

Техника и технология пищевых производств

Food Processing: Techniques and Technology



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, Министр науки и высшего образования Кузбасса, 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. Заушинцева, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия;

В.Г. Лобанов, Кубанский государственный техно-

логический 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. Храмов, 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. Курикова

Литературный редактор (англ. язык) Н.В. Рабкина

Дизайн и компьютерная верстка М.В. Горбунова

Редактор онлайн версии Е.В. Дмитриева

Адрес редакции и издателя: КемГУ, 650000, Россия, Кемеровская обл. – Кузбасс, г. Кемерово, Красная, 6, тел.: +7 (3842) 58-80-24, e-mail: fptt98@gmail.com.

Адрес типографии: КемГУ, 650000, Россия, Кемеровская обл. – Кузбасс, г. Кемерово, пр. Советский, 73.

Учредитель: КемГУ, 650000, Россия, Кемеровская обл. – Кузбасс, г. Кемерово, Красная, 6.

© КемГУ, 2021. © Авторы, 2021.

Дата выхода в свет 28.09.21.

Усл. п. л. 75,53, уч.-изд. л. 45,33. 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

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

Issued since 1998

No. 3, 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 pro-

duction 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. Ganieva, Minister of Science and Higher Education of 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. Zaushintseva, 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 Engineering-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. Khrantsov, 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. Kiriakova, Script Editor A.Yu. Kurnikova, Script Editor (Eng) N.V. Rabkina, Layout of Journal M.V. Gorbunova, Online Editor E.V. Dmitrieva.

Editorial: 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.

Editorial: KemsU, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia. © 2021, KemsU. © 2021, Authors

Date of issue September 28, 21.

Printed sheet 75,53, conventional printed

sheet 45,33. 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.

Правовое регулирование биотехнологических исследований как ответ на вопросы общества

Развитие биотехнологии и биомедицины за последние несколько десятилетий привело к тому, что эти отрасли науки начали играть важную роль в жизни людей. Генно-инженерные сельскохозяйственные культуры позволяют обеспечить базовые потребности людей и приблизиться к решению глобальной проблемы продовольственной безопасности. Редактирование генома и клонирование ставят вопрос об изменении самого человека и его природы. Такие значимые научные прорывы приводят к изменению картины мира и неизбежно взаимодействуют с представлениями социума о границах человеческой ответственности в новых открывающихся сферах. Важность вопросов, которые могут быть решены посредством биотехнологии, прямо пропорциональна неоднозначному отношению к ним в обществе.

Существует необходимость регулирования биотехнологических исследований и их применения как на национальном, так и на международном уровнях. С одной стороны, необходимо учитывать историческое и культурное своеобразие общества и его готовность принять те или иные биотехнологические достижения, а также разный уровень доверия к научному прогрессу. С другой, существуют объективные научные ограничения, связанные с недостаточной изученностью последствий широкого применения биотехнологии. Колоссальные возможности и перспективы, которые открываются благодаря новейшим научным разработкам, имеют определенные «побочные эффекты». Их можно условно разделить на три группы:

1. Риски, связанные с недостаточной изученностью технологии или метода. В отличие от традиционных технологий, которые используются в течение многих лет, новые методы могут приводить к непредсказуемым последствиям. Необходим достаточный период апробации любой новой технологии;

2. Морально-этические проблемы. Возможность регулировать процесс создания человеческого эмбриона поставил вопрос о статусе «нерожденной жизни». Один из главных этических вопросов – с какого момента оплодотворенная клетка начинает считаться человеком?

Биоэтическая оценка методов вспомогательной репродукции также включает анализ потерь эмбрионов, вызванных их отбором и предимплантационной генетической диагностикой, а также «социальной заморозкой», которая доступна только обеспеченным слоям населения и создает неравенство.

Что касается редактирования генома, то, хотя соматическая генная терапия разрешена в ряде стран, вмешательство в зародышевую линию встречает сильное противодействие по моральным основаниям. Возможность редактирования зародышевой линии вызвала неприятие не только в массовом сознании, но и среди ученых, которые потребовали ограничить такие исследования.

Еще более спорным является клонирование человека. Лишь некоторые страны допускают терапевтическое клонирование для производства стволовых клеток, которые затем используются в терапевтических целях. Репродуктивное клонирование, которое может привести к рождению клона, запрещено во всем мире;

3. Иррациональные страхи, связанные с недостаточной информированностью о сути новых технологий или реально существующих возможностях их применения.

Новые биотехнологии находятся под контролем государственной власти. Государство должно найти баланс между благом для общества, которое могут принести биотехнологии, и социальной напряженностью, которую они же и вызывают. Эти проблемы приходится решать и международному сообществу.

Например, еда является центральным элементом повседневной жизни. Следовательно, важной темой для многих потребителей. Поэтому новые пищевые технологии подвергаются тщательному изучению и часто встречаются со скептицизмом, иногда описываемым как «пищевая неофобия». Генетическая модификация растений, использующихся в качестве пищи, вызывает серьезную озабоченность. Отношение к генномодифицированным культурам остается напряженным, хотя многочисленные исследования доказали безопасность биотехнологических продуктов. Всемирная организация здравоохранения, Российская академия наук и другие научные сообщества пришли к выводу, что потребление продуктов, содержащих ингредиенты, полученные из ГМ-культур, не более опасно, чем потребление тех же продуктов, содержащих ингредиенты из культурных растений, модифицированных традиционными методами улучшения. Однако население многих стран отрицательно относится к биотехнологическим продуктам.

Правовое регулирование биотехнологий представляет собой сложный процесс. Сложность его обусловлена быстрым развитием науки и новыми возможностями, которые в прошлом нельзя было себе представить. Попыткой оградить человечества от неясных рисков является официально принятый принцип предосторожности, который можно понимать как базовую стратегию. Принятые в разное время международные конвенции и соглашения неизбежно будут противоречить друг другу, поскольку каждый подобный документ пытается одновременно решить две задачи: избавить социум от рисков и оставить возможность для развития технологий, достижения которых могут перевесить связанные с ними риски.

Риски, связанные с разработкой и применением биотехнологий, находятся между желаемым благом и непереносимыми последствиями. Так как биотехнологии при всех ограничениях претендуют на решение глобальных и фундаментальных проблем, то связанные с ними риски находятся в фокусе общественного внимания и влияют на формирование концепта биотехнологий в массовом сознании. Это означает, что в быденном сознании биотехнологии начинают восприниматься как источник почти непереносимого риска без достаточных на то оснований.

Комплекс международных документов и соглашений, регулирующих процесс развития биотехнологий и их применения, отличается большой сложностью и внутренней неоднородностью, т. к. испытывает влияние индивидуальных прав и общественных интересов моральных ценностей и правовых норм. Противоречивое отношение общества к биотехнологиям обусловлено страхом перед возникающими рисками и неготовностью отказаться от научно-технического прогресса. Все это говорит в поддержку продолжения исследований в указанных направлениях.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-434-448>
УДК 641.5:338.2

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>



Новый подход при разработке продукции для предприятий индустрии питания

М. С. Куракин*^{ID}, А. В. Ожерельева^{ID}, О. Г. Мотырева^{ID}, Т. В. Крапива^{ID}

Кемеровский государственный университет^{ROR}, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 02.06.2021

Принята после рецензирования: 25.06.2021

Принята в печать: 15.07.2021



*e-mail: kurakin1979@mail.ru

© М. С. Куракин, А. В. Ожерельева, О. Г. Мотырева, Т. В. Крапива, 2021

Аннотация.

Введение. Негативные тенденции на рынке услуг ставят новые задачи перед изготовителями по созданию конкурентоспособной продукции, отвечающей запросам потребителей. Пандемия COVID-19 обострила необходимость поиска способов проектирования рецептур блюд для предприятий питания, учитывающих комплекс требований к ним и возможности информационных технологий. Цель исследования – создание нового подхода к разработке продукции для предприятий индустрии питания разного типа.

Объекты и методы исследования. Продовольственное сырье; результаты опроса населения г. Кемерово по установлению перечня потребительских свойств продукции кафе, ресторанов и столовых с определением степени значимости указанных характеристик; соотношение рецептурных компонентов модельных образцов и технология производства готовой продукции; показатели качества модельных образцов и готовой продукции. В работе применялись стандартные методы анкетирования, органолептической и микробиологической оценки продукции, а также язык программирования Delphi 7.

Результаты и их обсуждение. Выявлена номенклатура потребительских свойств (15 наименований) продукции общественного питания с последующей разработкой классификации блюд по 7 группам. Установлена высокая степень значимости показателей (86–100 баллов): органолептические; качество, безопасность и свежесть продукции; эстетичность; цена продукции. Низкой степенью значимости (менее 42 баллов) характеризуются показатели, определяющие калорийность продукции. Разработана методика проектирования конкурентоспособной продукции для предприятий на основе потребительских предпочтений и созданного прикладного программного обеспечения.

Выводы. Предложен новый подход при разработке продукции для предприятий индустрии питания, включающий методику проектирования конкурентоспособной продукции на основе потребительских предпочтений и применении разработанной программы. Подтверждена состоятельность и эффективность предлагаемого подхода путем апробации разработанных блюд для кафе и школьных столовых. Полученные значения степени значимости свойств на этапе проектирования новой продукции позволят создавать востребованные блюда и снизить издержки.

Ключевые слова. Общественное питание, продукция, потребительские свойства, блюда, конкурентоспособность, информационные технологии

Финансирование. Работа была выполнена на базе кафедры технологии и организации общественного питания ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (КемГУ)^{ROR}. На базе (оборудовании) Центра коллективного пользования научным оборудованием КемГУ в рамках соглашения № 075-12021-694 от 05.08.2021, заключенного между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России)^{ROR} и Кемеровским государственным университетом (уникальный идентификатор контракта RF----2296.61321X0032).

Для цитирования: Новый подход при разработке продукции для предприятий индустрии питания / М. С. Куракин [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 434–448. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-434-448>.

Original article

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

A New Approach to the Development of Food Products

Mikhail S. Kurakin*^{ID}, Anastasia V. Ozherel'eva^{ID},
Olga G. Motyрева^{ID}, Tatyana V. Krapiva^{ID}

Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

Received: June 02, 2021

Accepted in revised form: June 25, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021

*e-mail: kurakin1979@mail.ru



Abstract:

Introduction. Negative trends in the service market make food companies create competitive products that meet the needs of consumers. The COVID-19 pandemic exacerbated the need to design new formulations that meet complex requirements and use IT options. The research objective was to create a new approach to the development of products for various types of food industry enterprises.

Study objects and methods. The research featured a questionnaire, in which Kemerovo citizens were asked to establish and rank a list of consumer properties for food served at cafes, restaurants, and canteens, as well as to define the ratio of prescription components of model samples and the quality indicators of model samples. The study was based on standard survey methods, sensory and microbiological evaluation, and the Delphi 7 software.

Results and discussion. The research revealed nomenclature of consumer properties (15 names) of public catering products, which were classified into seven groups of indicators. The following indicators received the highest score (86–100 points): sensory indicators, quality indicators, safety and freshness, appearance, and price. Caloric value proved to be of a relatively low significance (≤ 42 points). The research resulted in a methodology for designing competitive products based on consumer preferences and new application software.

Conclusion. Food companies should take into account the degree of significance of particular indicators to create popular and cost-friendly dishes. This research offers a new methodology for designing competitive products based on consumer preferences and the application of the developed program. The consistency and effectiveness of the proposed approach was confirmed by testing the developed dishes at cafes and school canteens.

