siberian Federal District (%, 2019 vs. 2018)

обеспечить производство, которое будет безопасно по отношению к окружающей среде согласно нормативно-технической документации в этой области.

Одним из видов вторичного сырья в классических технологиях консервной продукции являются овощные выжимки, количество которых варьируется в широких пределах и зависит от применяемых на производстве технологий и оборудования [4].

Исследованиям физиологической ценности овощей посвящены многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых [5–10].

Из научной литературы известно, что окраска растений обусловлена веществами вторичного метаболизма растений – флавоноидами, а именно антоцианами, защищающими организм человека от воспалений и повышенной проницаемости кишечника [6, 9, 11, 12]. В тканях свеклы обнаружены структурно иные пигменты – β-цианины [9]. Они обладают широким спектром биологической и физиологической активности: проявляют антиоксидантные свойства, участвуют в метаболизме белков и холина, а также эффективны при лечении рака путем ингибирования процесса полиферации раковых клеток [9]. В моркови содержится значительное количество как неполярных каротинов (α- и β-фракций), так и полярных ксантофиллов (лютеин) [13, 14]. Помимо каротиноидов, ценными компонентами моркови являются флавоноиды [7]. Мировой науке известны и доказаны антиоксидантная, противовоспалительная, нейропротективная, противоопухолевая, противодиабетическая, противомикробная, антитромбогенная активности флавоноидов, их эффективность при различных сердечно-сосудистых, легочных и других заболеваниях [15–18]. Содержание биоактивных веществ в овощах зависит от сорта и климатических условий района произрастания. Анализ проведенных учеными исследований показал, что в овощах, произрастающих в различных регионах, содержится разное количество флавоноидов и каротиноидов, обладающих высокой антиоксидантной активностью [5, 7, 8, 10].

При производстве морковного и свекольного сока отходами являются выжимки, которые могут быть использованы в качестве вторичного сырья для получения других продуктов питания. Получение сведений по содержанию биологически активных веществ и пищевой ценности выжимок моркови и свеклы, выращенных на территории Сибирского региона, с целью их дальнейшего использования в технологии функциональных продуктов питания представляет научную значимость.

Цель исследования – экспериментальное определение количественного содержания биоактивных веществ в выжимках моркови и свеклы для научного обоснования применения данного вторичного сырья в технологии продуктов питания повышенной пищевой ценности.

Объекты и методы исследования

В экспериментальной части в качестве объектов исследования использовали:

– выжимки моркови сортов «Лосиноостровская», «Нантская» и «Королева осени», районированные в Кемеровской области. Год сбора урожая 2019;

– выжимки свеклы сортов «Цилиндра» и «Бордо», районированные в Кемеровской области. Год сбора урожая 2019.

Выжимки овощные получены в лабораторных условиях в результате производства овощного сока прямого отжима по принятым в отрасли технологии и режимам.

Определение физико-химических показателей овощных выжимок проводили стандартными методами, принятыми в отрасли, а именно:

– определение белка в выжимках по ГОСТ Р 54607.7;

– массовую долю углеводов устанавливали по ГОСТ 8756.13 фотоколориметрическим методом;

– определение жира гравиметрическим методом с его экстракцией смесью хлороформа и этилового спирта по ГОСТ 8756.21;

– определение пищевых волокон по ГОСТ 54014.

Содержание влаги в выжимках устанавливали термогравиметрическим методом при температуре 105 °С в течение 2 ч по ГОСТ 28561.

Определение β-цианина в выжимках свеклы проводили по методу, описанному в [5].

Приготовление растворов экстрактивных веществ образцов моркови для спектрометрирования проводили следующим способом: 2,0 г (точная навеска) измельченного сырья – выжимок моркови – помещали в плоскодонную колбу вместимостью 100,0 см^3 и прибавляли 50,0 см^3 растворителя (применяемые растворители указаны ниже) и взвешивали с погрешностью ± 0,01 г. Колбу с содержимым кипятили на водяной бане с обратным холодильником в течение 2 ч, периодически встряхивая. Полученный экстракт охлаждали до комнатной температуры и доводили массу растворителем до первоначальной. Полученное извлечение фильтровали через беззольный фильтр. Аликвотную часть фильтрата 5,0 см^3 помещали в мерную колбу вместимостью 50,0 см^3 и доводили объем раствора до метки растворителем. В качестве растворителей использовались: вода, раствор этилового спирта (40 об.%), раствор этилового спирта (70 об.%), этиловый спирт (96 об.%).

Количественное определение флавоноидов проводили на спектрофотометре СФ-2000 при длине волны 510 нм в кюветах с толщиной слоя

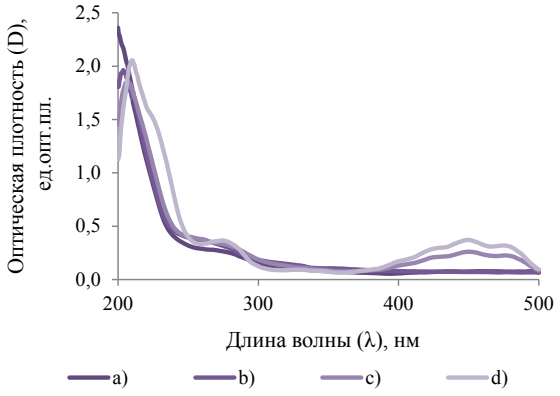


Рисунок 4. Спектры экстрактов выжимок моркови, полученных с использованием разных экстрагентов: a) вода; b) этанол 40 об.%; c) этанол 70 об.%; d) этанол 96 об.%

Figure 4. Spectra of carrot pomace extracts obtained using different extractants: a) water; b) ethanol 40 vol.%; c) ethanol 70 vol.%; d) ethanol 96 vol.%

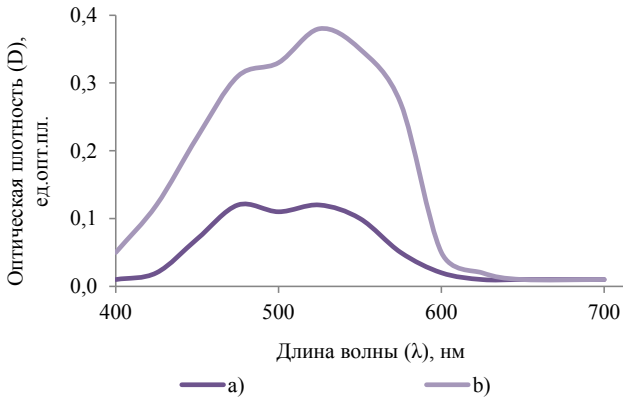


Рисунок 5. Спектры экстрактов выжимок свеклы: a) «Бордо»; b) «Цилиндра»

Figure 5. Spectra of beet pomace extracts: a) Bordeaux; b) Cylinder

10 мм по методике, описанной в [19, 20]. Общее содержание флавоноидов выражали в миллиграммах катехинового эквивалента на 100 г сухого веса образца.

Для определения содержания каротиноидов использовали экстракт с использованием растворителя этилового спирта (96 об.%). Измеряли оптическую плотность экстракта спектрофотометрически на спектрофотометре СФ-2000 при длине волны 450 нм в кювете с толщиной слоя 10 мм, используя в качестве раствора этиловый спирт 96 об.% [21].

Экстракты готовили в трехкратной повторности. Измерение содержания каротиноидов и флавоноидов проводили в трехкратной повторности.

Полученные в исследованиях результаты обрабатывались с использованием программного обеспечения Microsoft Office 2007. В иллюстрационном материале представлены средние значения и стандартное отклонение результатов.

Результаты и их обсуждение

Для определения содержания биологически активных веществ в овощных выжимках необходимо экстрагировать эти соединения. В аналитической практике для этих целей используют этиловый спирт объемной концентрации 30–90 %, органические кислоты и эфиры. Для качественной оценки состава экстрагируемых биоактивных соединений из выжимок моркови (например, сорт «Лосиноостровская») проводили экстракцию различными растворителями. В полученных экстрактах были определены спектры, которые представлены на рисунке 4.

Из представленных данных видно, что присутствуют спектры, характерные для α-, β-каротина и лютеина с выраженными максимумами поглощения на 450 и 480 нм. Еще один максимум при 270–280 нм характерен и для каротиноидов и различных флавоноидов. Установлено, что максимальное количество целевых веществ экстрагировано при использовании этанола 96 об.%.

Экстракцию β-цианина свеклы проводили 2 %-ным раствором муравьиной кислоты. Результаты измерений оптической плотности представлены на рисунке 5.

Максимум поглощения на спектрах при 535 нм соответствует наличию в экстрактах свеклы β-цианина.

Для количественного определения каротиноидов и флавоноидов в выжимках моркови различных сортов проводили экстрагирование этанолом концентрации 96 об.%. Результаты определения представлены в таблице 2.

Содержание биоактивных веществ в овощах зависит от сорта. В сорте моркови «Нантская» определено большее количество флавоноидов и каротиноидов по сравнению с другими изучаемыми сортами. Сорт свеклы «Цилиндра» демонстрирует высокое содержание β-цианина, чем сорт «Бордо».

Полученные значения содержания веществ не противоречат имеющимся в литературе данными по исследованию биохимического состава овощей, районированных в других областях РФ [5, 7]. В исследованных образцах выжимок содержание флавоноидов оказалось несколько ниже, чем каротиноидов. Это можно объяснить несколькими причинами: зависимость от агроклиматических условий выращивания, неравномерным переходом веществ в сок при технологической переработке, а также нахождением части биоактивных веществ в овощах в связанном состоянии.

Таблица 2. Содержание веществ вторичного метаболизма растений в выжимках моркови и свеклы различных сортов

Table 2. Secondary plant metabolism substances in pomace of carrots and beets of various varieties

Сорта овощей	Содержание каротиноидов, мг β-каротина на 100 г сухой массы	Содержание флавоноидов, мг катехинового эквивалента на 100 г сухой массы	Содержание β-цианина, мг на 100 г сухой массы
Морковь			
«Лосиноостровская»	13,56 ± 0,23	6,02 ± 0,37	–
«Нантская»	15,32 ± 0,18	7,45 ± 0,56	–
«Королева осени»	10,78 ± 0,25	6,50 ± 0,48	–
Свекла			
«Цилиндра»	–	–	100,0 ± 8,5
«Бордо»	–	–	35,0 ± 1,8

Таблица 3. Пищевая ценность овощных выжимок (с массовой долей влаги 10 %)

Table 3. Nutritional value of vegetable pomace with a 10% mass moisture fraction

Нутриент, г	Норма*, г/сут	Выжимки моркови «Нантская»		Выжимки свеклы «Цилиндра»	
		количество	% от нормы в 100 г	количество	% от нормы в 100 г
Белки	60	6,9 ± 0,4	11,5	10,5 ± 0,4	17,5
Жиры	60	2,3 ± 0,2	3,8	2,0 ± 0,2	3,3
Углеводы	257	27,0 ± 1,5	10,5	27,0 ± 1,5	10,5
Пищевые волокна	20	51,2 ± 2,7	256,0	48,0 ± 2,7	240,0
* указаны нормы нутриентов для взрослого человека согласно МР 2.3.1.2432-08					

Овощные выжимки являются вторичными ресурсами, используемыми в технологии различных пищевых продуктов. Известны способы применения овощных выжимок при производстве хлеба, мучных кондитерских изделий и соков [4, 22]. Для различных технологических целей используют высушенные овощные выжимки с различным содержанием влаги, а также порошки, полученные из высушенных выжимок.

Для оценки возможных путей дальнейшего использования овощных выжимок в качестве сырьевого компонента следует определить их пищевую ценность и провести расчет процентного содержания макронутриентов в овощных выжимках от норм физиологических потребностей. В таблице 3 представлены результаты определения пищевой ценности выжимок моркови сорта «Нантская» и свеклы сорта «Цилиндра» с массовой долей влаги 10 %.

Проведенные исследования показали, что основная часть в овощных выжимках приходится на пищевые волокна, количество которых составляет почти половину от общего содержания нутриентов. Пищевые волокна выжимок представляют собой функциональный пищевой ингредиент. Они служат питательной средой для многих полезных микроорганизмов, наполняющих желудочно-кишечный тракт. Потребление пищевых волокон в рекомендуемых количествах, согласно МР 2.3.1.2432-08, позволит предотвратить застойные процессы в кишечнике.

Согласно нормам физиологических потребностей в основных пищевых веществах и энергии суточная потребность в β-каротине для взрослого населения составляет 5 мг в сутки, суточная потребность в флавоноидах – 250 мг в сутки, в том числе катехинов 100 мг в сутки (МР 2.3.1.2432-08). При этом для придания функциональных свойств пищевому продукту одна порция должна содержать функциональный пищевой ингредиент в количестве, составляющем не менее 15 % от суточной физиологической потребности.

Таким образом, при проектировании состава функционального продукта (или натурального функционального продукта) необходимо в совокупности рассматривать содержание биоактивного вещества в выжимках, рациональную дозу внесения выжимок и порцию продукта для обеспечения требований функциональности.

Пищевая ценность овощных выжимок обусловлена повышенным содержанием пищевых волокон. Следовательно, овощные выжимки можно рассматривать в качестве сырья для производства функциональных продуктов питания. Содержание биологически активных веществ в овощных выжимках (флавоноидов, каротиноидов, β-цианинов) может способствовать усилению функциональной направленности данного вторичного сырья при использовании в пищевых технологиях для производства продуктов питания повышенной пищевой ценности.

Выводы

Исследовано содержание флавоноидов и каротиноидов в выжимках моркови сортов «Лосиноостровская», «Нантская», «Королева осени», а также содержание β-цианина в выжимках свеклы сортов «Цилиндра», «Бордо». Определена пищевая ценность овощных выжимок с массовой долей влаги 10 %. Основная часть нутриентов в овощных выжимках приходится на пищевые волокна. Это позволяет рассматривать данное вторичное сырье как натуральный функциональный ингредиент при производстве продукции повышенной пищевой ценности.

Результаты по исследованию биоактивных веществ в выжимках, полученных при промышленной переработке моркови и свеклы, позволят многоаспектно использовать биохимический потенциал растительного сырья и получить функциональные пищевые продукты, расширив ассортимент продуктов здорового питания.

Критерии авторства

А. В. Кожемяко – организация исследований, получение фактического материала, написание рукописи. И. Ю. Сергеева – методология исследований, общая редакция рукописи. И. В. Долголюк – аналитический обзор литературы, статистическая обработка результатов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

A.V. Kozhemyako supervised the research, obtained experimental data, and wrote the manuscript. I.Yu. Sergeeva developed the research methodology and proofread the manuscript. I.V. Dolgolyuk reviewed scientific publications and processed the results.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Ганжара, Н. Ф. Почвоведение / Н. Ф. Ганжара. – М. : Агроконсалт, 2001. – 392 с.

2. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/. – Дата обращения: 10.01.2021.

3. Development of manufacturing technology of non-waste production of the field vegetable processing / A. V. Kozhemyako, T. F. Kiselyova, E. A. Vechtomova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 224, № 1. https://doi.org/10.1088/1755-1315/224/1/012058.

4. Глубокая переработка плодовоовощного сырья с получением соков и функциональных ингредиентов / М. А. Кожухова, Р. А. Дроздов, Л. А. Рыльская [и др.] // Наука и образование. – 2020. – Т. 3, № 4.

5. Бетацианины корнеплодов красной столовой свеклы / И. И. Саенко, О. В. Тарасенко, В. И. Дейнека [и др.] // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2012. – Т. 122, № 3. – С. 194–200.

6. Determination of the degradation kinetics of anthocyanins in a model juice system using isothermal and non-isothermal methods / N. Harbourne, J. C. Jacquier, D. J. Morgan [et al.] // Food Chemistry. – 2008. – Vol. 111, № 1. – P. 204–208. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.023.

7. Prieciņaliga, L. Influence of steam treatment and drying on carrots composition and concentration of phenolics, organic acids and carotenoids / L. Prieciņaliga, D. Kārkliņa // Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences. – 2018. – Vol. 72, № 2. – P. 103–112. https://doi.org/10.2478/prolas-2018-0017.

8. Soluble and insoluble-bound phenolics and antioxidant activity of various industrial plant wastes / Z. Gulsunoglu, F. Karbancioglu-Guler, K. Raes [et al.] // International Journal of Food Properties. – 2019. – Vol. 22, № 1. – P. 1501–1510. https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1656233.