Keywords. Public catering, products, consumer properties, dishes, competitiveness, information technology

Funding. The work was performed on the premises of the Department of Technology and Organization of Public Catering of the Kemerovo State University (KemSU) ^{ROR}. The research was conducted on the premises of the Research Equipment Sharing Center of Kemerovo State University, agreement No. 075-12021-694 dated August 5, 2021, between the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka) ^{ROR} and Kemerovo State University (contract identifier RF ----2296.61321X0032). The work was performed on the premises of the Department of Technology and Organization of Public Catering of the Kemerovo State University (KemSU) ^{ROR}.

For citation: Kurakin MS, Ozherel'eva AV, Motyрева OG, Krapiva TV. A New Approach to the Development of Food Products. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):434–448. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-434-448>.

Введение

Рынок предприятий индустрии питания является одной из важнейших отраслей сферы услуг, результаты деятельности которой направлены на повышение уровня жизни населения, в том числе на обеспечение его культурно-бытовых потребностей.

Вышеуказанный сегмент экономической деятельности представлен не только предприятиями общественного питания классических типов (столовая, кафе, закусочная, ресторан и др.), но и предприятиями с разнообразными форматами, фуд-кортами, фудмоллами, предприятиями по доставке готовой продукции и пр. Все перечисленные типы предприятий объединяет одна цель – удовлетворение потребностей человека в пище. Для ее достижения предприятия индустрии питания должны быть клиентоориентированными; систематически отслеживать тенденции на потребительском рынке, уметь предлагать новую/обновленную продукцию с учетом изменений стереотипов питания населения; производить внедрение новых технологических достижений в производственную деятельность, а также постоянно повышать качество трудовых ресурсов, рост профессионализма персонала.

В совокупности эти критерии будут являться результатом повышения конкурентоспособности и позволят контролировать рынок, разрабатывать систему маркетинга и реализовывать принцип всеобщего управления качеством [1–3].

Актуальные тенденции в рассматриваемом секторе экономики отрицательным образом повлияли на цены, ассортимент продукции, среднюю численность персонала предприятия индустрии питания. Новым вызовом для всех сегментов потребительского рынка стало распространение COVID-19 [4–6].

С одной стороны, предприятие индустрии питания является потенциальным источником распространения новой коронавирусной инфекции. При производстве продукции персоналу необходимо соблюдать дополнительные меры, направленные на снижение риска потенциальной передачи штаммов заболевания по цепочке: сырье (персонал) – полуфабрикат – готовая продукция – доставка [7]. С другой стороны, в условиях самоизоляции, а также частичного или полного снятия ограничений продукция предприятий общественного питания является источником эссенциальных нутриентов (белки, жиры, углеводы, в т. ч. пищевые волокна,

водо- и жирорастворимые витамины, макро- и микроэлементы); с ней в организм человека поступает необходимое количество этих веществ для обеспечения нормального метаболизма [8]. Реагируя на глобальный вызов, академическая общественность направила усилия на изучение вопроса влияния питания на повышение иммунитета у пациентов в период реабилитации после перенесенного COVID-19, а также роли и режима питания в условиях полной или частичной изоляции [9–13].

Учитывая вышеизложенное, возникает понимание о необходимости поиска новых способов разработки пищевых продуктов и блюд. Их отличительными особенностями станут заданный состав, наличие физиологической эффективности, а также медико-биологические требования, учитывающие специфику питания населения, его отдельных групп или конкретного индивидуума.

Условием эффективности создания новых пищевых продуктов и блюд является структурирование процесса разработки. Структура разработки может быть представлена следующей последовательностью действий (операций):

- выбор объекта разработки;
- оформление исходных требований на объект разработки (продукцию);
- информационный поиск и анализ материалов по разработке продуктов, аналогичных заявленному в исходных требованиях (патентный поиск);
- оформление технического задания на разработку продукта;
- разработка состава продукта;
- разработка рецептуры продукта;
- разработка технологии получения экспериментальных образцов;
- корректировка состава, рецептуры и технологии продукта;
- выработка экспериментальных образцов продукта;
- апробация экспериментальных образцов продукта;
- разработка технологии производства продукта;
- разработка нормативной документации на продукт;
- регистрация нормативной документации (при необходимости) [14].

Данная структура разработки пищевых продуктов и блюд несет универсальный характер и может быть применена и в отношении предприятий индустрии питания.

Для создания конкурентоспособной продукции, с учетом сложившихся социально-экономических условий, предприятиям индустрии питания необходимо искать принципиально новые методы разработки и подходы для создания такой продукции. Проектирование новых рецептов продуктов и блюд базируется на вышеуказанных операциях. Однако для достижения повышения уровня конкурентоспособности необходимо учитывать следующие аспекты (критерии):

- безопасность;

- доступная цена (стоимость);
- высокие органолептические свойства;
- сбалансированная пищевая ценность;
- основные потребительские предпочтения.

Целью работы является создание нового подхода к разработке продукции для предприятий индустрии питания разного типа с учетом современных социально-экономических условий.

Для достижения цели поставлены и поэтапно решены следующие задачи:

- выявление и анализ актуальной номенклатуры потребительских свойств продукции общественного питания;
- разработка новой актуальной классификации потребительских свойств блюд;
- установление степени значимости рассматриваемых потребительских свойств блюд в зависимости от социально-демографических характеристик потребителя;
- разработка комплексной методики проектирования конкурентоспособной продукции для предприятий индустрии питания на основе потребительских предпочтений и создание прикладного программного обеспечения;
- апробация предлагаемого нового подхода при разработке продукции для предприятий индустрии питания коммерческого и социального секторов.

Объекты и методы исследования

На соответствующих этапах работы объектами исследования являлись:

- 1) ответы/мнения кемеровчан с разными социально-демографическими характеристиками на вопросы анкеты о важных потребительских свойствах продукции;
- 2) сырье растительного происхождения, применяемое при производстве модельных образцов блюд: огурцы свежие по ГОСТ 33932-2016, мята свежая по ГОСТ 34313-2017, лук свежий зеленый по ГОСТ 34214-2017, чеснок свежий по ГОСТ Р 55909-2013, лимон свежий по ГОСТ 34307-2017, картофель свежий по ГОСТ 7176-2017, петрушка зелень по ГОСТ 34313-2017, шпинат свежий по ГОСТ 34313-2017, лук репчатый по ГОСТ 34306-2017, курага по ГОСТ 32896-2014, чернослив по ГОСТ 32896-2014, крупа пшено по ГОСТ 572-2016, сахар по ГОСТ 12569-2016, соль по ГОСТ Р 51574-2018, тыква по ГОСТ 7975-2013, изюм по ГОСТ 32896-2014, орехи грецкие по ГОСТ 32874-2014;
- 3) сырье животного происхождения, применяемое при производстве блюд: йогурт натуральный по ГОСТ 31981-2013, молоко по ГОСТ 31450-2013, масло сливочное по ГОСТ 32261-2013, печень теленка по ГОСТ 32244-2013, яйца куриные по ГОСТ Р 52121-2003, творог по ГОСТ 32927-2014, сметана по ГОСТ 31452-2012.
- 4) модельные образцы, рецептуры и технологи-

ческие режимы приготовления выбранных блюд, технологическая документация на готовую продукцию.

Для получения точных и достоверных результатов в работе применялись следующие методы исследования:

- потребительские свойства выявляли с помощью стандартного метода анкетирования населения г. Кемерово. Для повышения точности результатов и репрезентативности выборочной совокупности заранее квотировались (т. е. использовали априорный квотный отбор) следующие параметры: пол и возраст опрашиваемых. В результате итоговая величина выборки составила 468 человек. Способ получения данных при опросе – анкетирование, форма проведения опроса – письменный, место проведения – г. Кемерово, способ взаимодействия с респондентом – дистанционный;
- степень значимости потребительских свойств устанавливали методом анкетирования той же выборочной совокупности (468 человек) с дополнительным включением шкалы семантического дифференциала от 0 до 100 баллов. Она позволила сравнить отношение групп потребителей к одному и тому же признаку (потребительскому свойству) для предприятий индустрии питания разных типов (предприятия коммерческого и социального секторов). Преимуществом данного метода является графическое изображение шкалы, что повышает наглядность дифференциации значимости характеристик;
- органолептическая оценка образцов проектируемых блюд проводилась по ГОСТ 31986-2012. Модельные образцы и готовую продукцию оценивали 7 экспертов, предварительно прошедшие проверку на сенсорную

чувствительность и имеющие опыт работы в сфере общественного питания. Согласованность оценок экспертов определялась величиной стандартного отклонения (чем ниже стандартное отклонение, тем меньше разброс оценок и тем выше согласованность мнений дегустаторов);

– при разработке прикладной программы применяли язык программирования Delphi 7;

– микробиологические показатели безопасности определяли следующим образом: *Staphylococcus aureus* по ГОСТ 31746-2012, БГКП (колиформы) по ГОСТ 31747-2012, бактерии рода *Proteus* по ГОСТ 28560-90, количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ, общее микробное число) по ГОСТ 10444.15-94, патогенные, в том числе сальмонеллы, по ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579-2002), *Escherichia coli* по ГОСТ 30726-2001.

Статистическая обработка результатов исследований (в т. ч. опроса и результатов органолептической оценки) проходила с помощью программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

Для определения востребованных и актуальных на данном этапе социально-экономического положения страны требований к продукции получены данные о номенклатуре потребительских свойств блюд общественного питания, вырабатываемой предприятиями социальной и коммерческой сферы [15, 16]. Установлена их степень значимости в зависимости от шести социально-демографических характеристик. Участки степени значимости распределены следующим образом: низкая степень



Рисунок 1. Предлагаемая актуальная классификация потребительских свойств продукции общественного питания

Figure 1. New classification of consumer properties of public catering products

значимости (от 0 до 42 баллов), средняя степень (от 43 до 85 баллов) и высокая степень значимости (от 86 до 100 баллов).

Предложена новая классификация потребительских свойств продукции, реализуемая на предприятиях индустрии питания разного типа, по степени их значимости. В общем виде классификация представлена на рисунке 1.

В группу органолептических свойств вошли показатели, определяемые с помощью органов чувств человека, характеризующиеся общей доступностью и быстротой определения. Помимо показателя качества и безопасности, в соответствующую группу включили свежесть продукции, которая влияет на органолептические показатели и показатели безопасности. Доступность продукции предлагаем рассматривать через цену. Важными показателями, отличающими продукцию общественного питания от пищевых продуктов, являются те, которые включены в группу эстетичности. Именно правильность сервировки, особенность подачи и оформления, а также единство композиции придают неповторимость любому блюду, выделяют его при относительной схожести состава с другими блюдами и повышают общий уровень спроса на продукцию. Группа показателей пищевой ценности, определяемая

составом, калорийностью и другими показателями, имеет, с одной стороны, важное значение при разработке продукции, а с другой – не каждый потребитель обращает внимание на содержание белков, жиров, углеводов и иных нутриентов.

Степень чувствительности потребителей к перечисленным потребительским свойствам и особенно к цене блюда может варьироваться от его социально-демографических характеристик.

Согласно предлагаемой классификации рассматриваемые потребительские свойства сгруппированы на свойства средней, высокой и низкой степени значимости. В качестве примера предлагаемую схему классификации применили к полученным оценкам потребительских свойств продукции на предприятиях индустрии питания социальной и коммерческой сферы (табл. 1 и 2 соответственно).

Анализ таблицы 1 и 2 показывает высокую степень значимости следующих показателей для опрашиваемых с разными социально-демографическими характеристиками: органолептические (для продукции предприятий коммерческого сектора); качество, безопасность и свежесть продукции; эстетичность (для продукции коммерческого сектора); цена продукции (для коммерческой сферы значимость выше с увеличением

Таблица 1. Таблица значимости потребительских свойств продукции, вырабатываемой предприятиями социальной сферы

Table 1. Significance of consumer properties of products of social sector catering enterprises

Потребительское свойство	Пол		Возраст, лет				Семейное положение		Состав семьи, человек				Образование				Род деятельности						
	Мужчины	Женщины	18–29	30–39	40–49	50–59	60 и старше	Холост/не замужем	В браке	1	2	3	4 и более	Основное общее	Среднее-специальное	Неоконченное высшее	Высшее	Студент	ИП	Пенсионер	безработный	Социальная сфера	Коммерческая сфера
Внешний вид																							
Консистенция																							
Запах																							
Вкус																							
Эстетичность																							
Полезность																							
Качество																							
Безопасность																							
Свежесть																							
Низкая калорийность																							
Высокая калорийность																							
Низкое содержание жира																							
Пищевая ценность																							
Состав																							
Цена																							

■ Высокая степень значимости ■ Средняя степень значимости □ Низкая степень значимости

Таблица 2. Таблица значимости потребительских свойств продукции, вырабатываемой предприятиями коммерческого сектора

Table 2. Significance of consumer properties of products produced by commercial catering enterprises

Потребительское свойство	Пол		Возраст, лет						Семейное положение		Состав семьи, человек				Образование					Род деятельности					
	Мужчины	Женщины	18–29	30–39	40–49	50–59	60 и старше	Холост/не замужем	В браке	1	2	3	4 и более	Основное общее	Среднее специальное	Неоконченное высшее	Высшее	Студент	ИП	Пенсионер	Безработный	Социальная сфера	Коммерческая сфера		
Внешний вид																									
Консистенция																									
Запах																									
Вкус																									
Эстетичность																									
Полезность																									
Качество																									
Безопасность																									
Свежесть																									
Низкая калорийность																									
Высокая калорийность																									
Низкое содержание жира																									
Пищевая ценность																									
Состав																									
Цена																									

■ Высокая степень значимости ■ Средняя степень значимости □ Низкая степень значимости

возраста и состава семьи). Относительно низкой степенью значимости характеризуются показатели, определяющие калорийность продукции. Следует отметить, что именно они имеют наименьшее значение из всех рассматриваемых потребительских свойств. Полученные данные определяют вектор разработки новой продукции для кафе, ресторанов, столовых и других типов предприятий индустрии питания.

Существующие подходы и методики проектирования/создания новой продукции характеризуются узкой направленностью, ориентированы на одно или несколько направлений. Например, обновление ассортимента, снижение себестоимости готовой продукции, улучшение органолептических характеристик и т. п. [17–19].

Предложена комплексная методика, которая в современных социально-экономических условиях позволит на этапе проектирования оценить эффективность разработки нового блюда в условиях конкуренции и понять необходимость его создания и дальнейшего производства.

Суть предлагаемой комплексной методики заключается в поэтапной оценке согласно балльной шкале по сгруппированным в блоки следующим интегральным характеристикам:

- рецептурные компоненты (происхождение сырья);
- функциональные свойства продукции (содержание

дефицитных нутриентов);

- технологичность процесса приготовления блюда;
- потребительские свойства продукции общественного питания.

На стадии апробации данной методики отмечено большое количество расчетов, табличной и справочной информации и связанных с этим временных затрат. Очевидна необходимость автоматизации расчетной части методики. Для устранения выявленных недостатков поставлена задача разработать основные модули программного обеспечения, включающие соответствующие базы данных пищевой ценности, наименования и происхождения сырья, норм физиологической потребности в пищевых веществах, коэффициентов трудоемкости.

Программный интерфейс разрабатываемого приложения реализован на основе вкладок. На вкладке «Нормативно-справочная информация» (рис. 2) пользователю предоставлена возможность редактирования (в случае необходимости):

- 1) рекомендуемого уровня суточного потребления основных пищевых веществ (15 наименований);
- 2) пищевой ценности сырья растительного и животного происхождения (установочная версия программы содержит по умолчанию данные по пищевой ценности 1113 наименований сырья и продукции);

Расчёт коэффициента обоснования необходимости разработки нового блюда для предприятий индустрии питания

Нормативно-справочная информация | Ввод и расчет данных

Наименование	Основные пищевые вещества	Рекомендуемый уровень суточного потребления
Сырье		
Шкала оценки содержания пищевых веществ в блюде		
Шкала оценки технологичности процесса изготовления		
Шкала оценки потребительских свойств разрабатываемой продукции		
Коэффициенты весомости итоговых значений вкладок		
	Белки, г	75
	Жиры, г	83
	Углеводы, г	365
	Пищевые волокна, г	30
	Калий, мг	3500
	Кальций, мг	1000
	Магний, мг	400
	Фосфор, мг	800
	Железо, мг	14
	Витамин А, мкг	800
	Витамин В1, мг	1,4
	Витамин В2, мг	1,6
	Витамин РР, мг	18
	Витамин С, мг	60
	Витамин Е, мг	365

Рисунок 2. Фрагмент вкладки «Нормативно-справочная информация»

Figure 2. Regulatory reference information: a tab fragment

Ввод нового блюда

Наименование блюда: Котлета из чечевицы

Коэффициент трудоемкости: 1 Балл за трудоемкость, технологичность (Т): 4

Сектор: ☐ Коммерческий ☒ Социальный

Рецептурные компоненты оцениваемого блюда, выбор дефицитных пищевых веществ | Шкала оценки потребительских свойств разрабатываемой продукции

Состав:

Наименование сырья	Масса нетто, г	Происхождение сырья
1 Крупа ядрица		о отечественное сырьё местного (регионального) происхождения
2 Чечевица, зерно		о отечественное сырьё местного (регионального) происхождения
3 Лук репка		о отечественное сырьё местного (регионального) происхождения
4 Петрушка		о отечественное сырьё местного (регионального) происхождения
5 Масло сливочное несоленое 'Крестьянское'		о отечественное сырьё местного (регионального) происхождения

Происхождение сырья (С): 5

Итоговое содержание пищевых веществ:

Дефицит	Наименование	Количество	% от суточной потребности	Баллы
☒				

Средний балл дефицитных веществ (dн): 0

масло

Наименование сырья

- Килька соленая с картофелем и маслом по 1-100
- Килька соленая с луком и маслом по 1-98
- Масло арахисовое
- Масло горчичное
- Масло какао
- Масло какао-соевое
- Масло канолы
- Масло кокосовое
- Масло конопляное
- Масло кукурузное
- Масло кунжутное
- Масло льняное
- Масло оливковое
- Масло пальмовое
- Масло подсолнечное
- Масло рапсовое
- Масло сладко-сливочное Бутербродное
- Масло сладко-сливочное Волгоградское
- Масло сладко-сливочное несоленое
- Масло сладко-сливочное несоленое Любительское
- Масло сладко-сливочное соленое Любительское
- Масло сливочное несоленое 'Крестьянское'
- Масло сливочное соленое Крестьянское
- Масло соевое
- Масло топленое
- Редька с маслом по 1-78

Рисунок 3. Фрагмент вкладки «Ввод и расчет данных»

Figure 3. Data entry and calculation: a tab fragment

3) баллов, присваиваемых при определении функциональных свойств анализируемой продукции;
4) баллов, присваиваемых при определении коэффициента трудоемкости производства блюда;
5) коэффициентов весомости потребительских свойств (отдельно для предприятий индустрии питания коммерческого сектора, отдельно социального);
6) интегральных коэффициентов весомости блоков интегральных характеристик.

Доступная пользователю комплексная возможность редактирования показателей, составляющих основу предлагаемой методики, позволяет применять ее с учетом особенностей разрабатываемой продукции, типа предприятия, степени значимости потребительских свойств, которые могут варьироваться по географическому, гендерному, возрастному и иным признакам. То есть реализована возможность индивидуальной настройки программного обеспечения под отдельного взятого пользователя и решаемых им задач при проектировании новой продукции.

Во вкладке «Ввод и расчет данных» расположена основная часть программы для ЭВМ (рис. 3). В ней предлагается пошагово выбрать/ввести/скорректировать данные по каждому ключевому блоку комплексной методики по расчету коэффициента обоснования необходимости разработки нового блюда для предприятий индустрии питания.

Рассматриваемая программа для ЭВМ, ее интерфейс и предлагаемая (редактируемая) нормативно-справочная информация упрощают практическое применение предлагаемой методики, экономят время пользователя и минимизируют количество возможных ошибок при выполнении соответствующих расчетов, а главное, способствуют определению уровня востребованности проектируемой продукции. Это позволяет предприятию снизить риски по внедрению в производство продукции с низкой конкурентоспособностью. Оригинальность разработанной программы подтверждена соответствующим свидетельством о государственной регистрации [20].

Этап апробации предлагаемого нового подхода при разработке продукции для предприятий общественного питания проводили в двух направлениях: проектирование рецептов и технологий приготовления блюд для предприятий коммерческого (кафе, рестораны) и социального секторов (столовые при образовательных учреждениях).

Выбор рецептурных компонентов и их рационального соотношения в разрабатываемых блюдах для предприятий коммерческого сектора происходил по нескольким параметрам. Во-первых, исходя из высокого содержания выбранных дефицитных нутриентов в нативном сырье. Вторым по степени важности фактором являлось придание готовому блюду высоких потребительских свойств. Для достижения поставленных условий варьиро-

валось соотношение рецептурных компонентов. В-третьих, по методике обоснования необходимости разработки блюд выбрано соотношение рецептурных

Таблица 3. Модельные образцы проектируемых блюд для предприятий индустрии питания коммерческого сектора

Table 3. Model samples of dishes designed for commercial catering enterprises

Рецептуры блюда			
Ингредиенты	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Мятно-огуречный суп			
Огурец	175	150	150
Мята	15	35	15
Лук зеленый	15	15	15
Чеснок	10	10	10
Йогурт натуральный	36	36	56
Лимон	3	3	3
Соль	1,5	1,5	1,5
Телячья печень со шпинатом			
Печень телячья	77	70	87
Картофель	23	23	23
Лук репчатый	12	12	10
Чеснок	10	10	10
Петрушка	15	15	10
Шпинат	8	15	5
Молоко	5	5	5
Масло сливочное	10	5	5
Соль	1,5	1,5	1,5
Мятно-лимонное пирожное			
Лайм	14	12	12
Мята	12	14	19
Мука пшеничная	6	6	6
Яйцо куриное	6	6	6
Сгущенное молоко	31	30	31
Лимон	14	15	10
Печенье	10	10	10
Масло сливочное	8	8	8
Сахар	2	2	2
Цветная капуста в ореховом соусе			
Капуста цветная	80	83	88
Грецкий орех	38	35	30
Чеснок	5	5	5
Соль	1,0	1,5	1,5
Кориандр	1,0	0,5	0,5
Запеченная свекла с булгуром			
Свекла	60	50	55
Булгур	20	25	20
Сыр (шавру)	40	35	30
Варенье черничное	20	25	30
Кинза	10	10	10
Кедровый орех	2	2	2
Зелень (микс)	15	15	15
Масло растительное	10	10	10
Апельсиновый сок	20	20	20

компонентов, при котором содержание дефицитных нутриентов в одной порции готового блюда будет оптимальным относительно суточной потребности.