9. Azeredo, H. M. C. Betalains: properties, sources, applications, and stability – a review / H. M. C. Azeredo // International Journal of Food Science and Technology. – 2009. – Vol. 44, № 12. – P. 2365–2376. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x.

10. Борисова, А. В. Экспериментальное определение физико-химических и антиоксидантных показателей четырех видов овощей / А. В. Борисова, Н. В. Макарова // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – Т. 25, № 2. – С. 14–19.

11. Anthocyanin-loaded PEG-gold nanoparticles enhanced the neuroprotection of anthocyanins in an $A\beta_{1-42}$ mouse model of alzheimer's disease / T. Ali, M. J. Kim, S. U. Rehman [et al.] // Molecular Neurobiology. – 2017. – Vol. 54, № 8. – C. 6490–6506. https://doi.org/10.1007/s12035-016-0136-4.

12. The anti-inflammatory effects of dietary anthocyanins against ulcerative colitis / S. Li, B. Wu, W. Fu [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2019. – Vol. 20, № 10. https://doi.org/10.3390/ijms20102588.

13. The impact of the method extraction and different carrot variety on the carotenoid profile, total phenolic content and antioxidant properties of juices / A. Purkiewicz, J. Ciborska, M. Tańska [et al.] // Plants. – 2020. – Vol. 9, № 12. https://doi.org/10.3390/plants9121759.

14. Green chemistry extractions of carotenoids from *Daucus carota* L. – supercritical carbon dioxide and enzyme-assisted methods / N. Miękus, A. Iqbal, K. Marszałek [et al.] // Molecules. – 2019. – Vol. 24, № 23. https://doi.org/10.3390/molecules24234339.

15. Flavonoids determine the rate of fibrillogenesis and structure of collagen type I fibrils in vitro / Yu. A. Kim, Yu. S. Tarahovsky, S. G. Gaidin [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2017. – Vol. 104. – P. 631–637. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.070.

16. Maher, P. The potential of flavonoids for the treatment of neurodegenerative diseases / P. Maher // International Journal of Molecular Sciences. – 2019. – Vol. 20, № 12. https://doi.org/10.3390/ijms20123056.

17. Glucuronidated flavonoids in neurological protection: Structural analysis and approaches for chemical and biological synthesis / M. Docampo, A. Olubu, X. Wang [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2017. – Vol. 65, № 35. – P. 7607–7623. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02633.

18. Role of plant-derived flavonoids and their mechanism in attenuation of Alzheimer's and Parkinson's diseases: An update of recent data / G. Hussain, L. Zhang, A. Rasul [et al.] // Molecules. – 2018. – Vol. 23, № 4. https://doi.org/10.3390/molecules23040814.

19. Phytochemical and antioxidative potential of orange, red, yellow, rainbow and black coloured tropical carrots (*Daucus carota* subsp. *sativus* Schubl. & Martens) / B. K. Singh, T. K. Koley, A. Maurya [et al.] // Physiology and Molecular Biology of Plants. – 2018. – Vol. 24, № 5. – 899–907. https://doi.org/10.1007/s12298-018-0574-8.

20. Тринеева, О. В. Валидация методики определения каротиноидов в плодах облепихи различных способов консервации / О. В. Тринеева, А. И. Сливкин // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2016. – № 2. – С. 145–151.

21. Chemical composition, functional properties and processing of carrot – A review / K. D. Sharma, S. Karki, N. S. Thakur [et al.] // Journal of Food Science and Technology. – 2012. – Vol. 49, № 1. – P. 22–32. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0310-7.

References

1. Ganzhara NF. Pochvovedenie [Soil science]. Moscow: Arrokonsalt; 2001. 392 p. (In Russ.).

2. Federal′naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Federal State Statistics Service] [Internet]. [cited 2021 Jan 10]. Available from: https://rosstat.gov.ru/.

3. Kozhemyako AV, Kiselyova TF, Vechtomova EA, Monastyrskaya EA, Mityakina OV. Development of manufacturing technology of non-waste production of the field vegetable processing. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019;224(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/224/1/012058.

4. Kozhukhova MA, Drozdov RA, Rylskaya LA, Drozdova TA. Deep processing of fruit and vegetable raw materials to produce juices and functional ingredients. Nauka i obrazovanie [Science and Education]. 2020;3(4). (In Russ.).

5. Saenko II, Tarasenko OV, Deineka VI, Deineka LA. Betacyanins of red beetroot root. Belgorod State University Scientific Bulletin Natural Sciences. 2012;122(3):194–200. (In Russ.).

6. Harbourne N, Jacquier JC, Morgan DJ, Lyng JG. Determination of the degradation kinetics of anthocyanins in a model juice system using isothermal and non-isothermal methods. Food Chemistry. 2008;111(1):204–208. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.023.

7. Prieciņaliga L, Kārkliņa D. Influence of steam treatment and drying on carrots composition and concentration of phenolics, organic acids and carotenoids. Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences. 2018;72(2):103–112. https://doi.org/10.2478/prolas-2018-0017.

8. Gulsunoglu Z, Karbancioglu-Guler F, Raes K, Kilic-Akyilmaz M. Soluble and insoluble-bound phenolics and antioxidant activity of various industrial plant wastes. International Journal of Food Properties. 2019;22(1):1501–1510. https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1656233.

9. Azeredo HMC. Betalains: properties, sources, applications, and stability – a review. International Journal of Food Science and Technology. 2009;44(12):2365–2376. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x.

10. Borisova AV, Makarova NV. Experimental definition of physico-chemical and antioxidant indices of four kinds of vegetables. Food Processing: Techniques and Technology. 2012;25(2):14–19. (In Russ.).

11. Ali T, Kim MJ, Rehman SU, Ahmad A, Kim MO. Anthocyanin-loaded PEG-gold nanoparticles enhanced the neuroprotection of anthocyanins in an $A\beta_{1-42}$ mouse model of alzheimer's disease. Molecular Neurobiology. 2017;54(8):6490–6506. https://doi.org/10.1007/s12035-016-0136-4.

12. Li S, Wu B, Fu W, Reddivari L. The anti-inflammatory effects of dietary anthocyanins against ulcerative colitis. International Journal of Molecular Sciences. 2019;20(10). https://doi.org/10.3390/ijms20102588.

13. Purkiewicz A, Ciborska J, Tańska M, Narwojsz A, Starowicz M, Przybylowicz KE, et al. The impact of the method extraction and different carrot variety on the carotenoid profile, total phenolic content and antioxidant properties of juices. Plants. 2020;9(12). https://doi.org/10.3390/plants9121759.

14. Miękus N, Iqbal A, Marszałek K, Puchalski C, Swiergiel A. Green chemistry extractions of carotenoids from *Daucus carota* L. – supercritical carbon dioxide and enzyme-assisted methods. Molecules. 2019;24(23). https://doi.org/10.3390/molecules24234339.

15. Kim YuA, Tarahovsky YuS, Gaidin SG, Yagolnik EA, Muzafarov EN. Flavonoids determine the rate of fibrillogenesis and structure of collagen type I fibrils in vitro. International Journal of Biological Macromolecules. 2017;104:631–637. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.070.

16. Maher P. The potential of flavonoids for the treatment of neurodegenerative diseases. International Journal of Molecular Sciences. 2019;20(12). https://doi.org/10.3390/ijms20123056.

17. Docampo M, Olubu A, Wang X, Pasinetti G, Dixon RA. Glucuronidated flavonoids in neurological protection: Structural analysis and approaches for chemical and biological synthesis. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2017;65(35):7607–7623. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02633.

18. Hussain G, Zhang L, Rasul A, Anwar H, Sohail MU, Razzaq A, et al. Role of plant-derived flavonoids and their mechanism in attenuation of Alzheimer's and Parkinson's diseases: An update of recent data. Molecules. 2018;23(4). https://doi.org/10.3390/molecules23040814.

19. Singh BK, Koley TK, Maurya A, Singh PM, Singh B. Phytochemical and antioxidative potential of orange, red, yellow, rainbow and black coloured tropical carrots (*Daucus carota* subsp. *sativus* Schubl. & Martens). Physiology and Molecular Biology of Plants. 2018;24(5):899–907. https://doi.org/10.1007/s12298-018-0574-8.

20. Trineeva OV, Slivkin AI. Validation procedures for determining carotenoids in fruits of sea buckthorn in various ways conservation. Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy. 2016;(2):145–151. (In Russ.)

21. Sharma KD, Karki S, Thakur NS, Attri S. Chemical composition, functional properties and processing of carrot – A review. Journal of Food Science and Technology. 2012;49(1):22–32. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0310-7.

2021 Т. 51 № 1 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-188-195
Original article
Available online at http://fptt.ru/eng

Quality Control of Colostrum and Protein Calf Milk Replacers

Vladimir D. Kharitonov[1], Vladimir A. Asafov[1,*], Evgeniya L. Iskakova[1], Nina L. Tankova[1], Tatsiana M. Halavach[2], Vladimir P. Kurchenko[2]

[1] All-Russian Scientific Research Institute of the Dairy Industry, Moscow, Russia

[2] Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

Received: November 17, 2020
Accepted: December 14, 2020

**e-mail: v_asafov@vnimi.org*
© V.D. Kharitonov, V.A. Asafov, E.L. Iskakova, N.L. Tankova, T.M. Halavach, V.P. Kurchenko, 2021

Abstract.
Introduction. Improving technologies and providing young farm animals with high-quality feed are the primary tasks for successful reproduction and maintenance of dairy cattle. The research objective was to assess the quality characteristics of colostrum and milk replacers, as well as their technological prospects.
Study objects and methods. The research featured colostrum, calf milk replacers (CMR), processing methods, and quality characteristics. The paper introduces an analysis of various sustainable processes of obtaining new CMRs.
Results and discussion. The article describes colostrum: recommended intake for young calves, qualitative characteristics, and control methods. It focuses mostly on the microbiological characteristics of colostrum, as well as on its role in developing the immune system of calves and the prospects of enzymatic regulation of its functional properties. Enzymatic regulation is based on deep proteins hydrolysates and a highly active serine protease (alcalase). The authors studied variants of using various enzyme preparations and bacterial starter cultures for obtaining hydrolyzed and fermented colostrum, analyzed the main process indicators of milk replacers with intermediate moisture content, and tested various methods for assessing the fatty acid and protein composition of concentrated milk replacers. Production methods proved to have a significant impact on the indicators in question.
Conclusion. Reproduction of the dairy herd genetic potential depends on the diet of the young farm animals, and so does the economy of agricultural production. Enzymatic processing of raw materials proved to be the most promising approach for obtaining products with improved functional properties. Deep colostrum hydrolysates can also be an important part of functional foods for children, athletes, in dietary foods, etc.

Keywords. Colostrum, whole milk replacers, hydrolysis, antigenicity, immunoglobulins, enzymes, fatty acid composition

Funding. The research was part of a state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka), topic No. AAAA-A20-120011500098-1.

For citation: KharitonovVD, AsafovVA, IskakovaEL, TankovaNL, HalavachTM, Kurchenko VP. Quality Control of Colostrum and Protein Calf Milk Replacers. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):188–195. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-188-195.

УДК 637.1
Оригинальная статья http://fptt.ru

Регулирование качественных показателей молозива и белковых композиций заменителей молока

В. Д. Харитонов[1], В. А. Асафов[1,*], Е. Л. Искакова[1], Н. Л. Танькова[1], Т. Н. Головач[2], В. П. Курченко[2]

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия

[2] Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

Дата поступления в редакцию: 17.11.2020
Дата принятия в печать: 14.12.2020

**e-mail: v_asafov@vnimi.org*
© В. Д. Харитонов, В. А. Асафов, Е. Л. Искакова, Н. Л. Танькова, Т. Н. Головач, В. П. Курченко, 2021

Аннотация.
Введение. Совершенствование технологий, связанных с обеспечением молодняка сельскохозяйственных животных

качественными кормами, направлено на обеспечение воспроизводства и поддержание молочного стада. Цель работы – комплексная оценка качественных характеристик молозива и заменителей молока, а также технологических подходов в этой области.

Объекты и методы исследования. Молозиво и заменители цельного молока (ЗЦМ), методы их обработки; анализ процессов получения новых видов ЗЦМ, направленных на ресурсо- и энергосбережение.

Результаты и их обсуждение. Приведены потребности телят в молозиве, обсуждены качественные характеристики первичного молока и подходы к их регулированию. Особое внимание уделено микробиологическим показателям первичного молока, значению молозива в формировании иммунитета молодняка. Охарактеризованы возможности ферментативного регулирования функциональных свойств молозива в результате гидролиза белков с применением высокоактивной эндопептидазы (алкалаза). Рассмотрены варианты использования различных ферментных препаратов и бактериальных заквасок для получения гидролизованного и ферментированного молозива. Проведен анализ основных процессовых показателей ЗЦМ с промежуточной влажностью. Обоснована целесообразность применения ряда методик для определения жирнокислотного и белкового состава концентрированных ЗЦМ. Отмечено, что способы получения ЗЦМ оказывают существенное влияние на значения анализируемых показателей.

Выводы. Воспроизводство и реализация генетического потенциала молочного стада, а также экономика сельскохозяйственного производства определяются факторами, связанными с питанием молодняка сельскохозяйственных животных. Ферментативная обработка сырья является перспективным подходом для получения продуктов с улучшенными функциональными свойствами. Практическое применение глубоких гидролизатов молозива представляется целесообразным, в том числе в составе специализированных продуктов детского, спортивного и диетического питания.

Ключевые слова. Молозиво, заменители цельного молока, гидролиз, антигенность, иммуноглобулины, ферменты, жирнокислотный состав

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) (тема № АААА-А20-120011500098-1).

Для цитирования: Регулирование качественных показателей молозива и белковых композиций заменителей молока / В. Д. Харитонов, В. А. Асафов, Е. Л. Искакова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 188–195. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-188-195.

Introduction

Dairy production depends on the dairy cattle reproduction, while effective calf management depends on the structure and quality of feeds early in life. Ideally, good-quality colostrum, milk, or its replacers should provide 9–12 g of daily liveweight gain per 1 kg. Poor weight gain is associated with poor immunity. However, if daily liveweight gain exceeds 15 g, it often causes obesity and affects the development of the mammary gland, which reduces milk production in adulthood.

Good-quality calf starters prolong dairy cow's productive lifetime and increase its fertility. Second, third, and fourth calves are known to grow into more valuable cows capable of higher milk yields and fertility. The determining factors for effective calf rearing are their health, weight, and first calving age, which depend on the quality of colostrum and feeds in the first three months of life [1].

During this time, one calf consumes 300–350 L of milk. However, feeding whole milk to dairy calves reduces the marketability of dairy production and increases the cost of herd management.

Calf milk replacers (CMR) can increase the marketability and reduce these costs [2]. In Russia, CMR market volume is 120 000 tons per year. The market demands are satisfied by 30%, of which import accounts for 20%.

Russia possesses sufficient resources of milk whey to produce CMRs. The rapidly increasing pork and soybeans production can provide animal fat and high-quality vegetable protein for CMR formulations.

A good CMR fulfills the following functions:
– providing controlled weight gain;
– replacing as much milk in calves' diet as possible;
– offering opportunities for using any whey, except for salted one;
– introducing fat in sufficient quantity;
– ensuring high microbiological indicators; and
– increasing productivity while demanding little investment.

CMRs for young farm animals can be classified according to the main components:
– skim milk and vegetable/animal fats;
– whey protein concentrates and vegetable/animal fats; and
– whey, vegetable protein concentrates, and vegetable/animal fats.

These three CMRs have the same feeding efficiency, but the plant-based CMRs are more economical. They include protein concentrates that need special quality standards. For instance, they should contain a particular set of available amino acids but no such antialimentation factors as oligosaccharides, allergenic proteins, various inhibitors that might affect feed digestion, etc. These factors can be eliminated by using special technologies, e.g. protein purification or molecular weight change. To ensure proper development of skeletal system,

a good CMR should contain available macro- and microelements, which need to be introduced in such a way as to ensure effective utilization.

Acid whey poses a certain challenge: it needs acidity regulators that provide the required osmotic pressure in the intestinal tract of animals.

If all the above factors are taken into account, new technologies and formulations of plant-based CMRs can ensure necessary weight gain and productivity.

As for soy-based CMRs, which are based on soy flour, milk, and cereal flour, they have a lot of disadvantages as they cannot be applied to very young animals and may reduce their productivity in the future [1, 2]. The research objective was to provide comprehensive assessment of the qualitative indicators of colostrum and milk substitutes, as well as to define possible technological options in this area.