Определение рациональных режимов приготовления блюд проходило на базе технологического класса кафедры технологии и организации

Таблица 4. Органолептическая оценка модельных образцов разрабатываемых блюд для предприятий индустрии питания коммерческого сектора

Table 4. Sensory evaluation of model samples developed for commercial catering enterprises

Образцы блюда	Органолептические показатели, балл				Сумма баллов (max = 20 баллов)
	Внешний вид	Текстура	Запах	Вкус	
Мятно-огуречный суп					
№ 1	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	4,9 ± 0,3	4,8 ± 0,4	19,8 ± 0,5
№ 2	5,0 ± 0,0	4,9 ± 0,3	4,3 ± 0,7	4,1 ± 0,8	18,3 ± 0,9
№ 3	5,0 ± 0,0	4,9 ± 0,3	4,7 ± 0,5	4,1 ± 0,7	18,7 ± 1,1
Телячья печень со шпинатом					
№ 1	4,4 ± 0,5	4,7 ± 0,4	4,7 ± 0,4	4,3 ± 0,8	18,1 ± 1,5
№ 2	4,9 ± 0,3	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	19,9 ± 0,4
№ 3	4,6 ± 0,5	4,7 ± 0,5	4,4 ± 0,5	4,1 ± 0,4	17,9 ± 1,1
Мятно-лимонное пирожное					
№ 1	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	4,9 ± 0,3	4,8 ± 0,4	19,8 ± 0,5
№ 2	4,6 ± 0,5	4,7 ± 0,5	4,4 ± 0,5	4,1 ± 0,4	17,9 ± 1,1
№ 3	4,6 ± 0,5	4,7 ± 0,5	4,4 ± 0,5	4,1 ± 0,4	17,9 ± 1,1
Цветная капуста в ореховом соусе					
№ 1	5,0 ± 0,0	4,9 ± 0,3	4,3 ± 0,7	4,1 ± 0,8	18,3 ± 0,9
№ 2	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	20,0 ± 0,0
№ 3	4,4 ± 0,5	4,7 ± 0,4	4,7 ± 0,4	4,3 ± 0,8	18,1 ± 1,5
Запеченная свекла с булгуром					
№ 1	4,4 ± 0,5	4,7 ± 0,4	4,7 ± 0,4	4,3 ± 0,8	18,1 ± 1,5
№ 2	4,7 ± 0,4	4,4 ± 0,5	4,7 ± 0,4	4,3 ± 0,8	18,1 ± 1,5
№ 3	5,0 ± 0,0	4,9 ± 0,3	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	19,9 ± 0,4

Таблица 5. Результаты оценки коэффициента обоснования разработки блюда для предприятий коммерческого сектора

Table 5. Substantiation coefficient for dishes developed for commercial catering enterprises

Наименование продукции	Наименование оцениваемого блока показателей (с учетом коэффициента весомости)				
	Происхождение сырья	Технологичность изготовления блюда	Содержание дефицитных пищевых веществ	Потребительские свойства блюда	Коэффициент обоснования разработки блюда
Мятно-огуречный суп – образец № 1	0,2265·4 = 0,9060	0,2834·5 = 1,4170	0,1710·3,5 = 0,5985	0,3191·4,7 = 1,4997	4,4212
Телячья печень со шпинатом – образец № 2	0,2265·4 = 0,9060	0,2834·5 = 1,4170	0,1710·4,2 = 0,7182	0,3191·4,3 = 1,3721	4,1433
Мятно-лимонное пирожное – образец № 1	0,2265·4 = 0,9060	0,2834·5 = 1,4170	0,1710·2,8 = 0,4788	0,3191·4,1 = 1,3083	4,1101
Цветная капуста в ореховом соусе – образец № 2	0,2265·4 = 0,9060	0,2834·4 = 1,1336	0,1710·3,6 = 0,6156	0,3191·4,0 = 1,2764	3,9316
Запеченная свекла с булгуром – образец № 3	0,2265·3 = 0,6795	0,2834·3 = 0,8502	0,1710·2,6 = 0,4446	0,3191·4,2 = 1,3402	3,3145

общественного питания Кемеровского государственного университета.

Для выбора блюд, обладающих выраженными органолептическими свойствами, проведена соответствующая оценка образцов. Модельные образцы, отличающиеся соотношением рецептурных компонентов, представлены в таблице 3.

Оценка потребительских свойств, в частности органолептических, проводилась дегустационной комиссией в количестве 7 человек экспертным методом по 20-тибалльной шкале. Результаты представлены в таблице 4.

По итогам проведенной органолептической оценки выбраны следующие образцы: мятно-огуречный суп – образец № 1, телячья печень со шпинатом – образец № 2, мятно-лимонное пирожное – образец № 1, цветная капуста в ореховом соусе – образец № 2, запеченная свекла с булгуром – образец № 3. Выбранные образцы имеют выраженную совокупность органолептических свойств, т. к. ранее установлена степень значимости данных потребительских характеристик. Отмечена согласованность мнений экспертов в отношении итоговой суммарной оценки. Это статистически подтверждается меньшими значениями показателя стандартного отклонения.

Для выбранных модельных образцов произведен расчет коэффициента обоснования выбора согласно алгоритму методики и с помощью разработанной программы для ЭВМ. Полученные промежуточные результаты и коэффициенты обоснования разработки блюд представлены в таблице 5. Применяемые коэффициенты весомости были установлены методом анкетирования населения г. Кемерово с дополнительным включением шкалы семантического дифференциала.

Коэффициент обоснования разработки блюда, согласно предлагаемой методике, может находиться в диапазоне от 1 (минимальное значение) до 5 (максимальное значение). Блюда с коэффициентом обоснования от 4 до 5 имеют потенциально высокий уровень перспективной конкурентоспособности и рекомендуются к внедрению в производственные условия ресторана, кафе или другого предприятия коммерческого сектора.

Для рассматриваемых блюд подобраны режимы приготовления, составлены технологические схемы и технико-технологические карты. Проведены исследования на соответствие микробиологических показателей требованиям ТР ТС 021/2011 (табл. 9). Успешная апробация подтверждена актом внедрения блюд в кафе «Кампот» (г. Кемерово).

По аналогичному алгоритму была проведена исследовательская работа для блюд социальной сферы. Образцы блюд, отличающиеся соотношением рецептурных компонентов, представлены в таблице 6.

Таблица 6. Модельные образцы проектируемых блюд для предприятий индустрии питания социального сектора

Table 6. Model samples designed for social sector catering enterprises

Рецептуры блюда			
Ингредиенты	Образец		
	№ 1	№ 2	№ 3
Запеканка с курагой и черносливом			
Яйцо куриное	40	40	40
Курага	30	20	15
Чернослив	30	20	30
Крупа пшеничная	35	45	35
Молоко	125	125	140
Сахар	15	15	15
Масло сливочное	10	10	10
Пирог-запеканка «Секрет»			
Тыква	50	60	40
Творог	35	35	35
Пшеница	37	27	47
Яйцо куриное	10	10	10
Изюм	5	5	5
Сметана	8	5	8
Грецкий орех	5	8	5
Сахар	7	7	7
Котлеты из чечевицы			
Крупа гречневая	40	35	45
Чечевица крупа	40	45	35
Лук репчатый	10	5	10
Петрушка зелень	10	15	10
Масло сливочное	10	10	10
Соль	1	1	1
Плов из гречки с курицей			
Крупа гречневая	40	45	42
Куриное филе	52	47	50
Лук репчатый	35	30	35
Морковь	40	45	40
Масло растительное	17	17	17
Соль	1,5	1,5	1,5
Плов из гречки с орехами			
Крупа гречневая	60	70	50
Морковь	20	20	30
Курага	30	20	30
Лук репчатый	15	15	15
Сельдерей (стебли)	20	20	20
Орехи грецкие	10	10	10
Масло подсолнечное	20	20	20
Соль	1,5	1,5	1,5

Оценка потребительских свойств, в частности органолептических, проводилась дегустационной комиссией в том же составе экспертным методом по 20-тибалльной шкале. Итоговые результаты сведены в таблицу 7.

Результаты органолептической оценки свидетельствуют о том, что для дальнейшего расчета

Таблица 7. Органолептическая оценка модельных образцов разрабатываемых блюд для предприятий индустрии питания социального сектора

Table 7. Sensory evaluation of model samples developed for social sector catering enterprises

Образцы блюда	Органолептические показатели, балл				Сумма баллов (max = 20 баллов)
	Внешний вид	Текстура	Запах	Вкус	
Запеканка с курагой и черносливом					
№ 1	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	20,0 ± 0,0
№ 2	4,9 ± 0,3	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	19,9 ± 0,4
№ 3	5,0 ± 0,0	4,9 ± 0,3	4,7 ± 0,5	4,1 ± 0,7	18,7 ± 1,1
Пирог-запеканка «Секрет»					
№ 1	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	20,0 ± 0,0
№ 2	5,0 ± 0,0	4,9 ± 0,3	4,7 ± 0,5	4,1 ± 0,7	18,7 ± 1,1
№ 3	4,9 ± 0,3	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	19,9 ± 0,4
Котлеты из чечевицы					
№ 1	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	4,9 ± 0,3	4,8 ± 0,4	19,8 ± 0,5
№ 2	4,6 ± 0,5	4,7 ± 0,5	4,4 ± 0,5	4,1 ± 0,4	17,9 ± 1,1
№ 3	4,6 ± 0,5	4,7 ± 0,5	4,4 ± 0,5	4,1 ± 0,4	17,9 ± 1,1
Плов из гречки с курицей					
№ 1	5,0 ± 0,0	4,9 ± 0,3	4,3 ± 0,7	4,1 ± 0,8	18,3 ± 0,9
№ 2	5,0 ± 0,0	4,9 ± 0,3	4,7 ± 0,5	4,1 ± 0,7	18,7 ± 1,1
№ 3	5,0 ± 0,0	4,9 ± 0,3	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	19,9 ± 0,4
Плов из гречки с орехами					
№ 1	4,4 ± 0,5	4,7 ± 0,4	4,7 ± 0,4	4,3 ± 0,8	18,1 ± 1,5
№ 2	5,0 ± 0,0	4,9 ± 0,3	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	19,9 ± 0,4
№ 3	4,6 ± 0,5	4,7 ± 0,5	4,4 ± 0,5	4,1 ± 0,4	17,9 ± 1,1

Таблица 8. Результаты оценки коэффициента обоснования разработки блюда для предприятий социального сектора

Table 8. Substantiation coefficient for dishes developed for social sector catering enterprises

Наименование продукции	Наименование оцениваемого блока показателей (с учетом коэффициента весомости)				
	Происхождение сырья	Технологичность изготовления блюда	Содержание дефицитных пищевых веществ	Потребительские свойства блюда	Коэффициент обоснования разработки блюда
Плов из гречки с курицей – образец № 3	0,2288·4 = 0,9152	0,2614·4 = 1,0456	0,2083·2,9 = 0,6040	0,3015·4,1 = 1,2361	3,8009
Плов из гречки с орехами – образец № 2	0,2288·4 = 0,9152	0,2614·4 = 1,0456	0,2083·3,1 = 0,6457	0,3015·4,2 = 1,2663	3,8728
Запеканка с курагой и черносливом – образец № 1	0,2288·4 = 0,9152	0,2614·5 = 1,3070	0,2083·4,2 = 0,8748	0,3015·4,2 = 1,2663	4,3633
Пирог-запеканка «Секрет» – образец № 1	0,2288·4 = 0,9152	0,2614·5 = 1,3070	0,2083·3,7 = 0,7707	0,3015·4,1 = 1,2361	4,2290
Котлеты из чечевицы – образец № 1	0,2288·4 = 0,9152	0,2614·4 = 1,0456	0,2083·3,6 = 0,7498	0,3015·4,3 = 1,2964	4,0070

по предлагаемой методике необходимо выбрать следующие образцы блюд: запеканка с курагой и черносливом – образец № 1, пирог-запеканка «Секрет» – образец № 1, котлеты из чечевицы – образец № 1, плов из гречки с курицей – образец № 3, плов из гречки с орехами – образец № 2.

Для выбранных модельных образцов также произведен расчет коэффициента обоснования

выбора согласно алгоритму методики и с помощью разработанной программы для ЭВМ. Полученные промежуточные результаты и коэффициенты обоснования разработки блюд представлены в таблице 8.

Для рассматриваемых блюд подобраны режимы приготовления с учетом действующего санитарного законодательства в сфере общественного питания, составлены технологические схемы и технико-

Таблица 9. Результаты микробиологических испытаний

Table 9. Results of microbiological tests

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Результат испытаний	Норма
Телячья печень со шпинатом				
1	<i>Staphylococcus aureus</i>	г	в 1,0 не обнаружены	в 1,0 не допускаются
2	БГКП (колиформы)	г	в 1,0 не обнаружены	в 1,0 не допускаются
3	Бактерии рода <i>Proteus</i>	г	в 0,1 не обнаружены	в 0,1 не допускаются
4	КМАФАнМ	КОЕ/г	$3,5 \times 10^2$	не более 1×10^3
5	Патогенные, в том числе сальмонеллы	г	в 25 не обнаружены	в 25 не допускаются
Мятно-огуречный суп				
1	<i>Escherichia coli</i>	г	в 0,1 не обнаружены	в 0,1 не допускаются
2	<i>Staphylococcus aureus</i>	г	в 0,1 не обнаружены	в 0,1 не допускаются
3	БГКП (колиформы)	г	в 0,01 не обнаружены	в 0,01 не допускаются
4	Бактерии рода <i>Proteus</i>	г	в 0,1 не обнаружены	в 0,1 не допускаются
5	Патогенные, в том числе сальмонеллы	г	в 25 не обнаружены	в 25 не допускаются
Запеканка с курагой и черносливом				
1	<i>Staphylococcus aureus</i>	г	в 1,0 не обнаружены	в 1,0 не допускаются
2	БГКП (колиформы)	г	в 1,0 не обнаружены	в 1,0 не допускаются
3	КМАФАнМ	КОЕ/г	менее 1×10^1	не более 5×10^2
4	Патогенные, в том числе сальмонеллы	г	в 25 не обнаружены	в 25 не допускаются
Пирог запеканка				
1	<i>Staphylococcus aureus</i>	г	в 1,0 не обнаружены	в 1,0 не допускаются
2	БГКП (колиформы)	г	в 1,0 не обнаружены	в 1,0 не допускаются
3	Бактерии рода <i>Proteus</i>	г	в 0,1 не обнаружены	в 0,1 не допускаются
4	КМАФАнМ	КОЕ/г	$3,5 \times 10^2$	не более 1×10^3
5	Патогенные, в том числе сальмонеллы	г	в 25 не обнаружены	в 25 не допускаются

технологические карты. Проведены исследования на соответствие микробиологических показателей требованиям ТР ТС 021/2011 (табл. 9). Успешная апробация подтверждена актом внедрения блюд в муниципальном автономном учреждении «Школьное питание» (г. Кемерово).

Разработанная продукция полностью соответствует санитарно-гигиеническим показателям, подтверждающим микробиологическую безопасность продукции в соответствии с действующим законодательством на территории стран-участниц таможенного союза.

На основе нового подхода, включающего методику проектирования конкурентоспособной продукции для предприятий индустрии питания и применение специализированного программного продукта, разработаны блюда для предприятий коммерческого и социального секторов, проведена оценка качества и безопасности новых блюд. Полученные акты внедрения подтверждают востребованность продукции, полученной на основе предлагаемого подхода.

Выводы

Выявлена актуальная для текущих социально-экономических условий рынка сферы услуг номенклатура потребительских свойств продукции, вырабатываемой предприятиями коммерческого

и социального секторов. Предложена новая классификация блюд на основе установленных 15 наименований потребительских свойств.

Показана высокая степень значимости для потребителей с разными социально-демографическими характеристиками органолептических показателей (для продукции предприятий коммерческого сектора); качества, безопасности и свежести продукции; эстетичности (для продукции коммерческого сектора); цены продукции (для коммерческой сферы значимость выше с увеличением возраста и состава семьи). Отмечена невысокая степень значимости показателей, определяющих калорийность продукции. Учет полученных данных на этапе проектирования новой продукции позволит создавать востребованные блюда, что потенциально снизит издержки предприятий.

Предложен новый подход при разработке продукции для предприятий индустрии питания, включающий комплексную методику проектирования конкурентоспособной продукции на основе потребительских предпочтений и применение разработанного специализированного прикладного программного обеспечения.

Успешная апробация разработанных блюд для кафе и школьных столовых подтверждает эффективность нового подхода, обуславливает его дальнейшее тиражирование и практическое

применение на предприятиях индустрии питания г. Кемерово и области.

Критерии авторства

М. С. Куракин – общее научное руководство исследованиями, разработка концепции нового подхода, организация опроса населения г. Кемерово, составление математического аппарата для прикладной программы, организация оценки органолептических показателей качества. А. В. Ожерельева – проведение опроса, обработка полученных данных, разработка рецептур блюд и определение технологических режимов приготовления, составление технологической документации, разработка части исходного текста программы. О. Г. Мотырева – организация микробиологических исследований разработанной продукции. Т. В. Крапива – формализация задачи и разработка данных программы для ЭВМ. Все соавторы принимали участие в написании и общей редакции соответствующих разделов рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

M.S. Kurakin supervised the research, developed the concept, organized the survey, compiled the mathematical apparatus for the program, and organized the sensory assessment. A.V. Ozherel'eva performed the survey, processed the obtained data, developed the formulations, determined the technology and related documentation, and developed a part of the source text of the program. O.G. Motyрева organized the microbiological studies of the developed products. T.V. Krapiva formalized the task and developed the data for the computer program. All co-authors wrote and proofread the manuscript.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Соколова О. Л. Обзор зарубежного опыта внедрения инноваций в сфере услуг индустрии питания // Индустрия питания. 2019. Т. 4. № 1. С. 72–80.
2. Русина Д. Ю., Воронова М. С., Воронов М. П. Ориентация на потребителя – принцип всеобщего управления качеством // Научное обозрение. Экономические науки. 2018. № 2. С. 11–17.
3. Nutritional hazard analysis and critical control points at work (NACCPW): interdisciplinary assessment of subjective and metabolic work-related risk of the workers and their prevention / L. Di Lorenzo [et al.] // International Journal of Food Sciences and Nutrition. 2020. Vol. 71. № 7. P. 902–908. <https://doi.org/10.1080/09637486.2020.1750572>.
4. Фомин А. А., Михайлина Е. И. Анализ основных рынков продовольствия в условиях распространения коронавируса COVID-2019 и перспективы выхода из кризиса // Московский экономический журнал. 2020. № 5. С. 360–367. <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2020-10364>.
5. Шуракова Н. Н. Мировой продовольственный рынок в период COVID-19 // Российский внешнеэкономический вестник. 2020. № 8. С. 111–119.
6. Политковская И. В., Ткачева М. С., Баландина В. В. Состояние и развитие потенциала предприятий общественного питания в условиях пандемии коронавируса // Экономика и бизнес: теория и практика. 2020. Т. 70. № 12–2. С. 220–225. <https://doi.org/10.24411/2411-0450-2020-11109>.
7. Mayurnikova L. A., Koksharov A. A., Krapiva T. V. Food safety practices in catering during the coronavirus COVID-19 pandemic // Foods and Raw Materials. 2020. Vol. 8. № 2. P. 197–203. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-197-203>.
8. Карамнова Н. С., Драпкина О. М. COVID-19 и питание: новые акценты, прежние приоритеты (обзор рекомендаций) // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2020. Т. 19. № 3. С. 327–330. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2020-2576>.
9. Возможности регулирования стресспротекторных свойств продуктов питания для повышения иммунитета организма человека в условиях пандемии COVID-19 / Н. В. Науменко [и др.] // Человек. Спорт. Медицина. 2020. Т. 20. № S1. С. 116–127. <https://doi.org/10.14529/hsm20s115>.
10. Диетическая коррекция нарушений пищеварения и функций желудочно-кишечного тракта после длительной самоизоляции и карантина, а также пациентов с SARS-CoV-2 в периоде реабилитации / Т. Л. Пилат [и др.] // Медицинский совет. 2020. № 15. С. 146–152. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2020-15-146-152>.
11. Laviano A., Koverech A., Zanetti M. Nutrition support in the time of SARS-CoV-2 (COVID-19) // Nutrition. 2020. Vol. 74. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2020.110834>.
12. Emerging COVID-19 impacts, responses, and lessons for building resilience in the seafood system / D. C. Love [et al.] // Global Food Security. 2021. Vol. 28. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100494>.
13. Rodriguez Leyva D., Pierce G. N. The impact of nutrition on the COVID-19 pandemic and the impact of the COVID-19 pandemic on nutrition // Nutrients. 2021. Vol. 13. № 6. <https://doi.org/10.3390/nu13061752>.

14. Динамика инноваций в технологии производства пищевых продуктов: от специализации к персонализации / А. А. Кочеткова [и др.] // Вопросы питания. 2020. Т. 89. № 4. С. 233–243. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10056>.
15. Ожерельева А. В., Куракин М. С. Исследование предпочтений населения города Кемерово в отношении потребительских свойств продукции общественного питания // Техника и технология пищевых производств. 2017. Т. 46. № 3. С. 147–151.
16. Ожерельева А. В., Куракин М. С., Степанов С. В. Формирование потребительских свойств конкурентоспособной продукции общественного питания // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2018. Т. 51. № 4. С. 114–118.
17. Толкунова Н. Н. Математическое моделирование рецептуры сосисок // Мясная индустрия. 2004. № 10. С. 48–50.
18. Пашенко Л. П., Курчаева Е. Е., Бахмет М. П. Функциональные пищевые продукты на основе пищевой комбинаторики // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2012. Т. 326–327. № 2–3. С. 84–87.
19. Ивашкин Ю. А., Юдина С. Б., Никитина М. А. Информационные технологии проектирования и оценки качества пищевых продуктов направленного действия // Мясная индустрия. 2000. № 5. С. 40–41.
20. Расчет коэффициента обоснования необходимости разработки нового блюда для предприятий индустрии питания: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021615376 Российская Федерация. № 2021614677 / Ожерельева А. В. [и др.]; заявл. 07.04.2021; опубл. 07.04.2021.