Study objects and methods

The studies were carried out on the premises of two organizations: Laboratory of Resource-Saving Processes and Functional Products at the All-Russian Scientific Research Institute of the Dairy Industry (Moscow, Russia) and the Research Laboratory of Applied Biological Issues at Belarusian State University (Minsk, Belarus).

The research featured colostrum, and calf milk replacers (CMR) produced by the All-Russian Research Institute of Dairy Industry. The assessment methodology was based on physicochemical, biochemical, and sanitary-hygienic indicators, as well as on the criteria for the optimal weight gain of baby calves. The study made it possible to define the efficiency factors, to develop control methods for quality indicators and composition, and to analyze the processes of obtaining new resource-saving and energy-efficient CMRs [3].

The study involved contemporary approaches to defining the biologically active properties of native, fermented, and hydrolyzed colostrum, i.e. the fluorometric method for antioxidant activity, the impedimetric method for antimicrobial effect, and the Ames test for antimutagenic effect [4, 5].

Results and discussion

Colostrum quality assessment. Colostrum is a valuable source of highly-concentrated biologically active substances of protein nature:

– lysozyme, lactoperoxidase, and lactoferrin that perform the functions of nonspecific immunity;

– immunoglobulins responsible for specific protection in the first hours after birth; and

– transfer factors that serve as a signaling environment for triggering the mechanism of specific body defense.

The quality of colostrum defines health status, weight gain, and calf raising economy. The list of important factors includes the IgG content, bacterial contamination, and storage conditions.

High-quality colostrum for calf feeds should meet the following requirements: IgG content ≥ 50 g/L of immunoglobulins; amount of colostrum = 10% of the body weight (≈ 4 L); feeding time after calving ≤ 6 h; microbiological purity ≤ 100 000 CFU/mL [6, 7].

Bacterial contamination of colostrum can cause various diseases. Moreover, bacteria prevent immunoglobulin absorption. In this regard, microbiological control methods for colostrum microflora are priority scientific issues because colostrum quality on dairy farms needs to be improved. Heinrichs *et al.* studied heat treatment of colostrum in order to reduce bacterial and pathogenic growth while increasing IgG absorption. The scientists also established the upper limit of immunoglobulin absorption from colostrum and its substitutes, as well as assessed the possibility of introducing lactoferrin and sodium bicarbonate into maternal colostrum [8].

The IgG concentration in the blood was found to affect calves' resistance to diseases. The amount of absorbed immunoglobulins depends on their consumption with colostrum, as well as on the efficiency of absorption from the intestinal tract [9–11].

The calf should receive the first portion of colostrum within the first hour after birth, and it should be at least 70 mL/kg of body weight. The rate of feeding colostrum during the first day depends on the IgG content (Table 1) [12].

Colostrum immunoglobulins that a calf receives in the first hours after birth lengthen the period of passive immunity. Endogenous antibody synthesis sufficient to protect calves from infectious diseases usually develops at 1–3 months [9, 10].

A sufficient amount of high-quality colostrum allows lacto- and bifidobacteria to colonize the intestines. The normal intestinal microflora of calves consists of equal numbers of lactobacilli, bifidobacteria, and Escherichia, while the staphylococcus population is half as low [13].

Colostrum contamination occurs in the udder or teat canal. It can also be caused by poor sanitary conditions. Bacterial contamination of colostrum starts at 100 000 CFU/mL, but experts notice negative effects already at 50 000 CFU/mL [14].

Table 1. Amount of colostrum in calves' diet, depending on the age and IgG concentration

Time after birth, h	Colostrum feeding rate at a particular IgG concentration, L			
	25 g/L	50 g/L	75 g/L	100 g/L
1	4.0	2.0	1.3	1.0
3	—	2.5	1.6	1.3
6	—	2.9	1.9	1.5
9	—	—	2.2	1.7
12	—	—	2.5	1.9
15	—	—	2.8	2.2
18	—	—	—	2.4

Low-temperature treatment at 63–66°C decreases the level of microbiological contamination of colostrum without affecting its immunomodulatory properties [15].

These methods reduce colostrum deficiency by reserving it from healthy cows starting with the third lactation. Mature cows produce better colostrum compared to heifers. The density of their milk is higher by 0.02 g/cm^3, IgG content – by 73.4–122.2 mg/mL, IgA and IgM – by 8 and 6 mg/mL, respectively, and the mass fraction of dry matter – by 2.4% [12].

One of our previous research showed that raw colostrum obtained from farms in the Moscow Region did not meet the above requirements for microbiological parameters [3]. One of our previous studies featured the possibility of reducing the bacterial contamination of colostrum by its fermentation with *Lactobacillus acidophilus* (strain No. 630, not viscous). The method improved microbiological indicators, increased the amount of lactic acid cultures, and raised the antioxidant activity of fermented colostrum because the bacterial proteolytic system was broken down by proteins [4].

Colostrum surpasses whole milk in nutritional value and composition of biologically active components [16–19], which makes it a promising raw material for functional and diet foods for children, athletes, etc. One of our previous studies also featured the physicochemical and biologically active properties of colostrum fermented with *L. acidophilus* and treated with proteolytic enzyme (alkalase) [4].

The research defined the peptide composition, antioxidant activity, antimutagenic properties, and antimicrobial action of skim colostrum samples subjected to hydrolysis and fermentation. Enzymatic hydrolysis appeared to provide better proteolysis (17.4%) than fermentation with *L. acidophilus* (7.5%). The antioxidant activity of the peptide fractions of hydrolyzed and fermented colostrum increased by 4.1 and 2.0 times as compared to the original colostrum (dry solids content). As the proportion of the peptide fraction and the degree of colostrum proteolysis increased, the antiradical activity increased and the level of induced mutation (in the Ames test) decreased. Low molecular weight fractions of hydrolyzed colostrum developed specific peptides with antimicrobial activity.

As a result, they were found to be more effective against *Escherichia coli*, test strain ATCC 8739, than against *Staphylococcus aureus*, ATCC 6538 gram-positive strain [4]. Complexation of hydrolysates with cyclic oligosaccharide (β-cyclodextrin) made it possible to preserve the antimutagenic effect, increase the antibacterial effect of colostrum peptides, and improve their organoleptic properties [5]. The research results proved relevant when introducing inclusion complexes into functional products.

The abovementioned studies allowed us to obtain samples of hydrolyzed and fermented colostrum with confirmed biologically active properties [4, 5]. Therefore, fermentation and hydrolysis proved able to regulate the functional properties of products, which can be used in developing new feeds for young farm animals.

Analysis of approaches to assessing the quality indicators of new types of milk replacers. Various CMRs can increase marketability and reduce costs in dairy farming [3, 20].

The types of CMRs that are popular in contemporary dairy farming are based on:
– skim milk and non-dairy fats;
– whey protein concentrate and non-dairy fats;
– whey and specialized concentrates and isolates of soy protein and non-dairy fats; and
– whey, soy flour, and non-dairy fats.

The first three types are complete balanced feeds adapted to the needs of calves. They provide an average daily weight gain of 650–900 g. The fourth is intended for older calves. For an adapted feed, it contains too much lectins, oligosaccharides, and allergens.

According to the production method, CMRs are divided into whole milk replacer, which is a liquid product dried on a spray dryer, and regenerated milk prepared by dry mixing of ingredients, including fat.

Each method has its own advantages and disadvantages. Regenerated milk is more technologically advanced in terms of production. However, fats have to be introduced since calf feeds should not contain free fats. If free facts are present in the feed, calves absorb it poorly and develop slowly. As a result, regenerated milk has a low fat percentage (12%). The fat:protein ratio is 0.5:1, while in milk it is 1.2:1. Thus, calves may not receive the energy necessary for growth and have to consume more feed to replenish it.

The main condition for the CMR production is that replacers should be cheaper than whole milk and provide a required growth rate.

The correct economic assessment of CMR cost is the cost of feed per 1 kg of weight gain. It justifies the use of whey-based replacers, specialized concentrates, and isolates of soy proteins and non-dairy fats. These CMRs are as effective as CMRs based on skim milk, but their raw material composition is significantly cheaper. Low energy consumption and specific capital investments are important factors in CMR production.

CMRs with intermediate moisture are quite advantageous as they make it possible to:
– reduce spray drying costs;
– use any kind of whey, except for salted one;
– add fat in any required amount;
– start a low investment production;
– use methods of fermentation of protein fractions;
– obtain products with specified probiotic properties;
– achieve good recombination before use; and
– obtain a product with a high degree of fat emulsification and a minimum content of free fat.

CMR production for young farm animals has acquired industrial scales in most developed countries. In Russia, it started in the 1970s [20, 21].

Specialists dealing with CMR technologies focus on regulating their composition and functional properties and calculating the rational content of the mass fraction of solids. One of the topical areas of research is the development of new methodological approaches to the CMR technology, e.g., how to avoid drying stage and produce concentrated CMR. The production methodology and quality assessment of concentrated CMRs include the following stages:

1. Technological and processing options and parameters for obtaining various products based on dry and concentrated CMRs. Parameters that provide the required levels of optimization, composition, quality, and physicochemical properties involve technological modes at all production stages, including biotechnological transformation of raw materials components during processing.

2. Parameters that ensure increased ecological safety, as well as low energy and resource consumption.

3. Interconnection between quality indicators and properties of dry and concentrated products, production modes, and energy consumption.

4. Parameters that assess the end use based on objective testing, including zootechnical research.

5. Indicators of economic efficiency.

This methodology requires the basic technological regimes that determine the optimal ranges of the mass fraction of dry substances at various stages of dehydration and in the final product. These technological modes depend on the physicochemical and thermophysical properties of the product during production [22].

These specific features mean that the methodology for concentrated CMR production must observe some specific approaches. For instance, the efficiency of dehydration decreases during the first stage following the increase in the concentration of the mass fraction of dry substances. During vacuum evaporation, the heat transfer coefficient decreases as the mass fraction of dry substances increases during thickening. Another limiting factor is that viscosity increases together with the concentration of the mix, which increases energy consumption and can terminate the dehydration process [20].

Dehydration usually presupposes a two-stage scheme of sequentially mounted reverse osmosis units. As a result, it is possible to estimate the approximate permissible concentrations of the condensed product. For example, the limiting concentration of milk whey is 25% when using reverse osmosis plants and 57% when using vacuum evaporators. These values depend on the properties of the mix before concentration and require experimental testing.

The mass fraction of the dry matter of concentrated CMRs can be controlled by adding additional components to the mix – dry or texturized. These processes in combination with direct methods of concentration make it possible to control the mass fraction of dry substances in a rather wide range. The upper values are affected by viscosity, gelling properties, and stratification, which depend on temperature and some other factors.

Another important task of concentrated CMR production is to achieve maximal storage stability.

This indicator can be improved using several effective techniques, e.g. pasteurization or cold storage, which inhibits bad microflora. Other methods of inhibiting pathogenic microflora include fermentation, preservatives, heat sterilization, and ultraviolet treatment [20].

From the point of view of production economy, long shelf life is not important since it increases additional costs for intermediate storage and related equipment. The optimal storage temperature for milk replacer is determined by its delivery radius and the technical capabilities of each customer.

The approximate storage time for concentrated CMRs is based on some assumptions.

The first assumption is that the production time and use in practical conditions do not fluctuate. For example, the production time does not exceed two days, even taking into account its storage at the plant and a 20% time cushion. The time the CMR spends on the farm is approximately the same. Thus, the rational value of the storage stability of concentrated CMRs depends only on the delivery radius and time. The delivery time takes no more than one day within a radius of up to 400 km. Therefore, delivery time hardly affects the need to increase the storage stability of concentrated CMRs.

What is more important is customer's interest in creating a stable, long-term supply of a concentrated CMR on the farm. As a result, producers may want to stock the CMR for the subsequent targeted delivery to the customer in particular amounts.

Like many other multicomponent products with intermediate moisture content, CMRs require a complex multifactorial production process that can be implemented in various ways using various technological and technical methods of raw material processing (Fig. 1).

Figure 1 shows that the basic principles of processing multicomponent products remain the same, while specific technological methods are constantly being improved. Recent studies in the field of animal and plant biotransformation revealed some new plant raw materials and more effective means that facilitate and control emulsification of vegetable fats and protein hydrolysis [4, 5, 23–31].

Such innovations help to achieve these goals (Fig. 1) if based on the analysis of a set of interrelated process parameters at all production stages.

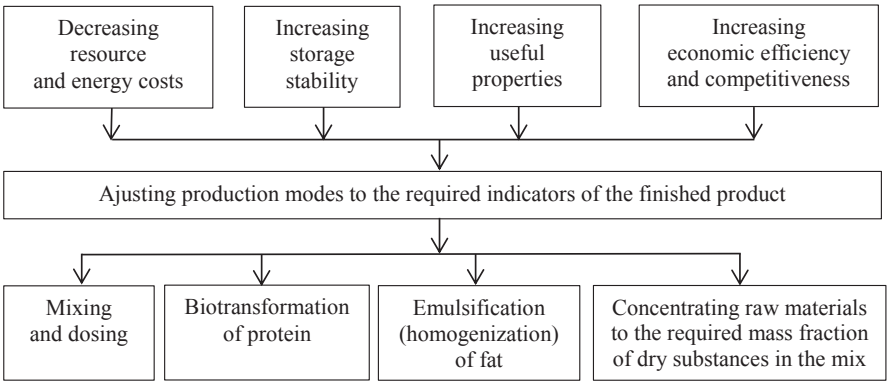


Figure 1. Basic processing procedures and required indicators of concentrated milk replacers

New types of raw materials and processing methods require new methods for assessing properties, quality, and physicochemical parameters of the product, e.g. the degree of emulsification of fats and changes in the antigenicity of plant proteins at particular production stages. For instance, the main indicators of high-fat CMRs include the dispersed composition of vegetable fats, assessed by the average diameter of the fat globules and their level of monodispersity in the CMR.

Another indicator is the protein coating of the fat globules. However, no official indicator has been developed so far for assessing protein globule membranes in concentrated CMRs. Qualitative assessment of this indicator and change patterns in fat stability in various processing modes are associated with dairy fat without protein membranes. In liquid dairy products, such fat is usually called destabilized, whereas in dry dairy products, it is called free fat with surface free fat [26]. However, these indicators are not decisive for assessing the properties of concentrated CMRs, for the reasons mentioned below.

Free fat without globule membranes produce almost no oxidative taste in dry whole milk during six months of storage, even at 30°C. In dairy fats, the rate of oxidative spoilage is highly inertial and depends on the state of fatty acids, antioxidants, oxygen contact surface, processing conditions, and storage conditions. In concentrated CMRs based on milk fats, their oxidation degree is always relatively low because they are based on fresh milk [27].

Taking into account these factors and the relatively short shelf life of concentrated CMRs, which does not exceed several weeks, the oxidation degree of the fat phase can be considered a limiting factor only for the initial value immediately after production. However, increased oxidation is an important factor when producing concentrated CMRs with non-dairy animal and vegetable fats.

As a result, the oxidation degree of non-dairy fats is a limiting factor: the values of this indicator should be equal to the dairy fat of pasteurized milk. Thus, when producing a concentrated CMR, the oxidation degree of fat phase should be determined before adding it to the mix, not before feeding it to baby calves. Based on the data mentioned above, the analysis of the total content of unprotected fat, destabilized or free, should take place after the methodology is improved and sample preparation is thoroughly studied.

Additional tests required for fat phase assessment include the assessment of its fatty and amino acids, as well as the dispersion of fat globules, which should correspond to the average size of fat globules in raw milk.

The assessment methodology for protein properties of a concentrated CMR also has its peculiarities because of its plant origin and different initial composition. In this regard, reducing the level of anti-nutritional substances in the protein composition is of great importance. As a result, assessing the antigenic properties of the protein and its polypeptide profile is also extremely important.

These indicators affect the zootechnical indicators when feeding milk replacers to young farm animals. Therefore, they should be controlled at various production stages, using traditional or novel techniques of biotransformation of the original protein raw material.

Conclusion

The main factor that determines the efficiency and economy of feed for young farm animals is the bioavailability of its protein and fat components.

The present research analyzed the qualitative indicators of colostrum and milk replacers. The analysis revealed that some of their physicochemical properties need additional control, i.e. the concentration of immunoglobulins, the polypeptide and amino acid profile of the protein component. The sanitary and hygienic indicators of primary milk can be controlled using various approaches, e.g. thermal inactivation or fermentation of colostrum with acidophilus bacillus, which reduces the number of pathogens.