References

1. Sokolova OL, Skopova LV. Innovations implementation foreign experience review in the services field of the food industry. *Food Industry*. 2019;4(1):72–80. (In Russ.).
2. Rusinova DYU, Voronova MS, Voronov MP. Consumer orientation – the principle of total quality management. *Scientific Review. Economic Sciences*. 2018;(2):11–17. (In Russ.).
3. Di Lorenzo L, Pipoli A, Manghisi NM, Clodoveo ML, Corbo F, De Pergola G, et al. Nutritional hazard analysis and critical control points at work (NACCPW): interdisciplinary assessment of subjective and metabolic work-related risk of the workers and their prevention. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2020;71(7):902–908. <https://doi.org/10.1080/09637486.2020.1750572>.
4. Fomin AA, Mikhailina EI. Analysis of the main food markets in the context of the spread of COVID-2019 coronavirus and prospects for overcoming the crisis. *Moscow Economic Journal*. 2020;(5):360–367. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2020-10364>.
5. Shurakova NN. Global food market during COVID-19. *Russian Foreign Economic Journal*. 2020;(8):111–119. (In Russ.).
6. Politkovskaya IV, Tkacheva MS, Balandina VV. State and development of the potential of public catering enterprises in the conditions of the coronavirus pandemic. *Economy and Business: Theory and Practice*. 2020;70(12–2):220–225. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2411-0450-2020-11109>.
7. Mayurnikova LA, Koksharov AA, Krapiva TV. Food safety practices in catering during the coronavirus COVID-19 pandemic. *Foods and Raw Materials*. 2020;8(2):197–203. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-197-203>.
8. Karamnova NS, Drapkina OM. COVID-19 and nutrition: new emphases, old priorities (review of guidelines). *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2020;19(3):327–330. (In Russ.). <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2020-2576>.
9. Naumenko NV, Potoroko IYu, Kalinina IV, Nenasheva AV, Botvinnikova VV. Possibilities of regulating stress-protective activity of food products to improve immunity under the conditions of the COVID-19 pandemic. *Human. Sport. Medicine*. 2020;20(S1):116–127. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm20s115>.
10. Pilat TL, Radysh IV, Surovtsev VV, Korosteleva MM, Khanferyan RA. Dietary management of digestive and gastrointestinal disorders after long-term self-isolation and lockdown as well as patients with SARS-CoV-2 during the rehabilitation period. *Medical Council*. 2020;(15):146–152. (In Russ.). <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2020-15-146-152>.
11. Laviano A, Koverech A, Zanetti M. Nutrition support in the time of SARS-CoV-2 (COVID-19). *Nutrition*. 2020;74. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2020.110834>.
12. Love DC, Allison EH, Asche F, Belton B, Cottrell RS, Froehlich HE, et al. Emerging COVID-19 impacts, responses, and lessons for building resilience in the seafood system. *Global Food Security*. 2021;28. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100494>.
13. Rodriguez Leyva D, Pierce GN. The impact of nutrition on the COVID-19 pandemic and the impact of the COVID-19 pandemic on nutrition. *Nutrients*. 2021;13(6). <https://doi.org/10.3390/nu13061752>.
14. Kochetkova AA, Vorobyeva VM, Sarkisyan VA, Vorobyeva IS, Smirnova EA, Shatnyuk LN. Dynamics of innovations in food technologies: from specialization to personalization. *Problems of Nutrition*. 2020;89(4):233–243. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10056>.
15. Ozherel'eva AV, Kurakin MS. The study of preferences of inhabitants of the city of Kemerovo as far as consumer properties of products of public catering is concerned. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2017;46(3):147–151. (In Russ.).

16. Ozhereleva AV, Kurakin M, Stepanov SV. Formation of consumer properties of competitive products of public catering. *Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff*. 2018;51(4):114–118. (In Russ.).
17. Tolkunova NN. Matematicheskoe modelirovanie retseptury sosisek [Mathematical modeling of sausage formulations]. *Meat Industry*. 2004;(10):48–50. (In Russ.).
18. Paschenko LP, Kurchaeva EE, Bachmet MP. Functional food products on basis of combinatorial analysis. *News of Institutes of Higher Education. Food Technology*. 2012;326–327(2–3):84–87. (In Russ.).
19. Ivashkin YuA, Yudina SB, Nikitina MA. Informatsionnye tekhnologii proektirovaniya i otsenki kachestva pishchevykh produktov napravlenno deystviya [IT for the design and quality assessment of functional foods]. *Meat Industry*. 2000;(5):40–41. (In Russ.).
20. Ozherel'eva AV, Krapiva TV, Nishanova OV, Kurakin MS. Raschet koefitsienta obosnovaniya neobkhodimosti razrabotki novogo blyuda dlya predpriyatiy industrii pitaniya [Calculation of the coefficient of justifying the need to develop a new dish for food industry enterprises]. Computer program certificate of state registration No. 2021615376. 2021.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-449-457>
УДК 663.256

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Влияние спиртового и яблочно-молочного брожения на содержание биогенных аминов в винах



Н. М. Агеева^{ORCID}, А. А. Ширшова*^{ORCID}, А. Н. Тихонова^{ORCID}

Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства,
виноградарства, виноделия^{ORCID}, Краснодар, Россия

Поступила в редакцию: 19.05.2021

Принята после рецензирования: 20.06.2021

Принята в печать: 15.07.2021



*e-mail: anastasiya_1987@inbox.ru

© Н. М. Агеева, А. А. Ширшова, А. Н. Тихонова, 2021

Аннотация.

Введение. Важным показателем безопасности пищевой продукции является концентрация биогенных аминов. В виноградных винах их концентрация варьируется в зависимости от сорта винограда, его микробиологического состояния, технологии переработки, расы дрожжей, штаммов молочнокислых бактерий, условий спиртового и яблочно-молочного брожения и др. Цель работы – установить влияние технологии производства столовых сухих белых и красных вин на концентрацию биогенных аминов.

Объекты и методы исследования. Массовую концентрацию биогенных аминов определяли методом высокоэффективного капиллярного электрофореза на высокоточном приборе Капель 105Р в столовых сухих белых виноматериалах из сорта винограда «Шардоне» и столовых сухих красных виноматериалах из сорта винограда «Каберне-Совиньон», приготовленных в лабораторных условиях.

Результаты и их обсуждение. В столовом сухом белом вине в больших концентрациях обнаружены тирамин (1,12 мг/дм³), фенилэтиламин (0,58 мг/дм³) и гистамин (0,57 мг/дм³), в красном – тирамин (0,62 мг/дм³), гистамин (0,45 мг/дм³), путресцин (0,43 мг/дм³) и кадаверин (0,38 мг/дм³). На примере столового сухого белого вина установлены оптимальные значения pH (3,2–3,6), при которых отмечено минимальное образование биогенных аминов. В столовых красных сухих винах, полученных по схеме с термической обработкой мезги, концентрация биогенных аминов была меньше (особенно летучих биогенных аминов – метиламина и фенилэтиламина) в сравнении с белыми винами. Наибольшее образование биогенных аминов отмечено во время процесса кислотопонижения за счет активности ферментов яблочно-молочных бактерий, под действием которых происходило образование биогенных аминов в результате декарбоксилирования аминокислот.

Выводы. Установлено влияние технологии производства столовых сухих белых и красных вин на концентрацию биогенных аминов. Для снижения уровня биогенных аминов в готовой продукции необходимо контролировать каждый этап винификации и уделять внимание выбору расы дрожжей и молочнокислых бактерий, неспособных продуцировать биогенные амины или интродуцировать их в минимальных количествах, а также контролировать условия процессов брожения и кислотопонижения (температуру и pH).

Ключевые слова. Амины, виноматериалы, алкогольные напитки, аминокислоты, брожение, pH

Финансирование. Работа выполнена на базе научного центра «Виноделие» и центра коллективного пользования технологичным оборудованием Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. Исследование выполнено в рамках госзадания Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия (СКФНЦСВВ)^{ORCID}.

Для цитирования: Агеева Н. М., Ширшова А. А., Тихонова А. Н. Влияние спиртового и яблочно-молочного брожения на содержание биогенных аминов в винах // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 449–457. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-449-457>.

Original article

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

Influence of Alcoholic and Malolactic Fermentation on the Level of Biogenic Amines in Wine

Natalia M. Ageyeva^{ORCID}, Anastasia A. Shirshova*^{ORCID}, Anastasia N. Tikhonova^{ORCID}

North-Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture and Winemaking^{ROR}, Krasnodar, Russia

Received: May 19, 2021

Accepted in revised form: June 20, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021



*e-mail: anastasiya_1987@inbox.ru

© N.M. Ageyeva, A.A. Shirshova, A.N. Tikhonova, 2021

Abstract.

Introduction. The concentration of biogenic amines is an important indicator of the safety of food products, especially winemaking. In grape wines, this concentration varies widely depending on the grape variety, its microbiological state, processing technology, the race of yeast and bacteria of malolactic fermentation, conditions of alcoholic and malolactic fermentation, etc. This research is aimed at determining the effect of the production technology of dry white and red wines on the concentration of biogenic amines.

Study objects and methods. The mass concentration of biogenic amines was determined by the method of high-performance capillary electrophoresis using a Kapel 105R in laboratory-obtained samples of dry white wine from the Chardonnay grape variety and table dry red wine from the Cabernet-Sauvignon grape variety.

Results and discussion. The dry white wine samples revealed high concentrations of tyramine (1.12 mg/dm³), phenylethylamine (0.58 mg/dm³), and histamine (0.57 mg/dm³), while the red wine samples demonstrated tyramine (0.62 mg/dm³), histamine (0.45 mg/dm³), putrescine (0.43 mg/dm³), and cadaverine (0.38 mg/dm³). The white wine samples had optimal pH values (3.2–3.6) with minimal formation of biogenic amines. The red wine samples, especially those obtained by heat treatment, had a lower concentration of biogenic amines, especially volatile biogenic amines, i.e. methylamine and phenylethylamine. The greatest formation of biogenic amines occurred during the acid reduction process: under the effect of enzymes of malolactic bacteria, biogenic amines formed as a result of decarboxylation of amino acids.

Conclusion. The technology of production of table dry white and red wines affects the concentration of biogenic amines. To reduce the level of biogenic amines in the finished product, each stage of vinification has to be controlled, especially the stages of fermentation and acid reduction (temperature and pH). The race of yeast and lactic acid bacteria cannot include those that produce biogenic amines or introduce them in minimal quantities.

Keywords. Amines, wine materials, alcohol beverages, amino acids, fermentation, pH

Funding. The research was performed on the basis of the scientific center “Winemaking” and center for collective use of technological equipment North-Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture and Winemaking. The study was financially supported the state task of the North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, and Wine-Making (NCFSCHVW)^{ROR}.

For citation: Ageyeva NM, Shirshova AA, Tikhonova AN. Influence of Alcoholic and Malolactic Fermentation on the Level of Biogenic Amines in Wine. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):449–457. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-449-457>.