The animal and vegetable fats that are part of milk replacers have some specific properties. Therefore,

their assessment should be based on the methods for determining the average diameter of fat globules, fatty acid composition, and the initial oxidation state of fats. A complex study of the fat phase requires methods that make it possible to establish the peptide and amino acid profile, as well as to assess the level of anti-nutritional and antigenic properties. In concentrated milk replacers, the qualitative and quantitative indicators of the protein and fat components depend on the methods and parameters their production.

Only by controlling the quality of colostrum and using high-quality whole milk replacers, farmers can provide rapid weight gain, earlier calving, high productivity, and prolonged lactation.

Contributon

V.D. Kharitonov supervised the project and wrote the paragraph about concentrated milk replacers. V.A. Asafov collected the material on colostrum and wrote the respective paragraph. E.L. Iskakova performed the experimental research on the hydrolysis of plant proteins, processed the obtained data, and described the results. N.L. Tankova performed the experimental studies of colostrum fermentation, processed the data, and described them. T.M. Halavach conducted the experimental research on enzymatic colostrum hydrolysis, described the properties of the obtained peptides, processed the data, and described the results. V.P. Kurchenko supervised the project, collected research material, and performed its synthesis.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

References

1. Kertz AF, Hill TM, Quigley JD, Heinrichs AJ, Linn JG, Drackley JK. *A 100-year review*: Calf nutrition and management. Journal of Dairy Science. 2017;100(12):10151–10172. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13062.

2. Godden SM, Lombard JE, Woolums AR. Colostrum management for dairy calves. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice. 2019;35(3):535–556. https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.07.005.

3. Asafov VA, Kharitonov VD, Tan'kova NL, Iskakova EL, Kuznetsov PV, Gabriyelova VT. Some aspects of using different soy proteins in the feeding diets of calves. Vestnik BSAU. 2020;55(3):31–38. (In Russ.). https://doi.org/10.31563/1684-7628-2020-55-3-31-38.

4. Halavach TM, Dudchik NV, Tarun EI, Zhygankov VG, Kurchenko VP, Romanovich RV, et al. Biologically active properties of hydrolysed and fermented milk proteins. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2020;9(4):714–720. https://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.9.4.714-720.

5. Halavach TM, Savchuk ES, Bobovich AS, Dudchik NV, Tsygankow VG, Tarun EI, et al. Antimutagenic and antibacterial activity of βcyclodextrin clathrates with extensive hydrolysates of colostrum and whey. Biointerface Research in Applied Chemistry. 2021;11(2):8626–8638. https://doi.org/10.33263/BRIAC112.86268638.

6. McGrath BA, Fox PF, McSweeney PLH, Kelly AL. Composition and properties of bovine colostrum: a review. Dairy Science and Technology. 2015;96(2):133–158. https://doi.org/10.1007/s13594-015-0258-x.

7. Dzik S, Miciński B, Aitzhanova I, Miciński J, Pogorzelska J, Beisenov A, et al. Properties of bovine colostrum and the possibilities of use. Polish Annals of Medicine. 2017;24(2):295–299. https://doi.org/10.1016/j.poamed.2017.03.004.

8. Heinrichs AJ, Jones CM, Erickson PS, Chester-Jones H, Anderson JL. *Symposium review*: Colostrum management and calf nutrition for profitable and sustainable dairy farms. Journal of Dairy Science. 2020;103(6):5694–5699. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17408.

9. Conneely M, Berry DP, Murphy JP, Lorenz I, Doherty ML, Kennedy E. Effect of feeding colostrum at different volumes and subsequent number of transition milk feeds on the serum immunoglobulin G concentration and health status of dairy calves. Journal of Dairy Science. 2014;97(11):6991–7000. https://doi.org/10.3168/jds.2013-7494.

10. Borad SG, Singh AK. Colostrum immunoglobulins: Parocessing, preservation and application aspects. International Dairy Journal. 2018;85:201–210. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.05.016.

11. Fischer AJ, Villot C, van Niekerk JK, Yohe TT, Renaud DL, Steele MA. Invited Review: Nutritional regulation of gut function in dairy calves: From colostrum to weaning. Applied Animal Science. 2019;35(5):498–510. https://doi.org/10.15232/aas.2019-01887.

12. Molozivo. Immunoglobuliny moloziva. Kachestvo i normy skarmlivaniya moloziva novorozhdennym telyatam [Colostrum. Colostrum immunoglobulins. Quality and standards of colostrum in the diet of newborn calves]. Grodno: Grodno State Agrarian University; 2010. 99 p. (In Russ.).

13. Bashahun GM, Amina A. Colibacillosis in calves: a review of literature. Journal of Animal Science and Veterinary Medicine. 2017;2(3):62–71. https://doi.org/10.31248/JASVM2017.041.

14. Morrison SJ, Wicks HCF, Carson AF, Fallon RJ, Twigge J, Kilpatrick DJ, et al. The effect of calf nutrition on the performance of dairy herd replacements. Animal. 2012;6(6):909–919. https://doi.org/10.1017/S1751731111002163.

15. Gelsinger SL, Gray SM, Jones CM, Heinrichs AJ. Heat treatment of colostrum increases immunoglobulin G absorption efficiency in high-, medium-, and low-quality colostrum. Journal of Dairy Science. 2014;97(4):2355–2360. https://doi.org/10.3168/jds.2013-7374.

16. Sacerdote P, Mussano F, Franchi S, Panerai AE, Bussolati G, Carossa S, et al. Biological components in a standardized derivative of bovine colostrum. Journal of Dairy Science. 2013;96(3):1745–1754. https://doi.org/10.3168/jds.2012-5928.

17. Bagwe S, Tharappel LJP, Kaur G, Buttar HS. Bovine colostrum: an emerging nutraceutical. Journal of Complementary and Integrative Medicine. 2015;12(3):175–185. https://doi.org/10.1515/jcim-2014-0039.

18. Liu L, Li S, Zheng J, Bu T, He G, Wu J. Safety considerations on food protein-derived bioactive peptides. Trends in Food Science and Technology. 2020;96:199–207. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.022.

19. Baumrucker CR, Macrina AL. Hormones and regulatory factors in bovine milk. Reference Module in Food Science. 2020. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818766-1.00010-6.

20. Gordeziani VS. Proizvodstvo zameniteley tsel′nogo moloka [Production of whole milk substitutes]. Moscow: Agropromizdat; 1990. 272 p. (In Russ.).

21. Khomyakov AP, Khomyakov KA. Ehksperimental′noe issledovanie gidrodinamiki i teploperedachi v kombinirovannykh vyparnykh apparatakh plenochnogo tipa [An experimental study of hydrodynamics and heat transfer in combined film-type evaporators]. Vestnik Ural′skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – UPI. Seriya khimicheskaya [Bulletin of the Ural State Technical University. Chemistry]. 2003;(3):153–158. (In Russ.).

22. Kharitonov VD. Dvukhstadiynaya sushka molochnykh produktov [Two-stage drying of dairy products]. Moscow: Agropromizdat; 1986. 215 p. (In Russ.).

23. Erickson PS, Anderson JL, Kalscheur KF, Lascano GJ, Akins MS, Heinrichs AJ. *Symposium review*: Strategies to improve the efficiency and profitability of heifer raising. Journal of Dairy Science. 2020;103(6):5700–5708. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17419.

24. Konichev AS, Baurin PV, Fedorovskiy NN, Marakhova AI, Yakubovich LM, Chernikova MA. Traditional and modern methods of exstraction of biology active substances from plant materials: perspective, dignities, limitations. Bulletin of the MSRU. Series: Natural Sciences. 2011;(3):49–54. (In Russ.).

25. He L, Han M, Qiao S, He P, Li D, Li N, et al. Soybean antigen proteins and their intestinal sensitization activities. Current Protein and Peptide Science. 2015;16(7):613–621.

26. Lee C-L, Liao H-L, Lee W-C, Hsu C-K, Hsueh F-C, Pan J-Q, et al. Standards and labeling of milk fat and spread products in different countries. Journal of Food and Drug Analysis. 2018;26(2):469–480. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.10.006.

27. Kim EH-J, Chen XD, Pearce D. Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 3. Changes in the surface composition during long-term storage. Journal of Food Engineering. 2009;94(2):182–191. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.12.001.

28. Prosekov AYu, Ulrih EV, Noskova SYu, Budrik VG, Botina SG, Agarkova EYu, et al. The getting enzymatic whey protein hydrolyzate using proteolitic enzyme. Fundamental research. 2013;(6–5):1089–1093. (In Russ.).

29. Agarkova EYu, Kruchinin AG. Enzymatic conversion as a method of producing biologically active peptides. Vestnik of MSTU. 2018;21(3):412–417. (In Russ.). https://doi.org/10.21443/1560-9278-2018-21-3-412-419.

30. Torkova A, Ryazantzeva K, Agarkova EYu, Tsentalovich M, Kruchinin A, Fedorova TV. Cheese whey catalytic conversion for obtaining a bioactive hydrolysate with reduced antigenicity. Current Research in Nutrition and Food Science. 2016;4(2):182–196. https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.4.Special-Issue-October.24.

31. Torkova AA, Ryazantseva KA, Agarkova EYu, Kruchinin AG, Tsentalovich MYu, Fedorova TV. Rational design of enzyme compositions for the production of functional hydrolysates of cow milk whey proteins. Applied Biochemistry and Microbiology. 2017;53(6):669–679. https://doi.org/10.1134/S0003683817060138.

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-196-208
УДК 664.65.05

Оригинальная статья
http://fptt.ru

Определение рациональных параметров работы вибрационного смесителя для получения мучных сыпучих смесей

Д. М. Бородулин[1], Д. В. Сухоруков[1,*], О. Н. Мусина[2,3], М. Т. Шулбаева[1], Т. В. Зорина[1], Д. И. Киселев[1], Е. С. Миллер[1]

[1] Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

[2] Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия

[3] Алтайский государственный технический университет им И. И. Ползунова, Барнаул, Россия

Дата поступления в редакцию: 22.01.2021 *Дата принятия в печать: 19.03.2021*

**e-mail: pioner_dias@mail.ru*
© Д. М. Бородулин, Д. В. Сухоруков, О. Н. Мусина, М. Т. Шулбаева, Т. В. Зорина, Д. И. Киселев, Е. С. Миллер, 2021

Аннотация.
Введение. Перспективным направлением развития рационального здорового питания является получение мучных сыпучих смесей, способных длительное время храниться без изменения качества, для производства хлебобулочных изделий. Получение данных смесей на вибрационных смесителях непрерывного действия недостаточно изучено, поэтому данные исследования являются актуальными. Цель работы – выявление рациональных параметров работы вибрационного смесителя для получения мучных сыпучих смесей.
Объекты и методы исследования. Порошкообразные сыпучие композиции на основе пшеничной муки. На основе корреляционного анализа описаны математические модели процесса смешивания в вибрационных смесителях, реализующих метод «последовательного разбавления», с целью сравнения значений сглаживающей способности смесителей и выявления целесообразности использования исследуемого смесителя. Экспериментальные исследования проводили на лабораторном стенде. Для определения рациональных параметров работы аппарата при получении мучных сыпучих смесей проведены 2 полнофакторных эксперимента.
Результаты и их обсуждение. Рассмотрены вопросы влияния неравномерности подачи сыпучих материалов на качество готовых композиций. Описано состояние и перспективы развития современного смесеприготовительного оборудования. Обоснован выбор вертикальных вибрационных смесителей непрерывного действия в качестве основы для поиска технического решения. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния амплитуды A (м) и частоты колебаний f (Гц), угла вибрации β (°), а также высоты виброкипящего слоя на процесс смесеприготовления мучных сыпучих смесей.
Выводы. В результате полнофакторного эксперимента были определены рациональные технологические параметры работы нового вибрационного смесителя, при которых достигается наилучшее качество получаемых мучных сыпучих смесей: A = 0,0046 м, рабочая частота колебания f = 33,48 Гц, доля ключевого компонента соли пищевой – 0,05. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что применение смесителя обеспечивает равномерность перемешивания ингредиентов и высокое качество смешивания мучных хлебопекарных смесей.

Ключевые слова. Смеситель, порошкообразные композиции, пшеничная мука, метод «последовательного разбавления», сглаживающая способность

Для цитирования: Определение рациональных параметров работы вибрационного смесителя для получения мучных сыпучих смесей / Д. М. Бородулин, Д. В. Сухоруков, О. Н. Мусина [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 1. – С. 196–208. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-196-208.

Original article

Available online at http://fptt.ru/eng

Flour Baking Mixes: Optimal Operating Parameters for Vibration Mixers

Dmitry M. Borodulin[1], Dmitry V. Sukhorukov[1,*], Olga N. Musina[2,3], Margarita T. Shulbaeva[1], Tatyana V. Zorina[1], Dmitry I. Kiselev[1], Ekaterina S. Miller[1]

[1] Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

[2] Altai Research Institute of Agriculture, Barnaul, Russia

[3] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

Received: January 22, 2021 *Accepted: March 19, 2021*

**e-mail: pioner_dias@mail.ru*
© D.M. Borodulin, D.V. Sukhorukov, O.N. Musina, M.T. Shulbaeva, T.V. Zorina, D.I. Kiselev, E.S. Miller, 2021

Abstract.
Introduction. New long-storage flour baking mixes are a promising direction in the development of healthy diets. The research objective was to identify the rational parameters for using continuous vibration mixers in flour production.
Study objects and methods. The study featured wheat flour baking mixes. A correlation analysis helped to build mathematical models of the mixing process in vibration mixers using the sequential dilution method. By comparing the smoothing ability of several mixers, the authors identified their feasibility. The research included two full-factor laboratory experiments.
Results and discussion. The paper gives a brief review of modern mixing equipment and describes the effect of uneven feeding of bulk materials on the quality of the finished mixes. The vertical vibration mixers proved to be an optimal technical solution. The experiment featured the effect of the amplitude A (m), vibration frequency f (Hz), vibration angle β (°), and the height of the vibrofluidized bed on the process.
Conclusion. The research revealed the following optimal technological parameters: A = 0.0046 m, f = 33.48 Hz, the share of food salt = 0.05. Continuous vibration mixers provided uniform high-quality baking mixes.

Keywords. Mixer, powdered compositions, wheat flour, serial dilution method, smoothing ability

For citation: Borodulin DM, Sukhorukov DV, Musina ON, Shulbaeva MT, Zorina TV, Kiselev DI, et al. Flour Baking Mixes: Optimal Operating Parameters for Vibration Mixers. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):196–208. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-196-208.

Введение

Проблема здорового питания актуальна для большинства стран, в том числе и для Российской Федерации.

Одно из наиболее перспективных направлений развития тенденции полезного питания – производство сыпучих мучных смесей, которые могут храниться длительное время без изменения качества выпечки [1, 2]. Многокомпонентность смесей позволяет сбалансировать их состав и разрабатывать продукты, обладающие комплексным действием и способствующие укреплению защитных свойств человеческого организма.

Существует много исследований, касающихся производства сыпучих мучных смесей в различных типах смесителей [3–5]. Однако производство этих смесей в вибрационных смесителях непрерывного действия изучено недостаточно, поэтому данное исследование является актуальным.

Анализ публикаций, которые посвящены вопросам смешения сыпучих композиций, показывает все трудности этого процесса.

Процесс смешения сыпучих композиций можно представить как объемное перемещение частиц двух и более компонентов для получения однородной среды (по составу, физико-механическим и др. свойствам). Для смешивания сыпучих материалов нужно приложить внешние усилия, которые позволяют частичкам смешиваемых компонентов передвигаться друг относительно друга. В нем можно выделить следующие основные составляющие: перенос объемов смешиваемых компонентов; деформирование; микродеформирование смешиваемых масс внутри отдельных объемов и между ними.

Процесс смешивания носит случайный характер. В связи с этим большинство методик оценки характера смешения берут за основу методы статистического анализа.

К ключевому компоненту предъявляются следующие требования:
– его содержание в смеси должно быть в небольшом количестве;
– его физически свойства должны быть отличаемы от остальных компонентов;
– его содержание в пробе можно просто определить.

Неоднородность смеси, получаемой в смесителе непрерывного действия, зависит от ряда причин: подача исходных компонентов в вибрационный смеситель осуществляется неравномерно; при недостаточном смешении сыпучей смеси возникает отклонение распределения частиц компонентов от среднего; присутствие в сыпучей композиции конгломератов компонентов.