Введение

Биогенные амины – это азотсодержащие соединения с низкой молекулярной массой, обладающие биологической активностью и образующиеся путем декарбоксилирования аминокислот и/или трансминирования альдегидов и кетонов во время нормальных метаболических процессов в живых клетках. Они обнаруживаются в различных биологических объектах – животных и растительных. Их образование связано с жизнедеятельностью микроорганизмов и инициируемые ими биохимическими процессами. К числу таких процессов относятся протекающие в производстве вин спиртовое и яблочно-молочное брожение, а также уксуснокислое скисание, свидетельствующее о порче винодельческой продукции. В винах идентифицированы тирамин, триптамин, этиламин, метиламин, н-бутиламин, диэтиламин, путресцин, гистамин, кадаверин, фенилэтиламин в концентрациях до 30 мг/дм³. При

этом в красных винах его количество намного больше, чем в белых [1–4]. В пиве амины присутствуют в количестве 8–30 мг/дм³, а в инфицированном пиве и в пиве в конце срока годности их содержание гораздо выше (до 150 мг/дм³) [5]. Употребление напитков, содержащих биогенные амины, оказывает вредное воздействие на организм человека из-за ингибирования алкоголем ферментов, расщепляющих биогенные амины (преимущественно аминоксидазы) [6]. Практически все продукты питания, которые содержат белки или свободные аминокислоты, являются благоприятной средой для образования биогенных аминов. В неферментированных пищевых продуктах наличие биогенных аминов рассматривается как маркер качества, поскольку их присутствие свидетельствует о нежелательной активности микроорганизмов и нарушении технологии производства продукта. В связи с этим, согласно Регламенту комиссии ЕС №2073/2005 от 15 ноября 2005 г. о микробиологических показателях для

пищевых продуктов, концентрация суммы биогенных аминов в некоторых пищевых продуктах нормируется [7, 8]. В России в винодельческой продукции концентрация биогенных аминов не нормируется. Тем временем некоторые страны установили максимально предельные значения содержания гистамина в вине: в Германии – 2 мг/дм³, в Бельгии – 6 мг/дм³, в Швейцарии и Австрии – 10 мг/дм³, во Франции – 8 мг/дм³, в Голландии – 4 мг/дм³ [1, 4]. Максимальным пределом содержания суммы биогенных аминов, безопасным для потребителей, считают 10 мг/дм³.

Концентрация биогенных аминов в виноградных винах варьируется в широких пределах в зависимости от сорта винограда и его микробиологического состояния: агротехнических приемов возделывания виноградной лозы, технологии переработки, pH среды, расы дрожжей, бактерий, условий яблочно-молочного брожения и т. п. [2, 3, 9, 10]. Считается, что накопление биогенных аминов в красных винах больше, чем у белых, из-за инактивации процессов декарбоксилирования фенольными соединениями аминокислот [4, 9, 11, 12]. Однако имеются данные о высоких концентрациях биогенных аминов в белых винах. Например, в хересах [13].

Биогенные амины – продукты декарбоксилирования соответствующих аминокислот. Их концентрация зависит не только от количества аминокислот, но и от активности ферментов – декарбоксилаз аминокислот – гистидиндекарбоксилазы, тираминдекарбоксилазы, путресциндекарбоксилазы, кадавериндекарбоксилазы, метиламиндекарбоксилазы и т. п., имеющих микробиальное происхождение и обладающих высокой активностью в кислых средах [14, 15]. В виноградных винах встречаются гистамин, тирамин, фенилэтиламин. Кадаверин образуется из лизина, путресцин – из орнитина, агматин – из аргинина, гистамин – из гистидина, тирамин – из тирозина, фенилэтиламин – из фенилаланина и т. п. Следовательно, технологические процессы, приводящие к повышению концентрации аминокислот, могут спровоцировать образование биогенных аминов. К таким процессам можно отнести спиртовое и яблочно-молочное брожение, дображивание и батонаж. При их проведении имеет место продолжительный контакт виноматериалов с микроорганизмами – дрожжами и молочнокислыми бактериями [15]. Яблочно-молочное брожение при высоких концентрациях яблочной кислоты в виноматериалах часто применяют с целью снижения уровня кислотности и повышения розливостойкости готовой продукции. Биологическое кислотопонижение проводят с помощью штаммов молочнокислых бактерий [16].

Целью работы стало установление влияния технологии производства столовых сухих белых и красных виноматериалов на концентрацию биогенных аминов.

Объекты и методы исследования

Концентрацию биогенных аминов определяли в столовых сухих белых виноматериалах из сорта винограда «Шардоне» на стадиях забраживания и активного брожения, по окончании спиртового брожения, после контакта виноматериала с дрожжевой биомассой в течение 30 и 60 суток, по завершении процесса биологического кислотопонижения (яблочно-молочного брожения). Сбраживание виноградного сусла сорта «Шардоне» проводили с использованием расы дрожжей Оеноферм LW 317-28 рода *Saccharomyces cerevisiae* (ERBSLOEN Geisenheim Getraenketechnologie). Для проведения яблочно-молочного брожения применяли штамм бактерий Инобактер (Франция, институт энологии Шампани) – специально селекционированный высокоактивный штамм рода *Oenococcus oeni*.

Столовые сухие красные виноматериалы из сорта винограда «Каберне-Совиньон» готовили по двум схемам. Согласно первой схеме виноград дробили с отделением гребней, полученную мезгу сбраживали дрожжами расы Каберне 5 (Россия) рода *S. cerevisiae*. По второй схеме мезгу винограда нагревали до температуры 50–55 °С, выдерживали при этой температуре 2 ч, после чего ее прессовали с помощью пневматического пресса. Полученное сусло сбраживали дрожжами расы Каберне 5 рода *S. cerevisiae*.

Массовую концентрацию биогенных аминов определяли методом высокoeffективного капиллярного электрофореза [17]. Метод базируется на разделении и количественном определении биогенных аминов с помощью твердофазной экстракции на патронах C18 и идентификации в растворе элюента с помощью метода капиллярного электрофореза на высокоточном приборе Капель 105Р. Прибор оборудован кварцевым капилляром эффективной длиной 50 см и внутренним диаметром 75 мкм; фотометрическим детектором, работающим при длине волны 254 нм, со следующими характеристиками: регулируемый источник высокого напряжения положительной полярности 3–25 кВ; пневматический и электрический ввод пробы; принудительное воздушное охлаждение капилляра. Определение биогенных аминов в пробе проводили путем пневматического дозирования проб (30 мБар, 10 с) и регистрации полученных данных в течение 10 мин в виде электрофореграмм. Диапазон измерений массовых концентраций биогенных аминов (путресцин, метиламин, кадаверин, этиламин, этаноламин, пирролидин, пропиламин, изопропиламин, изобутиламин, изоамиламин, фенилэтиламин) составляет от 0,1 до 50 мг/дм³ включительно.

Результаты и их обсуждение

В виноградном сусле, находившемся на

Таблица 1. Влияние технологии столового сухого белого вина на концентрацию биогенных аминов

Table 1. Effect of technology on the concentration of biogenic amines in dry white wine

Этап технологии	Концентрация биогенных аминов, мг/дм ³					
	Гистамин	Тирамин	Метиламин	Кадаверин	Путресцин	Фенилэтиламин
1. Брожение сула						
– забраживание	0,12	0,14	нет	0,03	нет	0,04
– активное брожение	0,27	0,35	0,08	0,08	нет	0,12
2. Дображивание молодого вина	0,32	0,44	0,15	0,12	0,08	0,24
3. Выдержка на дрожжевом осадке (1 месяц)						
– без перемешивания	0,36	0,56	0,23	0,14	0,16	0,34
– с перемешиванием	0,31	0,55	0,20	0,16	0,14	0,36
4. Выдержка на дрожжевом осадке (2 месяца)						
– без перемешивания	0,45	0,73	0,34	0,23	0,27	0,43
– с перемешиванием	0,38	0,78	0,32	0,19	0,22	0,40
5. Яблочно-молочное брожение	0,57	1,12	0,44	0,27	0,33	0,58

стадии забраживания, т. е. на той стадии, когда происходила активация ферментных систем дрожжей, биогенные амины присутствовали в минимальных количествах (табл. 1). Это позволило считать, что на ягодах винограда, поступившего на переработку, отсутствовали в достаточном количестве микроорганизмы, способные трансформировать аминокислоты до биогенных аминов. По мере сбраживания сахаров до 40–45 г/дм³ (активное брожение) отмечалось постепенное увеличение концентрации всех исследованных биогенных аминов (наибольшее гистамина и тирамина). Это свидетельствовало об активации декарбоксилаз винных дрожжей.

Дальнейшие исследования показали, что при дображивании увеличивалась концентрация всех исследованных биогенных аминов, в том числе и летучих, особенно тирамина, гистамина, кадаверина и фенилэтиламина. Это можно объяснить тем, что при дображивании вина, когда концентрация сахаров имела низкие значения (около 30–40 г/дм³), большая часть дрожжевых клеток находилась в стационарной стадии развития, т. е. размножение дрожжей практически прекращалось. Другая часть клеток автолизировалась, т. е. отдельные компоненты клетки расщеплялись под действием различных ферментов, освободившихся в результате распада клеточных мембран. При этом активировались массообменные процессы между клеткой и средой, приводящие к обогащению виноматериала аминокислотами и другими азотистыми веществами, фосфорными соединениями, липидами, полисахаридами, ароматообразующими веществами. Тем самым создались благоприятные условия для активации декарбоксилаз. Согласно ранее проведенным исследованиям концентрация сахара

в среде может влиять на активность декарбоксилазы [13, 15]. Недостаток сахаров обуславливает продукцию биогенных аминов, а избыток глюкозы и фруктозы ингибирует образование гистамина. Эта ассоциация может быть объяснена тем, что система транспорта декарбоксилатного пути обеспечивает метаболическую энергию.

Выдержка виноматериалов на дрожжевом осадке (ботанаж) – это технологический прием, который часто используется в технологии белых вин. Его применение позволяет получить вина с наилучшими органолептическими характеристиками: сложным, глубоким, длительным ароматом, сливочными оттенками во вкусе и плотной структурой. При дальнейшем контакте виноматериала с дрожжевым осадком наблюдалось увеличение концентрации биогенных аминов. Большая часть дрожжевых клеток переходила в стадию автолиза. В результате аминокислоты секретировались из дрожжевой клетки в среду и подвергались декарбоксилированию до биогенных аминов. С увеличением продолжительности контакта дрожжевого осадка и виноматериала с одного до двух месяцев тенденция увеличения концентрации биогенных аминов сохранялась.

Перемешивание дрожжевых осадков с виноматериалом не оказало существенного влияния на концентрацию биогенных аминов. Однако отмечено снижение содержания метиламина, путресцина и фенилэтиламина. Возросла концентрация гистамина. Это свидетельствует о том, что перемешивание активирует другие биохимические процессы, связанные с аминокислотами. Например, их дезаминирование и даже переаминирование, способствовавшие снижению активности декарбоксилаз за исключением гистидиндекарбоксилазы [18].

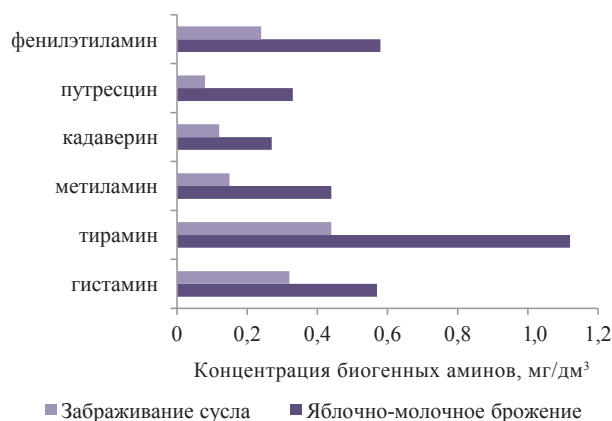


Рисунок 1. Изменение концентрации биогенных аминов в столовом сухом белом виноматериале в результате яблочно-молочного брожения

Figure 1. Effect of malolactic fermentation on the concentration of biogenic amines in dry white wine

Малолактическая ферментация или яблочно-молочное брожение – это технологический процесс, при котором под действием ферментных систем молочнокислых бактерий яблочная кислота, которая в высоких концентрациях придает винам излишнюю свежесть, превращается в молочную кислоту, имеющую меньшую кислотность. Проведение яблочно-молочного брожения приводило к дальнейшему увеличению концентрации биогенных аминов в белом столовом вине (рис. 1). В сравнении с «молодым» вином, полученным в результате дображивания, концентрация гистамина после яблочно-молочного брожения увеличилась в 1,6 раза, тирамина – в 8 раз, металамина – в 2,9 раза, кадаверина – в 2,3 раза, путресцина – в 4,1 раза, фенилэтиламина – в 2,4 раза.