Для сравнительной оценки перемешивающих устройств используют такие понятия, как эффективность и интенсивность перемешивания.

Эффективность перемешивания определяется количеством энергии, которую необходимо затратить на достижение технологического эффекта. На нее влияют гранулометрический состав смеси (размеры, форма и т. д.), плотность исходных компонентов, состояние поверхности частиц и их влажность, сила трения и т. д.

Интенсивность перемешивания – это время, которое необходимо для достижения заданного технологического результата. Интенсификация процессов смешения приводит к уменьшению размеров аппарата и увеличению его производительности [6].

Известен ряд способов смешения компонентов: периодическое смешивание и непрерывный поточный метод.

Периодическое смешивание осуществляется в течение некоторого времени и состоит из следующих процессов: конвективного и диффузионного смешения, а также сегрегации частиц.

Все эти процессы в аппарате происходят одновременно, но в различные периоды смешения они играют разную роль. В самом начале процесса на уровне макрообъемов смеси преобладает конвективное смешение, т. е. происходит переход гранул из слоя в слой за счет составляющей вектора скорости, которая в данный момент не зависит от физико-химических свойств частиц ингредиентов. На этом этапе важную роль играет характер движения рабочих органов аппарата и сыпучей композиции, объем аппарата, его параметры и конструкция. Смешивание считается диффузионным, если передвижения частиц относительно друг друга осуществляется случайным образом и в различные стороны. Диффузионное смешение в этот период незначительно, т. к. граница раздела между ингредиентами смеси невелика. На данный момент скорость смешения высока [7].

После распределения ингредиентов смеси по всему объему аппарата начинает преобладать диффузионное смешение, которое протекает на уровне микрообъемов. После чего, наряду с диффузионным смешением, на процесс начинает влиять сегрегация частиц. Затем наступает момент, когда эти процессы уравновешивают друг друга. Следовательно, дальнейшее смешение больше не имеет смысла и процесс необходимо закончить.

Альтернативой периодическому способу смешения может служить непрерывный поточный метод. Он легче поддается автоматизации и более производителен, т. к. смесители выполняют работу быстрее за счет того, что компоненты одновременно смешиваются и транспортируются к разгрузочному патрубку, достигая однородности. Однако из-за непрерывной подачи компонентов смеси дозаторами дискретного действия у готового продукта на выходе из аппарата получается неоднородный состав. Поэтому смеситель должен обладать хорошей сглаживающей способностью флуктуаций расходов питающих входящих потоков [8–10].

С увеличением расходов ингредиентов, т. е. когда доля «ключевого» компонента к «фоновому» становится более чем 1:100, получать смесь заданного качества становится все труднее. В этом случае «ключевой» ингредиент сначала смешивается с частью «фонового», а затем с основной массой. Метод «последовательного разбавления» позволяет сдвигать ограничения в соотношениях расходов составляющих композиции в сторону больших значений. Принципиально этот способ в смесителях периодического действия может быть реализован путем подачи компонентов в аппарат в определенной последовательности, т. е. с разрывом во времени. В оборудовании непрерывного действия осуществить метод «последовательного разбавления» значительно сложнее, т. к. требуется подача ингредиентов в разные его зоны [11, 12].

На выбор непрерывного или периодического смешивания влияют свойства компонентов: размер частиц, их форма, удельный вес, влажность и др.

Цель работы – выявление рациональных параметров работы вибрационного смесителя для получения мучных сыпучих смесей.

Объекты и методы исследования

В качестве материалов использовали порошкообразные сыпучие композиции на основе пшеничной муки.

На первом этапе работы рассмотрены вопросы влияния неравномерности подачи сыпучих материалов на качество готовых композиций. Описано состояние и перспективы развития современного смесеприготовительного оборудования. Обоснован выбор вертикальных вибрационных смесителей непрерывного действия в качестве основы для поиска технического решения.

На втором этапе на основе корреляционного анализа описаны математические модели процесса смешивания в исходных конструкциях и оригинальном вибрационном СНД, реализующий метод «последовательного разбавления», с целью сравнения значений сглаживающей способности.

Третий этап посвящен описанию лабораторного стенда для проведения экспериментальных исследований.

Для проведения технологической фазы производства сыпучих мучных смесей необходимо соблюдение следующих условий: предотвращение образование конгломератов смешанных частиц или их фактическое разрушение; стабильная подача ингредиентов в вибросмесителе; максимальное снижение влияния погрешности дозирования исходных компонентов на качество конечной смеси; высокая производительность и интенсивность процесса смешивания.

Для исследования процесса смешивания мучных сыпучих смесей был разработан лабораторно-экспериментальный стенд, который состоит из: опытно-промышленного образца смесителя

вибрационного типа с дозировочным оборудованием, ленточных конвейеров, пульта управления и строботахометра.

В связи с необходимостью изменения в широком диапазоне режимов работы вибрационного СНД и дозирующих устройств в качестве электроприводов использовали электродвигатели постоянного тока. В качестве источника постоянного тока с регулируемым напряжением использовалась электроустановка, которая состояла из лабораторного автотрансформатора (ЛАТР), мостового выпрямителя ВМ-25, вольтметра и амперметра.

Частота вращения рабочих органов дозирующего оборудования и вибросмесителя замерялись строботахометром.

Ленточные и дискретные пробоотборники использовались для анализа однородности образца конечной смеси. Эффективность непрерывно действующих смесительных агрегатов при производстве высококачественных мучных смесей зависит от постоянства питающих потоков исходных ингредиентов. Это, в свою очередь, зависит от типа и надежности дозировочного оборудования.

При исследованиях были применены объемные дозаторы дискретного и непрерывного действия [13]. Вибрационные смесители хорошо сглаживают флуктуации (погрешности дозирования) питающих материалопотоков, формируемые этими дозаторами.

Одним из важнейших требований является организация движения материальных потоков внутри рабочей камеры устройства, устранение застойных участков и создание дополнительных точек пересечения для генерации материальных потоков. Неоднородность в подаче исходных ингредиентов может быть случайной и закономерной. В первом случае количество представленного материала через равные временные промежутки зависит от изменения скорости измерительного устройства, неоднородности структуры материала и тому подобное. Способность смесителей корректировать колебания потоков материала зависит от организации движения материальных потоков и количества материала, который они содержат [14, 15]. Поэтому при разработке новой конструкции вибрационного смесителя необходимо активировать виброкипение рабочих материалов и увеличить соотношение смешанных компонентов. На основе этого мы разработали конструкцию вибрационного СНД (рис. 1).

На рисунке 1 представлена конструкция разработанного вибрационного СНД, реализующего метод «последовательного разбавления» смеси (Патент RU 2626415C1). Инерционный двухвальный четырехдебалансный инерционный вибратор в представленной работе выполняет роль вибропривода [16, 17].

На четвертом этапе исследования приведены результаты экспериментальных исследований [18]. В качестве влияющих параметров были использованы: угол вибрации (β = 30, 45 и 60º), амплитуда вибрации (A = 0,0025, 0,0035 и 0,0045 м) и частота вибрации (f = 16,71, 22, 26, 28 и 33,48 Гц).

Угол вибрации регулировался путем поворота дебалансов относительно оси.

Амплитуда колебаний установки изменялась путем увеличения или уменьшения массы дебалансов.

Частота вибрации регулировалась изменением напряжения, подаваемого на электродвигатель вибропривода посредством ЛАТРа.

После анализа отечественного и зарубежного рынка сырья для экспериментальных исследований были выбраны две сухие мучные смеси с различными качественными характеристиками ингредиентов (плотностью, фракционным составом, влажностью). Размер частиц смеси 1 составил 40–190 мкм, для смеси 2 – 5–400 мкм. Состав смесей представлен

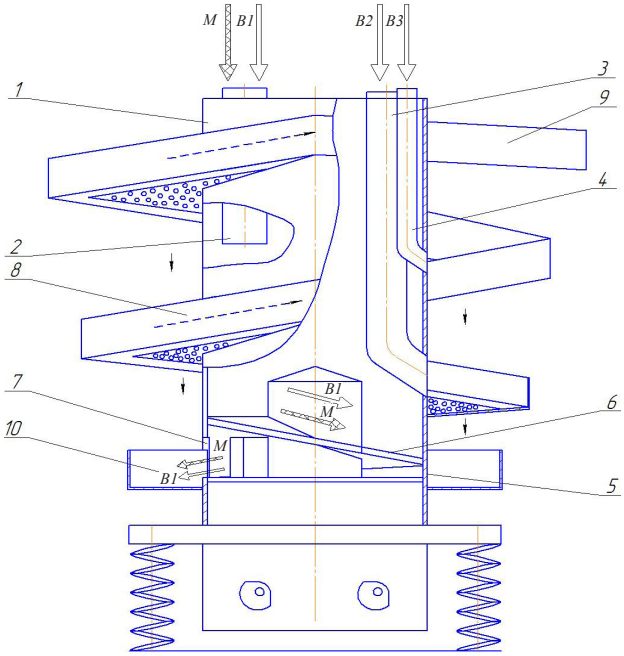


Рисунок 1. Схема разработанного вибрационного смесителя: *M* – ключевой компонент («малый»); *B1*, *B2*, *B3* – фоновые компоненты («большие»); *1* – загрузочный бункер; *2*, *3*, *4* – патрубки ввода сыпучих ингредиентов; *5* – дно; *6* – винтовой лоток; *7* – сквозное отверстие; *8* – винтовой перфорированный лоток; *9* – выгрузочный патрубок; *10* – сплошной кольцевой лоток

Figure 1. Schematic diagram of the new vibration mixer: *M* – key component; *B1*, *B2*, *B3* – background components; *1* – loading hopper; *2*, *3*, *4* – input branch pipes; *5* – bottom; *6* – screw tray; *7* – through hole; *8* – perforated screw tray; *9* – unloading branch pipe; *10* – solid circular tray

Таблица 1. Состав мучных сыпучих смесей

Table 1. Composition of the flour mixes

Наименование сырья	Расход сырья, кг	
	Смесь 1	Смесь 2
Пшеничная хлебопекарная мука, I сорт	82,6	73,3
Пищевая соль	1,5	1,6
Сахар белый	1,8	2,1
Кунжутная мука	4,4	–
Изолят сывороточного белка	4,5	–
Изолят соевого белка	4,3	–
Сухая клейковина	0,9	4,0
Чечевичная цельномолотая мука	–	9,5
Цельномолотая мука из бурого риса	–	9,5
Итого	100,0	100,0

в таблице 1. Первой была смесь с высоким содержанием белка (смесь 1). Вторая представляла собой смесь с добавлением чечевичной муки и муки из коричневого риса (смесь 2).

Оценка качества мучной хлебопекарной смеси проводилась при проведении исследований с помощью коэффициента неоднородности V_c по концентрации ключевого компонента в смеси (соли пищевой). Для этого производился отбор пробы из смеси. Нами использовался метод титрования (метод Мора), т. к. он является наиболее распространенным методом анализа соли [19, 20].

С помощью системы комплексного анализа «Statistica» проводили обработку полученных экспериментов.

Результаты и их обсуждение

Для моделирования процессов непрерывного смешивания введем условные обозначения:

i = 1, 2, …, n – количество витков основного рабочего органа аппарата;

j = 1, 2, …, m – количество витков дополнительного рабочего органа аппарата;

$X_0(t) = X_0$, $X_B(t) = X_B$ – массовый расход смеси на входе в аппарат и выходе из него соответственно;

$X_{0B}(t) = X_{0B}$ – массовый расход смеси, которая поступает на нижний неперфорированный виток основного рабочего органа с нижнего неперфорированного витка дополнительного рабочего органа;

$X_i(t) = X_i$ – случайная величина, характеризующая массовый расход смеси, сходящей с i-го витка основного рабочего органа;

$X_j(t) = X_j$– случайная величина, характеризующая массовый расход смеси, сходящей с j-го витка дополнительного рабочего органа;

ρX_0 – часть массового расхода фонового компонента и всего трассера;

δX_0 – часть массового расхода фонового компонента, подаваемого на второй виток перфорированного дополнительного рабочего органа;

$(1–\rho)X_0$ – оставшаяся часть массового расхода фонового компонента при выполнении необходимого условия $0 < \rho < 1$;

$(1–\rho–\delta)X_0$ – оставшаяся часть массового расхода фонового компонента при выполнении необходимого условия $(\rho + \delta) \le 1$;

α_i – коэффициент «внутренней» рециркуляции, характеризующий часть массового расхода смеси, поступающей с i-го витка основного рабочего органа на нижележащий, $0 \le \alpha k_i \le 1$;

β_i – коэффициент «внешней» рециркуляции, характеризующий часть массового расхода смеси, выходящей с n-го витка основного рабочего органа аппарата, $0 \le \beta_i \le 1$;

γ_i – коэффициент рециркуляции, характеризующий опережающую часть массового расхода смеси, поступающей с i-го витка основного рабочего органа на нижележащий, $0 \le \gamma_i \le 1$;

γ_j – коэффициент рециркуляции, характеризующий опережающую часть массового расхода смеси, поступающей с j-го витка дополнительного рабочего органа на нижележащий, $0 \le \gamma_j \le 1$;

τ – интервал корреляции;

$Kx_i(\tau) = Kx_i$, $Kx_j(\tau) = Kx_j$ – корреляционные функции материальных потоков;

$\sigma_{x0}^2 = Kx_0(0)$, $\sigma_{x_в}^2 = Kx_в(0)$ – дисперсии входящего и выходящего потоков.

На рисунке 2 представлена схема организации движения материальных потоков на исходной

$$\begin{cases} X_1 = X_0 + \beta X_n - \gamma_1 X_0 \\ X_2 = X_1 + \gamma_1 X_0 - \gamma_2 X_1 \\ X_3 = X_2 + \gamma_2 X_1 - \gamma_3 X_2 \\ \text{– – – – – – – – – – – – – – –} \\ X_j = X_{j-1} + \gamma_{j-1} X_{j-2} - \gamma_j X_{j-1} \\ \text{– – – – – – – – – – – – – – –} \\ X_{m-1} = X_{m-2} + \gamma_{m-2} X_{m-3} - \gamma_{m-1} X_{m-2-2} \\ X_m = X_{m-1} + \gamma_{m-1} X_{m-2} \\ X_{0B} = X_{m-1} + \gamma_{m-1} X_{m-2} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} X_1 = X_{0B} + \alpha_2 X_1 \\ X_2 = X_1 + \alpha_3 X_2 - \alpha_2 X_1 \\ X_3 = X_2 + \alpha_4 X_3 - \alpha_3 X_2 \\ \text{– – – – – – – – – – – – – – –} \\ X_i = X_{i-1} + \alpha_{i+1} X_i - \alpha_i X_{i-1} \\ \text{– – – – – – – – – – – – – – –} \\ X_{n-1} = X_{n-2} + \alpha_n X_{n-1} - \alpha_{n-1} X_{n-2} \\ X_n = X_{n-1} - \alpha_n X_{n-1} - \beta X_n \\ X_B = X_{n-1} - \alpha_n X_{n-1} \end{cases} \quad (2)$$

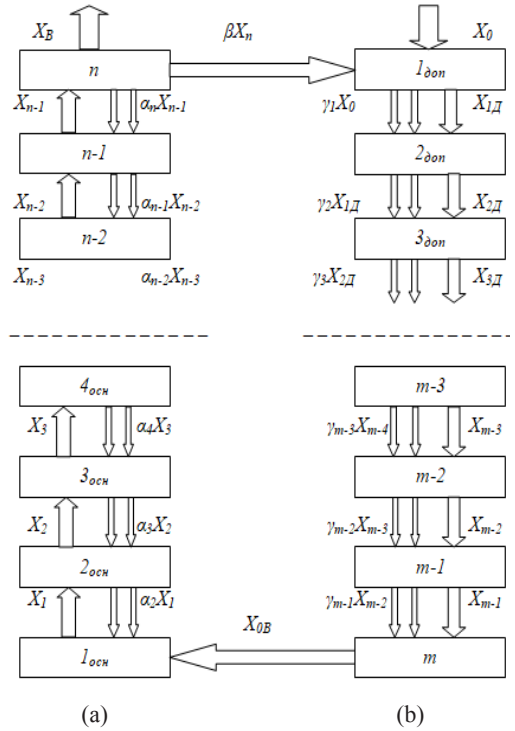


Рисунок 2. Схема организации движения материальных потоков в вибрационном смесителе непрерывного действия: а) основной рабочий орган; б) дополнительный рабочий орган

Figure 2. Material flows in the continuous vibration mixer: a) main working body; b) additional working body

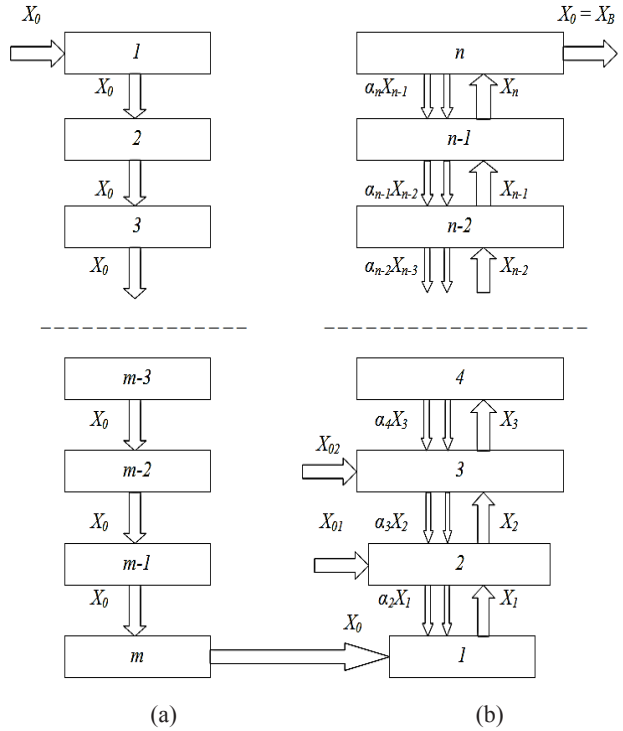


Рисунок 3. Схема организации движения материальных потоков в вибрационном смесителе непрерывного действия: а) основной рабочий орган; б) дополнительный рабочий орган

Figure 3. Material flows in the continuous vibration mixer: a) main working body; b) additional working body

$$\begin{cases} Kx_1(\tau) = Kx_0(\tau) - \gamma_{21} Kx_0(\tau) \\ Kx_2(\tau) = Kx_1(\tau) + \gamma_{21} Kx_0(\tau) - \gamma_{22} Kx_1(\tau) \\ Kx_3(\tau) = Kx_2(\tau) + \gamma_{22} Kx_1(\tau) - \gamma_{23} Kx_2(\tau) \\ \text{– –} \\ Kx_j(\tau) = Kx_{j-1}(\tau) + \gamma_{2j-1} Kx_{j-2}(\tau) - \gamma_{2j} Kx_{j-1}(\tau) \\ \text{– –} \\ Kx_{m-1}(\tau) = Kx_{m-2}(\tau) + \gamma_{2m-2} Kx_{m-3}(\tau) - \gamma_{2m-1} Kx_{m-2}(\tau) \\ Kx_m(\tau) = Kx_{m-1}(\tau) + \gamma_{2m-1} Kx_{m-2}(\tau) \\ Kx_{0B}(\tau) = Kx_{m-1}(\tau) + \gamma_{2m-1} Kx_{m-2}(\tau) \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} Kx_1(\tau) = Kx_{0B}(\tau) - \alpha_{22} Kx_1(\tau) \\ Kx_2(\tau) = Kx_1(\tau) + \alpha_{23} Kx_2(\tau) - \alpha_{22} Kx_1(\tau) \\ Kx_3(\tau) = Kx_2(\tau) + \alpha_{24} Kx_3(\tau) - \alpha_{23} Kx_2(\tau) \\ \text{– –} \\ Kx_i(\tau) = Kx_{i-1}(\tau) + \alpha_{2i+1} Kx_i(\tau) - \alpha_{2i} Kx_{i-1}(\tau) \\ \text{– –} \\ Kx_{n-1}(\tau) = Kx_{n-2}(\tau) + \alpha_{2n} Kx_{n-1}(\tau) - \alpha_{2n-1} Kx_{n-2}(\tau) \\ Kx_n(\tau) = Kx_{n-1}(\tau) - \alpha_{2n} Kx_{n-1}(\tau) \\ Kx_B(\tau) = Kx_{n-1}(\tau) - \alpha_{2n} Kx_{n-1}(\tau) \end{cases} \quad (4)$$

конструкции вибрационного смесителя непрерывного действия (Патент RU 2286203C1). На рисунке 3 изображена схема движения материальных потоков в вибрационном СНД с использованием метода «последовательного разбавления» (Патент RU 262641C1).

Рассмотрим схему организации движения потоков в вибрационном СНД, представленную на рисунке 2. Материальный баланс для материала, движущегося по дополнительному (1) и основному рабочим органам (2), описываются системами уравнений (1, 2).

Корреляционные функции для систем уравнений (1, 2) будут иметь вид уравнений (3, 4).

Примем коэффициенты рециркуляции и опережения равными между собой, (т. е. $\alpha_2 = \ldots \alpha_n = \alpha$, $\gamma_1 = \ldots = \gamma_n = \gamma$). Учитывая, что $Kx_0(0) = \sigma_{x0}^2$ и $Kx_в(0) = \sigma_{xв}^2$ [6], то, решая системы уравнений (3, 4), получим выражение для определения степени сглаживания $S(\alpha, \beta, \gamma)$ рабочего органа:

$$S = \frac{\sigma_{xo}^2}{\sigma_{xв}^2} = \left[\frac{\left((1-\alpha^2)^{n-1} - (\gamma^2 + (1-\gamma))^{2(n-1)} \cdot (1-\alpha)^{2(n-1)} \cdot \beta^2 \right)}{\left((\gamma^2 + (1-\gamma))^{2(n-1)} \cdot (1-\alpha)^{2(n-1)} \, (1-\beta)^2 \right)} \right] \quad (5)$$

Поскольку в новой конструкции вибрационного СНД, реализующего метод «последовательного разбавления», рассматривается только коэффициент рециркуляции α, то при решении уравнения (5) примем β и γ постоянными величинами равными 0,5 [20]. Таким образом, рассмотрим зависимость степени сглаживания от коэффициента рециркуляции α и количества витков *n*, которая представлена в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что чем меньше количество витков и больше коэффициент рециркуляции α, тем выше сглаживающая способность *S*. Наибольшее значение сглаживающей способности составляет *S* = 20,42 при α = 0,80 и *n* = 4. Преимуществом данного вибрационного смесителя является то, что он может иметь малое количество витков рабочего органа и, соответственно, небольшие габариты и материалоемкость.

Аналогичным образом находим выражение для определения степени сглаживания для схемы, представленной на рисунке 2:

$$S = \frac{\sigma_{x0}^2}{\sigma_{x\text{в}}^2} = \left[\frac{2(1+\alpha_n)(1+\alpha_{n-1})(1+\alpha_{n-2})(1+\alpha_{n-3})(1+\alpha_{n-4})}{\begin{array}{c}(1-\alpha_n)(1-\alpha_{n-1})(1-\alpha_{n-2})(1-\alpha_{n-3})(1-\alpha_{b-4})+\alpha_{n-5}^2(1-\alpha_n)(1-\alpha_{n-1})\cdot \\ \cdot(1-\alpha_{n-2})(1-\alpha_{n-3})(1+\alpha_{n-4})+(1-\alpha_n)(1-\alpha_{n-1})(1-\alpha_{n-2})(1-\alpha_{n-5})^2\cdot \\ \cdot(1+\alpha_{n-3})(1+\alpha_{n-4})\end{array}} \right] \quad (6)$$

Зависимость степени сглаживания от коэффициента рециркуляции α и количества витков *n* представлена в таблице 3.

Таблица 3 показывает, что важные значения *S*-параметра находятся в правом нижнем углу. Однако увеличение данного параметра приводит к значительному увеличению объема аппарата, поскольку возрастает количество его витков.

Как было выяснено ранее [20], для получения качественных смесей на вибрационных смесителях достаточно, чтобы их сглаживающая способность была в диапазоне от 290 до 2000 единиц. Исследуемый аппарат позволяет получать такие смеси при коэффициенте опережающих потоков равным 0,7. При этом, исходя из таблицы 3, количество его витков будет равным 5 или 6 в зависимости от необходимой степени сглаживания входящих материальных потоков.

Из данных, представленных в таблицах 2 и 3, можно увидеть, что целесообразно использовать новую конструкцию вибрационного СНД, применяющего метод «последовательного разбавления», поскольку он обладает высокой сглаживающей способностью для производства сухой мучной смеси заданного качества.

Скорость передачи вибрации смеси через рабочий орган устройства влияет на работу смесителя. Рассмотрим результаты производства смеси 1. Для определения скорости вибротранспортирования смеси через рабочий орган вибросмесителя ключевыми исследуемыми параметрами были: амплитуда (А = 0,0025, 0,0035 и 0,0045 м), угол вибрации (β = 30, 45 и 60°), высота виброкипящего слоя (ВКС = 0,02, 0,03 и 0,04 м), частота вибрации (f = 16,71, 22, 26, 28 и 33,48 Гц), диаметр отверстий перфорированного рабочего органа вибрационного СНД (d = 0,005 и 0,007 м, без перфорации). Отверстия расположены на витке с шагом 0,025 м.

Графическая интерпретация полученных результатов приведена на рисунках 4–7.

На рисунке 4 представлены графические зависимости скорости перемещения смеси по виткам аппарата от влияния угла вибрации β и частоты колебаний рабочего органа вибрационного СНД при постоянных значениях амплитуды вибрации рабочего органа А = 0,0045 м и высоты ВКС = 0,02 м.

Рисунок 4 показывает, что максимальная скорость перемещения смеси по виткам аппарата достигается при наибольших значениях угла вибрации и частоты вибрации f (в исследуемом диапазоне их изменений).

На рисунке 5 представлены графические зависимости скорости перемещения смеси по виткам аппарата от влияния диаметра отверстий и частоты колебаний рабочего органа. При этом амплитуда вибрации А = 0,0046 м и угол вибрации β = 45° являлись постоянными.

На рисунке 6 представлены графические зависимости скорости перемещения смеси по

Таблица 2. Значения параметра *S*(α, *n*)

Table 2. Values of the parameter *S*(α, *n*)

α\n	4	5	6	7	8
0,40	2,10	1,72	1,51	1,39	1,30
0,50	3,16	2,36	1,94	1,6	1,52
0,60	5,11	3,48	2,66	2,18	1,88
0,70	9,19	5,77	4,10	3,18	2,61
0,80	20,42	12,04	8,10	5,93	4,63

Таблица 3. Значения параметра *S*(α, *n*)

Table 3. Values of the parameter *S*(α, *n*)

α\n	4	5	6	7	8
0,40	7,62	17,81	41,49	96,79	226,01
0,50	13,61	40,48	121,49	364,48	1089
0,60	25,47	103,5	410	1642	6567
0,70	54,59	311	1767	9948	56287
0,80	145,8	1321	11824	106316	956710

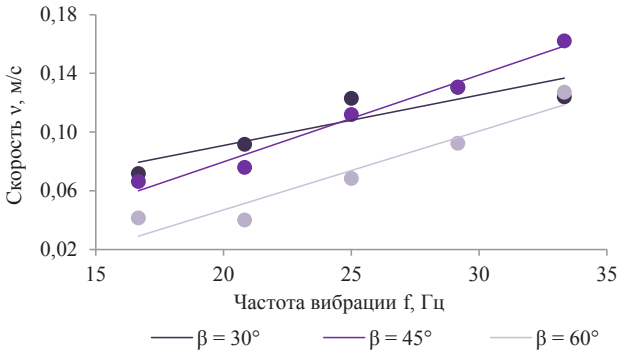


Рисунок 4. Зависимости скорости перемещения мучной хлебопекарной смеси по рабочему органу от угла и частоты вибрации

Figure 4. Effect of angle and vibration frequency on the flow rate of the flour baking mix

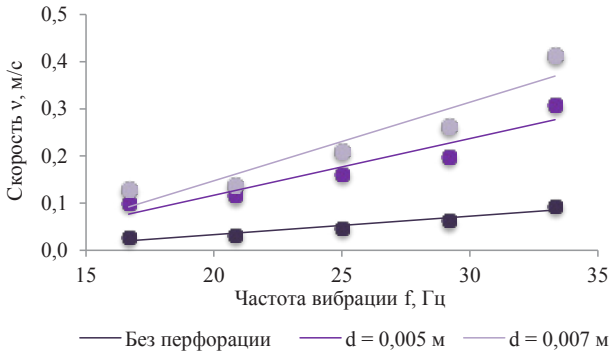


Рисунок 5. Зависимости скорости перемещения мучной хлебопекарной смеси по рабочему органу от диаметра отверстий и частоты вибрации перфорированного рабочего органа вибрационного СНД

Figure 5. Effect of the diameter of the holes and the vibration frequency of the perforated working body on the flow rate of the flour baking mix

витках аппарата от амплитуды и частоты колебаний рабочего органа вибрационного СНД. При этом угол вибрации β = 45° и высота ВКС = 0,02 м являлись постоянными.

Рисунок 6 показывает, что максимальная скорость перемещения смеси по виткам аппарата достигается при наибольших значениях амплитуды А и частоты вибрации f (в исследуемом диапазоне их изменений).

На рисунке 7 представлены графические зависимости скорости перемещения смеси по виткам аппарата от влияния высоты ВКС и частоты колебаний рабочего органа вибрационного СНД. При этом угол вибрации β = 45° и амплитуда вибрации А = 0,0046 м являлись постоянными.

Рисунок 7 показывает, что максимальная скорость перемещения смеси по виткам аппарата достигается при минимальной высоте ВКС и максимальной частоты вибрации f (в исследуемом диапазоне ее изменений).

Проанализировав результаты проведенных выше исследований, выявили, что возрастание скорости вибротранспортирования мучной хлебопекарной смеси происходит прямо пропорционально росту частоте колебаний рабочего органа f и амплитуды колебаний А.

Далее были проведены эксперименты по определению пропускной способности отверстия рабочего органа вибрационного смесителя. Перфорация необходима для организации в аппарате рециркулирующих потоков.

На рисунке 8 представлены графические зависимости. Они показывают влияние расхода мучной хлебопекарной смеси через отверстия при ее движении по рабочему органу аппарата от угла β и частоты вибрации f рабочего органа вибрационного СНД. При этом амплитуда вибрации рабочего органа А = 0,0046 м и высота виброкипящего слоя составила 0,02 м.

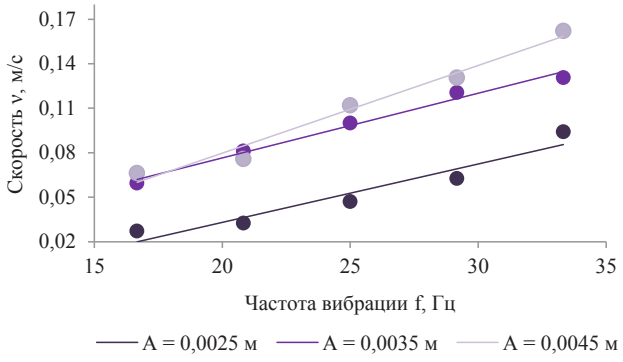


Рисунок 6. Зависимости скорости перемещения смеси по виткам аппарата от амплитуды и частоты колебаний рабочего органа вибрационного СНД

Figure 6. Effect of the amplitude and frequency of oscillations of the working body on the flow rate of the flour baking mix

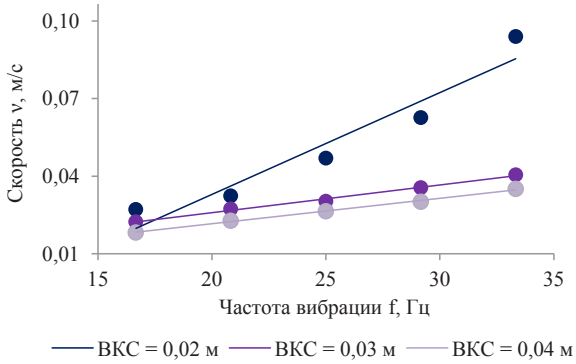


Рисунок 7. Зависимости скорости перемещения смеси по виткам аппарата от высоты ВКС и частоты колебаний рабочего органа вибрационного СНД

Figure 6. Effect of the amplitude and frequency of oscillations of the working body on the flow rate of the flour baking mix

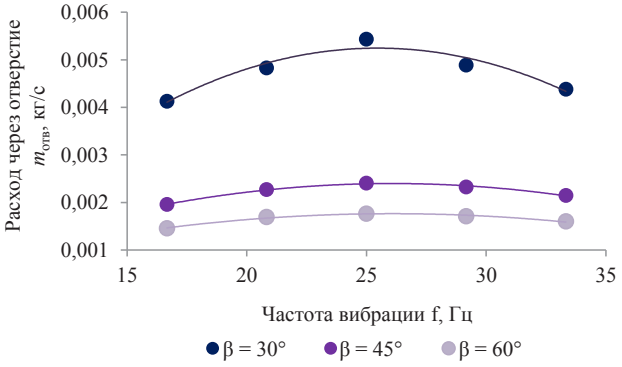


Рисунок 8. Зависимости пропускной способности отверстий перфорации рабочего органа вибрационного СНД от угла и частоты вибрации

Figure 8. Effect of the angle and vibration frequency on the throughput of the perforation holes

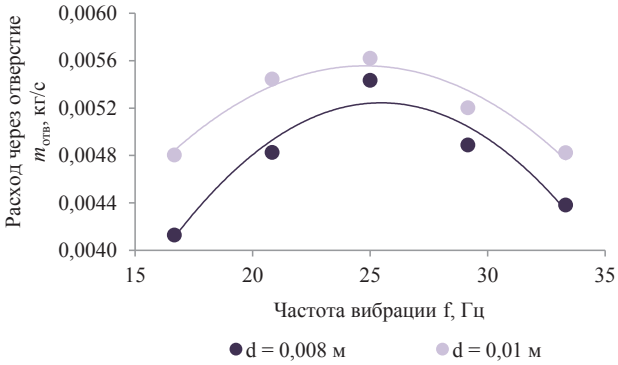


Рисунок 9. Зависимости пропускной способности отверстий перфорации рабочего органа вибрационного СНД от диаметра перфорации и частоты вибрации

Figure 9. Effect of the perforation diameter and vibration frequency on the throughput of the perforation holes

Рисунок 8 показывает, что расход исследуемой мучной смеси обратно пропорционален углу вибрации β.

Из рисунка 9 видно, что при постоянных параметрах угла, амплитуды вибрации и высоты ВКС (β = 45°, A = 0,0045 и 0,02 м соответственно) изменение диаметра перфорации d до максимального значения прямо пропорционально максимальному расходу через отверстие $m_{отв}$.

Графические зависимости, демонстрирующие влияние расхода исследуемой мучной смеси от амплитуды A и частоты вибрации f колебаний рабочего органа вибрационного СНД, представлены на рисунке 10. Угол вибрации и высота ВКС постоянны и составили β = 45° и 0,02 м соответственно.

Из рисунка 10 видно, что амплитуда вибрации A изменяется прямо пропорционально расходу материала.

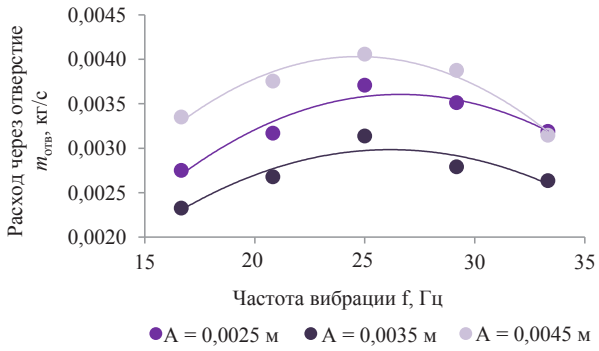


Рисунок 10. Зависимости пропускной способности отверстий перфорации рабочего органа диаметром 0,008 м от амплитуды и частоты вибрации

Figure 10. Effect of the amplitude and vibration frequency on the throughput of the 0.008 m perforation holes

Проанализировав рисунок 11, определили, что при постоянных параметрах угла и амплитуды вибрации (β = 45° и A = 0,0046 м соответственно) расход через отверстие ($m_{отв}$) находится в прямо пропорциональной зависимости от высоты ВКС.

Из представленных рисунков 8–11 видно, что большинство графических зависимостей обладают экстремумами, полученными при переходе материала из виброожиженного состояния в виброкипящее. Проанализировав полученные данные, мы выявили, что при увеличении таких характеристик, как амплитуда вибрации и высота ВКС, пропускная способность перфорации снижается.

Затем определяли взаимное влияние технологических параметров на потребляемую мощность смесителя. Эти эксперименты имеют важное значение при исследовании эффективности

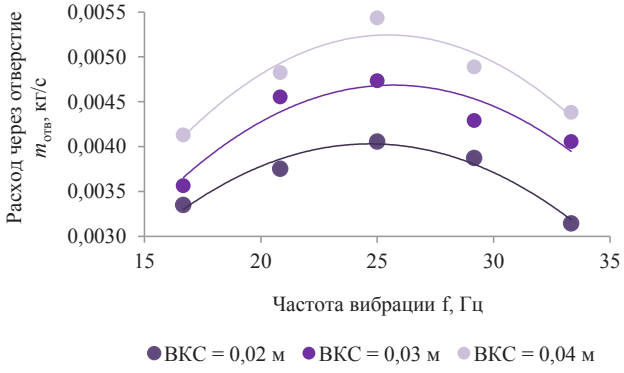


Рисунок 11. Зависимости пропускной способности отверстий перфорации рабочего органа вибрационного СНД диаметром 0,008 м от высоты ВКС и частоты вибрации

Figure 11. Effect of the height and vibration frequency on the throughput of the 0.008 m perforation holes

смесеприготовительных процессов. Были использованы следующие ключевые параметры: частота вибрации и амплитуда вибрации; ряд исследуемых значений f = 16,71, 22, 26, 28 и 33,48 Гц, A = 0,0025, 0,0035 и 0,0045 соответственно. Исследовали две конструкции смесителя, обладающие разной массой: 16 и 26 кг. Масса смесителя зависит от количества витков рабочего органа: 4 и 8 витков соответственно.

Для устойчивой работы конструкции массой 26 кг необходимо 22 Гц. Это минимальное рабочее значение частоты колебаний смесителя. Вторая конструкция (16 кг) способна работать при минимальном значении частоты колебаний 17 Гц.

На следующем этапе работы проведены два полнофакторных эксперимента для исходной и разработанной конструкций вибрационных СНД.

Определили рациональные технологические параметры работы исходного вибрационного СНД, при которых достигается наименьший коэффициент неодноодности (V_c = 4 %): амплитуда колебания A = 0,0046 мм, рабочая частота колебания f = 33,48 Гц, угол вибрации β = 45º.

Рассмотрим подробно полнофакторный эксперимент на разработанном вибрационном СНД. Исследовали следующие параметры: частоту вибрации f = 16,71, 26, 33 и 48 Гц, амплитуду колебания дебалансов A = 0,0026, 0,0036 и 0,0046 м, долю ключевого компонента соли пищевой к = 0,05, 0,15 и 0,2.

Мучную хлебопекарную смесь (V_c = 8,13 %), обогащенную белком, можно получить при амплитуде колебаний A = 0,0046 м и доле ключевого компонента к = 0,05.

При частоте вибрации f = 33,48 Гц и доле ключевого компонента к = 0,05 м получали смесь наилучшего качества с коэффициентом неоднородности V_c = 12 %.

При амплитуде A = 0,0045 м и частоте вибрации f = 33,48 Гц получали смесь с коэффициентом неоднородности V_c = 7,86 %.

На заключительном этапе работы с помощью разработанной регрессионной модели выявили среднее значение относительной погрешности: для смеси, обогащенной белком, – 9,83 %, а для смеси с добавлением чечевичной муки и муки из бурого риса – 9,98 %. Данная регрессионная модель может использоваться для прогнозирования качества производимых смесей, т. к. допустимое значение погрешности составляет ± 10 %.

В результате полнофакторного эксперимента выявили рациональные параметры работы разработанного вибрационного СНД для достижения лучшего качества смешивания: частота вибрации f = 33,48 Гц, амплитуда колебания A = 0,0046 м, доля ключевого компонента к = 0,05 м. Определили, что на коэффициент неоднородности в новой разработанной конструкции при получении исследуемых мучных сыпучих смесей наибольшее влияние оказывает доля ключевого компонента к.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что применение смесителя обеспечивает равномерность перемешивания ингредиентов и высокое качество смешивания мучных хлебопекарных смесей.

Выводы

На основе литературного обзора были выявлены недостатки, которые позволили разработать новую конструкцию вибрационного смесителя, на которую получен патент RU 2626415C1.

Разработаны математические модели вибрационного смесителя на основе корреляционного анализа, позволяющие определить рациональную топологическую схему движения материальных потоков. В результате выявлено, что при количестве витков n = 5 или n = 6 и коэффициенте рециркуляции равном α = 0,7 сглаживающая способность вибрационного СНД, реализующего метод «последовательного разбавления», варьируется в пределах 309–1753 единиц, в то время как на исходной конструкции сглаживающая способность варьируется в пределах 4,10–5,77 единиц. Таким образом, оригинальный вибрационный СНД, реализующй метод «последовательного разбавления», обладает лучшей способностью сглаживать флуктуации входящих потоков, чем исходная конструкция.

Установлено влияние параметров колебаний и высоты ВКС мучных сыпучих смесей на скорость их вибротранспортирования по рабочему органу и пропускную способность перфорации. Определены ключевые рациональные параметры работы вибрационного смесителя при получении мучных смесей: амплитуда A = 0,0046 м, угол вибрации β = 45º, ВКС = 0,02 м, диаметр отверстий перфорированного рабочего органа вибрационного СНД d = 0,005. Определены рациональные параметры работы вибрационного смесителя, реализующего метод «последовательного разбавления», при получении мучных сыпучих смесей: амплитуда колебания A = 0,0046 м, рабочая частота колебания f = 33,48 Гц, доля ключевого компонента к = 0,05.

Критерии авторства

Д. М. Бородулин разработал общую концепцию проекта, схему эксперимента, участвовал в выполнении опытов и статистической обработке данных, подготовке статьи и интерпретации результатов. Д. В. Сухоруков, М. Т. Шулбаева, Т. В. Зорина, Д. И. Киселев и Е. С. Миллер участвовали в выполнении опытов и статистической обработке данных, подготовке статьи и интерпретации результатов. О. Н. Мусина участво-

вала в составлении схемы эксперимента, подготовке рукописи и интерпретации результатов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Выражаем благодарность учебно-вспомогательному персоналу кафедры «Технологическое проектирование пищевых производств» ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» и ФГАНУ «Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности» за помощь в организации эксперимента.

Contribution

D.M. Borodulin defined the concept, designed the research, participated in the experiments and statistical analysis, wrote the manuscript, and interpreted the results. D.V. Sukhorukov, M.T. Shulbaeva, T.V. Zorina, D.I. Kiselev, and E.S. Miller performed the experiment, analyzed the obtained data, wrote the manuscript, and interpreted the results. O.N. Musina designed the study, drafted the manuscript, and interpreted the results.

Conflicts of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Acknowledgments

We would like to express our gratitude to the educational support staff of the Department of the Technological Design of Food Production of the Kemerovo State University and the Scientific Research Institute for the Baking Industry for their help in organizing the experiment.

Список литературы

1. Factors influencing the sensory perception of reformulated baked confectionary products / E. C. Garvey, M. G. O'Sullivan, J. P. Kerry [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2020. – Vol. 60, № 7. – P. 1160–1188. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1562419.

2. Birch, C. S. Ensuring the future of functional foods / C. S. Birch, G. A. Bonwick // International Journal of Food Science and Technology. – 2019. – Vol. 54, № 5. – P. 1467–1485. https://doi.org/10.1111/ijfs.14060.

3. Substituting wheat flour with okara flour in biscuit production / M. A. Momin, M. F. Jubayer, A. A. Begum [et al.] // Foods and Raw Materials. – 2020. – Vol. 8, № 2. – P. 422–428. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-422-428.

4. Yaver, E. Effects of different dephytinisation methods on chemical properties of commercial and traditional breads prepared from composite flour / E. Yaver, N. Bilgiçli // Food Chemistry. – 2019. – Vol. 276. – P. 77–83. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.169.

5. Nyembwe, P. M. Potential of defatted marama flour-cassava starch composites to produce functional gluten-free bread-type dough / P. M. Nyembwe, H. L. de Kock, J. R. N. Taylor // LWT – Food Science and Technology. – 2018. – Vol. 92. – P. 429–434. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.062.

6. Буховец, В. А. Разработка технологии производства хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности / В. А. Буховец, Д. В. Ефимова, Л. В. Давыдова // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 2. – С. 193–200. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-193-200.

7. Особенности технологии безглютеновых хлебобулочных изделий / О. Л. Вершинина, В. В. Гончар, Ю. Ф. Росляков [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2019. – Т. 368–369, № 2–3. – С. 39–41.

8. Bigne, F. Mesquite (*Prosopis alba*) flour as a novel ingredient for obtaining a "panettone-like" bread. Applicability of part-baking technology / F. Bigne, M. C. Puppo, C. Ferrero // LWT – Food Science and Technology. – 2018. – Vol. 89. – P. 666–673. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.029.

9. Intensification of bulk material mixing in new designs of drum, vibratory and centrifugal mixers / V. N. Ivanets, D. M. Borodulin, A. B. Shushpannikov [et al.] // Foods and Raw Materials. – 2015. – Vol. 3, № 1. – P. 62–69. https://doi.org/10.12737/11239.

10. Разработка смесительного агрегата для получения мучных хлебопекарных смесей с повышенным содержанием белка / Д. М. Бородулин, Т. В. Зорина, Е. В. Невская [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 4. – С. 579–586. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-579-586.

11. Angioloni, A. Effects of pressure treatment of hydrated oat, finger millet and sorghum flours on the quality and nutritional properties of composite wheat breads / A. Angioloni, C. Collar // Journal of Cereal Science. – 2012. – Vol. 56, № 3. – P. 713–719. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.08.001.

12. Developing gluten free bakery improvers by hydrothermal treatment of rice and corn flours / H. Bourekoua, L. Benatallah, M. N. Zidoune [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 73. – P. 342–350. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.032.

13. Varzakas, T. Quality and safety aspects of cereals (wheat) and their products / T. Varzakas // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2016. – Vol. 56, № 15. – P. 2495–2510. https://doi.org/10.1080/10408398.2013.866070.

14. The effects of lupin (*Lupinus angustifolius*) addition to wheat bread on its nutritional, phytochemical and bioactive composition and protein quality / C. B. J. Villarino, V. Jayasena, R. Coorey [et al.] // Food Research International. – 2015. – Vol. 76. – P. 58–65. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.046.

15. Maize flour parameters that are related to the consumer perceived quality of "*broa*" specialty bread / B. Carbas, M. C. Vaz-Patto, M. R. Bronze [et al.] // Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 36, № 2. – P. 259–267. https://doi.org/10.1590/1678-457X.6674.

16. Mixolab™ for rheological evaluation of wheat flour partially replaced by soy protein hydrolysate and fructooligosaccharides for bread production / M. Schmiele, M. H. Ferrari Felisberto, M. T. Pedrosa Silva Clerici [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2017. – Vol. 76. – P. 259–269. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.014.

17. Позднякова, О. Г. Разработка технологии производства кондитерских изделий функционального назначения / О. Г. Позднякова, Е. А. Егушова, Е. А. Тыщенко // Техника и технология пищевых производств. – 2018. – Т. 48, № 3. – С. 90–95. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-90-95.

18. Collar, C. Impact of visco-metric profile of composite dough matrices on starch digestibility and firming and retrogradation kinetics of breads thereof: Additive and interactive effects of non-wheat flours / C. Collar // Journal of Cereal Science. – 2016. – Vol. 69. – P. 32–39. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.02.006.

19. Васильев, А. С. Формирование показателей качества пшеничного хлеба при добавлении порошка топинамбура / А. С. Васильев, Е. Н. Чумакова, Ю. Т. Фаринюк // Вестник КрасГАУ. – 2019. – Т. 146, № 5. – С. 174–181.

20. Мистенева, С. Ю. Разработка мучных кондитерских изделий с использованием нерафинированного растительного сырья / С. Ю. Мистенева, Е. А. Демченко, Т. В. Савенкова // Пищевая промышленность. – 2019. – № 8. – С. 66–71. https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10129.

References

1. Garvey EC, O'Sullivan MG, Kerry JP, Kilcawley KN. Factors influencing the sensory perception of reformulated baked confectionary products. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020;60(7):1160–1188. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1562419.

2. Birch CS, Bonwick GA. Ensuring the future of functional foods. International Journal of Food Science and Technology. 2019;54(5):1467–1485. https://doi.org/10.1111/ijfs.14060.

3. Momin MA, Jubayer MF, Begum AA, Nupur AH, Ranganathan TV, Mazumder MAR. Substituting wheat flour with okara flour in biscuit production. Foods and Raw Materials. 2020;8(2):422–428. https://doi.org/10.21603/2308- 4057-2020-2-422-428.

4. Yaver E, Bilgiçli N. Effects of different dephytinisation methods on chemical properties of commercial and traditional breads prepared from composite flour. Food Chemistry. 2019;276:77–83. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.169.

5. Nyembwe PM, de Kock HL, Taylor JRN. Potential of defatted marama flour-cassava starch composites to produce functional gluten-free bread-type dough. LWT – Food Science and Technology. 2018;92:429–434. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.062.

6. Bukhovets VA, Yefimova DV, Davydova LV. New production technology for nutritionally enhanced bakery products. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(2):193–200. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-193-200.

7. Vershinina OL, Gonchar VV, Roslyakov YuF, Eremina AE, Simonyan EA. Features technology of gluten-free bakery products. News of Institutes of Higher Education. Food Technology. 2019;368–369(2–3):39–41. (In Russ.).

8. Bigne F, Puppo MC, Ferrero C. Mesquite (*Prosopis alba*) flour as a novel ingredient for obtaining a "panettone-like" bread. Applicability of part-baking technology. LWT – Food Science and Technology. 2018;89:666–673. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.029.

9. Ivanets VN, Borodulin DM, Shushpannikov AB, Sukhorukov DV. Intensification of bulk material mixing in new designs of drum, vibratory and centrifugal mixers. Foods and Raw Materials. 2015;3(1):62–69. https://doi.org/10.12737/11239.

10. Borodulin DM, Zorina TV, Nevskaya EV, Sukhorukov DV, Cherkashina DK. Mixing unit for production of flour baking mixes with high protein content. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(4):579–586. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-579-586.

11. Angioloni A, Collar C. Effects of pressure treatment of hydrated oat, finger millet and sorghum flours on the quality and nutritional properties of composite wheat breads. Journal of Cereal Science. 2012;56(3):713–719. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.08.001.

12. Bourekoua H, Benatallah L, Zidoune MN, Rosell CM. Developing gluten free bakery improvers by hydrothermal treatment of rice and corn flours. LWT – Food Science and Technology. 2016;73:342–350. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.032.

13. Varzakas T. Quality and safety aspects of cereals (wheat) and their products. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2016;56(15):2495–2510. https://doi.org/10.1080/10408398.2013.866070.

14. Villarino CBJ, Jayasena V, Coorey R, Chakrabarti-Bell S, Foley R, Fanning K, et al. The effects of lupin (*Lupinus angustifolius*) addition to wheat bread on its nutritional, phytochemical and bioactive composition and protein quality. Food Research International. 2015;76:58–65. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.046.

15. Carbas B, Vaz-Patto MC, Bronze MR, Bento-Da-Silva A, Trigo MJ, Brites C. Maize flour parameters that are related to the consumer perceived quality of "*broa*" specialty bread. Food Science and Technology. 2016;36(2):259–267. https://doi.org/10.1590/1678-457X.6674.

16. Schmiele M, Ferrari Felisberto MH, Pedrosa Silva Clerici MT, Chang YK. Mixolab™ for rheological evaluation of wheat flour partially replaced by soy protein hydrolysate and fructooligosaccharides for bread production. LWT – Food Science and Technology. 2017;76:259–269. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.014.

17. Pozdnyakova OG, Egushova EA, Tyshchenko EA. Functional confectionery products: development of production process. Food Processing: Techniques and Technology. 2018;48(3):90–95. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-90-95.

18. Collar C. Impact of visco-metric profile of composite dough matrices on starch digestibility and firming and retrogradation kinetics of breads thereof: Additive and interactive effects of non-wheat flours. Journal of Cereal Science. 2016;69:32–39. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.02.006.

19. Vasilyev AS, Chumakova EN, Farinyuk YuT. The formation of wheat bread quality indicators by adding Jerusalem artichoke powder. Bulletin of KSAU. 2019;146(5):174–181. (In Russ.).

20. Misteneva SYu, Demchenko EA, Savenkova TV. Development of flour confectionery products with use of unrefined plant raw materials. Food Industry. 2019;(8):66–71. (In Russ.). https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10129.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Журнал «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)» предназначен для публикации статей, посвященных проблемам пищевой и смежных отраслей промышленности.

Статья должна отвечать профилю журнала, обладать научной новизной, публиковаться впервые.

Рукопись научной статьи, поступившая в редакцию журнала «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)», рассматривается ответственным за выпуск на предмет соответствия профилю журнала, требования к оформлению, проверяется оригинальность представленного текста в системе «Антиплагиат» (оригиналь-ность рукописи опубликованной в Журнале должна составлять не менее 85 %), регистрируется.

В журнале публикуются только рукописи, текст которых рекомендован рецензентами.

Редакция организует «двухстороннее слепое» (анонимное) рецензирование представленных рукописей с целью их экспертной оценки. Выбор рецензента осуществляется решением главного редактора или его заместителя. Для проведения рецензирования рукописей статей в качестве рецензентов могут привлекаться как члены редакционной коллегии журнала «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)», так и высококвалифицированные ученые и специалисты других организаций и предприятий, обладающие глубокими профессиональными знаниями и опытом работы по конкретному научному направлению, как правило, доктора наук, профессора. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и имеют в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи.

Рецензенты уведомляются о том, что присланные им рукописи являются частной собственностью авторов и относятся к сведениям, не подлежащим разглашению. Рецензентам не разрешается делать копии статей для своих нужд. Рецензирование проводится конфиденциально. Нарушение конфиденциальности возможно только в случае заявления рецензента о недостоверности или фальсификации материалов, изложенных в статье.

Срок рассмотрения статьи не должен превышать трех месяцев со дня получения статьи на рецензирование.

Оригиналы рецензий хранятся в издательстве и в редакции издания в течение пяти лет со дня публикации статей.

Если в рецензии на статью имеется указание на необходимость ее исправления, то статья направляется автору на доработку.

Если статья по рекомендации рецензента подверглась значительной авторской переработке, то она направляется на повторное рецензирование тому же рецензенту, который сделал критические замечания.

Редакция оставляет за собой право отклонения статей в случае неспособности или нежелания автора учесть пожелания редакции.

При наличии отрицательных рецензий на рукопись от двух разных рецензентов или одной рецензии на ее доработанный вариант статья отклоняется от публикации без рассмотрения другими членами редколлегии. Автору не принятой к публикации статьи ответственный за выпуск направляет мотивированный отказ. Фамилия рецензента может быть сообщена автору лишь с согласия рецензента.

Решение о возможности публикации после рецензирования принимается главным редактором, а при необходимости – редколлегией в целом.

Редакция журнала направляет авторам представленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ, а также обязуется направлять копии рецензий в Министерство науки и высшего образования Российской Федерации при поступлении в редакцию издания соответствующего запроса.

Редакция журнала не хранит рукописи, не принятые к печати. Рукописи, принятые к публикации, не возвращаются. Рукописи, получившие отрицательный результат от рецензента, не публикуются и также не возвращаются обратно автору.

Рукописи печатаются, как правило, в порядке очередности их поступления в редакцию. В исключительных случаях, редакционная коллегия имеет право изменить очередность публикации статей.

Все материалы журнала «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)» распространяются на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ

Объем статьи должен быть не менее 20–25 тыс. знаков (не включая списки литературы на русском и английском языках). Объем обзорной рукописи – более 25 тыс. знаков.

Оформление текста (форматирование): поля по 20 мм, одинарный интервал без переносов, лишних пробелов и абзацных интервалов, шрифт Times New Roman, 10 кегль. Следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, дублирования одних и тех же результатов в таблицах и графиках.

Графики, диаграммы и т. п. (желательно цветные), созданные средствами MicrosoftOffice и Corel Draw, должны допускать возможность редактирования и направляются в редакцию отдельными файлами в форматах tiff, jpeg, cdr, excel.

Каждая таблица, график, диаграмма и т. п. должны иметь заголовки и порядковые номера, в тексте статьи должны присутствовать ссылки на каждую из них.

Структура статьи:

1. Индекс УДК, тип статьи
2. Название статьи
3. Инициалы и фамилии всех авторов
4. Официальное полное название учреждения
5. E-mail автора, с которым следует вести переписку
6. Аннотация (разбивается на разделы: «Введение», «Объекты и методы исследований», «Результаты и их обсуждение», «Выводы»)
7. Ключевые слова
8. Финансирование
9. Текст статьи (обязательные разделы: «Введение», «Объекты и методы исследований», «Результаты и их обсуждение», «Выводы»)
10. Критерий авторства
11. Конфликт интересов
12. Благодарности
13. Список литературы
14. Список литературы (References)
15. Сведения об авторах (на русском и английском языках).

Подать рукопись можно на сайте журнала http://fptt.ru или отправив на e-mail fptt98@gmail.com

В редакцию предоставляются:

1. Электронная версия статьи в программе MSWord. Файл статьи следует назвать по фамилии первого автора – ПетровГП.doc. Не допускается в одном файле помещать несколько документов;
2. Сканированная электронная версия статьи, подписанная всеми авторами, в программе PDF. Файл статьи следует назвать по фамилии первого автора – ПетровГП.pdf. Не допускается в одном файле помещать несколько документов;
3. Гарантийное письмо (скан-копия) на имя главного редактора журнала на бланке направляющей организации с указанием даты регистрации и исходящего номера, с заключением об актуальности работы и рекомендациями к опубликованию, с подписью руководителя учреждения.
4. Издательский лицензионный договор.

Более подробная информация на сайте журнала «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)» http://fptt.ru.

ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)
https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1
http://fptt.ru/

Просеков А. Ю. Рецензия на книгу А. Б. Лисицына «История мясной промышленности» 1

Короткий И. А., Короткая Е. В., Расщепкин А. Н., Сахабутдинова Г. Ф. Исследование замораживания мясных рубленых полуфабрикатов в биополимерной упаковке 6

Захарова Л. М., Горбунчикова М. С. Технологические особенности производства синбиотического кисломолочного продукта 17

Гусейнова Б. М., Асабутаев И. Х., Даудова Т. И. Влияние режимов замораживания, сроков хранения и способов дефростации на микробиологические показатели качества абрикосов 29

Арапов Д. В., Курицын В. А., Петров С. М., Подгорнова Н. М., Зайцева М. А. Вероятностное моделирование удельной массовой скорости роста сахарных кристаллов 39

Кручинин А. Г., Туровская С. Н., Илларионова Е. Е., Бигаева А. В. Оценка влияния полиморфизма гена к-казеина в сухом молоке на технологические свойства кислотно-индуцированных молочных гелей 53

Макаров С. С., Кузнецова И. Б., Упадышев М. Т., Родин С. А., Чудецкий А. И. Особенности клонального микроразмножения клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.) 67

Намсараева З. М., Хамаганова И. В., Дамдинова Т. Ц. Технология приготовления функционального продукта из конины в соусе 77

Петрухина Д. И., Полякова И. В., Горбатов С. А. Биоцидная эффективность нетермальной аргоновой плазмы атмосферного давления 86

Орлова Т. В., Айдер М. Крахмал зерна квиноа (*Chenopodium quinoa* Willd.): состав, морфология и физико-химические свойства 98

Кобелев К. В., Гернет М. В., Грибкова И. Н. Разработка инновационного способа получения биологически активных соединений пивной дробины 113

Ли Н. Г., Каленик Т. К. Аспекты пищевой безопасности водного и сверхкритического CO_2-экстрактов гриба *Inonotus obliguus* 125

Баурина А. В., Баурин Д. В., Шакир И. В., Панфилов В. И. Разработка технологии производства биомассы *Bacillus megaterium* кормового назначения 134

Котляров И. Д. Управление монетизацией в ресторанном бизнесе 146

Праскова Ю. А., Киселева Т. Ф., Резниченко И. Ю., Фролова Н. А., Шкрабтак Н. В., Лоуренс Ю. Биологически активные вещества *Vitis amurensis* Rupr. для профилактики преждевременного старения 159

Титов Е. И., Краснова И. С., Ганина В. И., Семенова Е. Г. Особенности питания населения, временно пребывающего в условиях Крайнего Севера, и перспективы применения сублимированных продуктов 170

Кожемяко А. В., Сергеева И. Ю., Долголюк И. В. Экспериментальное определение биологически активных соединений в выжимках свеклы и моркови, районированных в Сибирском регионе 179

Харитонов В. Д., Асафов В. А., Искакова Е. Л., Танькова Н. Л., Головач Т. Н., Курченко В. П. Регулирование качественных показателей молозива и белковых композиций заменителей молока 188

Бородулин Д. М., Сухоруков Д. В., Мусина О. Н., Шулбаева М. Т., Зорина Т. В., Киселев Д. И., Миллер Е. С. Определение рациональных параметров работы вибрационного смесителя для получения мучных сыпучих смесей 196

CONTENTS

Korotkiy Igor A., Korotkaya Elena V., Raschepkin Alexander N., Sakhabutdinova Gulnar F. Frozen Meat-Containing Semi-Finished Minced Products: Biopolymer Packaging Materials 6

Zakharova Lyudmila M., Gorbunchikova Marina S. A New Synbiotic Fermented Dairy Product: Technological Production Features 17

Guseynova Batuch M., Asabutaev Islam H., Daudova Tatyana I. Effect of Freezing Modes, Storage Time, and Defrosting Methods on Microbiological Quality Parameters of Apricots 29

Arapov Denis V., Kuritsyn Vladimir A., Petrov Sergey M., Podgornova Nadezda M., Zaitseva Mariya A. Specific Mass Growth Rate of Sugar Crystals: Probabilistic Modeling 39

Kruchinin Alexandr G., Turovskaya Svetlana N., Illarionova Elena E., Bigaeva Alana V. Evaluation of the Effect of κ-casein Gene Polymorphism in Milk Powder on the Technological Properties of Acid-Induced Milk Gels 53

Makarov Sergey S., Kuznetsova Irina B., Upadyshev Mikhail T., Rodin Sergey A., Chudetsky Anton I. Clonal Micropropagation of Cranberry (*Oxycoccus palustris* Pers.) 67

Namsaraeva Zorigma M., Khamaganova Inga V., Damdinova Tatiana Ts. New Functional Product from Horsemeat in Sauce 77

Petrukhina Daria I., Polyakova Irina V., Gorbatov Sergei A. Biocide Effect of Non-Thermal Atmospheric Pressure Plasma 86

Orlova Tatiana V., Aider Mohammed. Starch Grain Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, Morphology and Physico-Chemical Properties 98

Kobelev Konstantin V., Gernet Marina V., Gribkova Irina N. Innovative Method for Obtaining Biologically Active Compounds from Brewery Mash 113

Li Natalia G., Kalenik Tatyana K. Safety Assessment of Aqueous and Supercritical CO_2 Extracts of the Chaga Mushroom *Inonotus obliguus* 125

Baurina Alexandra V., Baurin Dmitry V., Shakir Irina V., Panfilov Victor I. Technology for the *Bacillus megaterium* Fodder Biomass Production 134

Kotliarov Ivan D. Monetization Management in Restaurant Business 146

Praskova Juliya A., Kiseleva Tatyana F., Irina Yu. Reznichenko, Frolova Nina A., Shkrabtak Natalia V., Lawrence Yulia. Biologically Active Substances of *Vitis amurensis* Rupr.: Preventing Premature Aging 159

Titov Evgeniy I., Krasnova Irina S., Ganina Vera I., Semenova Elena G. Freeze-Dried Food in the Diet of Temporary Residents of the Far North 170

Kozhemayko Anastasia V., Sergeeva Irina Yu., Dolgolyuk Irina V. Experimental Determination of Biologically Active Compounds in Pomace of Siberian Beet and Carrot 179

Kharitonov Vladimir D., Asafov Vladimir A., Iskakova Evgeniya L., Tankova Nina L., Halavach Tatsiana M., Kurchenko Vladimir P. Quality Control of Colostrum and Protein Calf Milk Replacers 188

Borodulin Dmitry M., Sukhorukov Dmitry V., Musina Olga N., Shulbaeva Margarita T., Zorina Tatyana V., Kiselev Dmitry I., Miller Ekaterina S. Flour Baking Mixes: Optimal Operating Parameters for Vibration Mixers 196