Активность декарбоксилаз аминокислот зависит от pH среды [15, 19]. В связи с этим был проведен эксперимент, целью которого стало установление влияния pH среды на образование биогенных аминов при яблочно-молочном брожении. Величину pH вина изменяли в диапазоне от 2,8 до 4,8. Для этого в исходное вино (контроль – pH 3,3) добавляли растворы винной кислоты или гидроокиси натрия соответственно. Затем в вино вносили активные бактерии яблочно-молочного брожения штамма Инобактер в одинаковом количестве. В процессе и по завершении яблочно-молочного брожения (снижение концентрации яблочной кислоты до необходимого количества) контролировали изменение концентрации биогенных аминов.

Анализ экспериментальных данных показал, что в процессе адаптации бактерий и в начале яблочно-молочного брожения (3–4 суток) концентрация

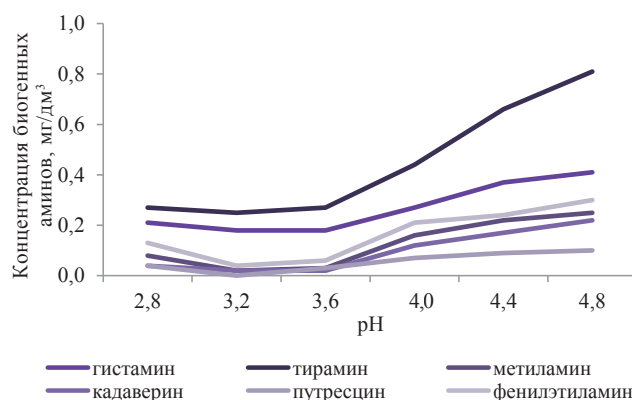


Рисунок 2. Влияние pH столового сухого белого вина на концентрацию биогенных аминов

Figure 2. Effect of pH on the concentration of biogenic amines in dry white wine

биогенных аминов в вине практически не изменялась или уменьшалась даже при высоких значениях pH. Это свидетельствует о том, что бактерии или потребляют биогенные амины (особенно метиламин, фенилэтиламин), или трансформируют их до других соединений. На 7–8-е сутки отмечался рост концентрации тирамина и гистамина. В вариантах с pH выше 4,0 увеличивалась концентрация гистамина. На 11–12-е сутки яблочно-молочного брожения отмечен рост концентрации практически всех биогенных аминов независимо от величины pH.

В результате проведенных исследований (рис. 2) установлено, что с увеличением величины pH отмечается рост концентраций всех изучаемых биогенных аминов: гистамина – в 2,3 раза, тирамина и металамина – в 3,8 раза, кадаверина – в 6 раз, путресцина – в 3,5 раза, фенилэтиламина – в 2,8 раза. При pH 2,8 отмечено увеличение всех биогенных аминов (особенно фенилэтиламина), т. е. активность декарбоксилаз ферментных систем малолактических бактерий увеличивалась в сравнении с контролем (pH 3,3).

Полученные результаты можно объяснить различными причинами. Спецификой бактерий яблочно-молочного брожения является рост накопления биомассы с увеличением pH. Таким образом, в менее кислых винах создаются условия для активации ферментативных процессов, связанных с декарбоксилированием аминокислот и увеличением количества биогенных аминов. Это согласуется с данными, в которых биосинтез декарбоксилаз максимален в слабокислых средах, когда большая часть яблочной кислоты превращается в менее кислую молочную кислоту [20].

С красными виноматериалами, приготовленными по двум схемам, были проведены аналогичные

Таблица 2. Влияние технологии столового сухого красного вина концентрацию биогенных аминов

Table 2. Effect of technology on the concentration of biogenic amines in dry red wine

Этап технологии	Концентрация биогенных аминов, мг/дм ³					
	Гистамин	Тирамин	Метиламин	Кадаверин	Путресцин	Фенилэтиламин
Схема 1 – брожение мезги, сумма фенольных веществ 3750 мг/дм ³						
1. Брожение мезги						
– забраживание	0,08	0,08	нет	0,05	0,04	нет
– активное брожение	0,22	0,34	0,08	0,17	0,12	0,06
2. Дображивание молодого вина	0,27	0,48	0,10	0,23	0,16	0,14
3. Выдержка на дрожжевом осадке (1 месяц)	0,32	0,57	0,15	0,27	0,18	0,21
4. Выдержка на дрожжевом осадке (2 месяца)	0,38	0,62	0,25	0,31	0,33	0,33
5. Яблочно-молочное брожение	0,58	0,83	0,47	0,51	0,47	0,53
Схема 2 – брожение суслу, сумма фенольных веществ 3430 мг/дм ³						
1. Брожение суслу						
– забраживание	0,02	0,12	нет	0,02	0,02	нет
– активное брожение	0,13	0,28	0,12	0,10	0,10	0,06
2. Дображивание молодого вина	0,15	0,30	0,08	0,12	0,16	0,10
3. Выдержка на дрожжевом осадке (1 месяц)	0,18	0,35	нет	0,27	0,18	0,07
4. Выдержка на дрожжевом осадке (2 месяца)	0,38	0,44	нет	0,31	0,33	0,03
5. Яблочно-молочное брожение	0,45	0,62	0,07	0,38	0,43	0,12

эксперименты (табл. 2). Различия в схемах опыта заключались в том, что по второй схеме мезгу винограда нагревали до температуры 50–55 °С и выдерживали при этой температуре 2 ч.

Полученные результаты показали, что в красных винах (в том числе полученных по схеме с термической обработкой мезги) концентрация биогенных аминов была меньше (особенно летучих биогенных аминов – метиламина и фенилэтиламина), чем у белых. Это связано с инактивацией декарбоксилаз микроорганизмов фенольными соединениями красных вин. В виноматериале, в котором сумма фенольных веществ была больше (3750 мг/дм³), отмечена высокая концентрация биогенных аминов.

По нашему мнению, концентрация фенольных соединений в вине не является главным фактором, влияющим на концентрацию биогенных аминов, т. к. в варианте с термовинификацией мезги содержание суммы фенольных соединений было несколько меньше по сравнению с брожением мезги по классической технологии. Определяющим фактором является большее количество микроорганизмов, присутствовавших в среде при брожении мезги без термовинификации. Кроме дрожжей, в ферментации могли принимать участие и другие микроорганизмы, находившиеся в мезге, в том числе молочнокислые бактерии различных видов и родов, постоянно присутствующие на поверхности виноградной ягоды. Например, *Lactobacillus*, *Leuconostoc oenos*

и др., способные продуцировать биогенные амины, особенно тирамин [21–24].

Применение термической обработки мезги способствовало инактивации микроорганизмов, в том числе их ферментных систем, ответственных за протекание процессов трансформации аминокислот, и массовому отмиранию дрожжевых клеток, находящихся на поверхности винограда. Это и привело к снижению концентрации биогенных аминов в варианте опыта с красным вином с термовинификацией.

Выводы

Проведенные исследования показали, что концентрация биогенных аминов увеличивалась после спиртового и яблочно-молочного брожения (в большей степени). Во время спиртового брожения содержание биогенных аминов варьировалось в зависимости от количества фенольных веществ в бродящей мезге, процесса термовинификации, продолжительности контакта виноматериала и дрожжевого осадка, pH среды. Установлены оптимальные значения pH, при которых отмечено минимальное содержание биогенных аминов (3,2–3,6). Среди изученных биогенных аминов в белом вине в больших концентрациях присутствовали тирамин, фенилэтиламин, гистамин, в красном – тирамин, гистамин, путресцин, кадаверин. Наибольшее образование биогенных аминов отмечено во время процесса кислотопонижения за счет активности

ферментов яблочно-молочных бактерий, под действием которых и происходило образование биогенных аминов в результате декарбоксилирования аминокислот.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что для снижения уровня биогенных аминов в готовой продукции необходимо контролировать каждый этап винификации и уделять внимание выбору расы дрожжей и молочнокислых бактерий, неспособных продуцировать биогенные амины или интродуцировать их в минимальных количествах.

Критерии авторства

Н. М. Агеева – 50 %, А. А. Ширшова – 30 %, А. Н. Тихонова – 20 %.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам НЦ «Виноделия» и Ю. Ф. Якуба, руководителю Центра коллективного пользования технологичным оборудованием ФГБНУ СКФНЦСВВ за оказанную помощь при проведении анализов.

Contribution

N.M. Ageyeva – 50%, A.A. Shirshova – 30%, A.N. Tikhonova – 20%.

Conflict of interest

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

Acknowledgements

The authors express their gratitude to the researcher team of the Research Center “Winemaking” and to Yu.F. Yakuba, Head of the Resource Sharing Center of the North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, and Wine-making.

Список литературы

1. Morata A. Red wine technology. Madrid: Academic Press, 2019. 408 p. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-01326-5>.
2. Doeun D., Davaatseren M., Chung M.-S. Biogenic amines in foods // Food Science and Biotechnology. 2017. Vol. 26. № 6. P. 1463–1474. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0239-3>.
3. The dietary biogenic amines tyramine and histamine show synergistic toxicity towards intestinal cells in culture / B. del Rio [et al.] // Food Chemistry. 2017. Vol. 218. P. 249–255. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.046>.
4. An overview on biogenic amines in wine / A. Costantini [et al.] // Beverages. 2019. Vol. 5. № 1. <https://doi.org/10.3390/beverages5010019>.
5. Biogenic amines occurrence in beers produced in Czech microbreweries / E. Lorencová [et al.] // Food Control. 2020. Vol. 117. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107335>.
6. An altered gene expression profile in tyramine-exposed intestinal cell cultures supports the genotoxicity of this biogenic amine at dietary concentrations / B. del Rio [et al.] // Scientific Reports. 2018. Vol. 8. № 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35125-9>.
7. Saad B., Tofalo R. Biogenic amines in food: Analysis, occurrence and toxicity. Croydon: Royal Society of Chemistry, 2019. 343 p. <https://doi.org/10.1039/9781788015813>.
8. Ruiz-Capillas C., Herrero A. M. Impact of biogenic amines on food quality and safety // Foods. 2019. Vol. 8. № 2. <https://doi.org/10.3390/foods8020062>.
9. The content of biogenic amines in croatian wines of different geographical origins / I. Mitar [et al.] // Molecules. 2018. Vol. 23. № 10. <https://doi.org/10.3390/molecules23102570>.
10. Wüthrich B. Allergic and intolerance reactions to wine // Allergologie. 2011. Vol. 34. № 8. P. 427–436.
11. Occurrence of ochratoxin A and biogenic amines in Croatian commercial red wines / P. Žurga [et al.] // Foods. 2019. Vol. 8. № 8. <https://doi.org/10.3390/foods8080348>.
12. The impact of cultivar on polyphenol and biogenic amine profiles in Calabrian red grapes during winemaking / D. Restuccia [et al.] // Food Research International. 2017. Vol. 102. P. 303–312. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.012>.
13. Biogenic amines and other polar compounds in long aged oxidized Vernaccia di Oristano white wines / C. I. G. Tuberoso [et al.] // Food Research International. 2018. Vol. 111. P. 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.020>.
14. Biogenic amine contents and microbial characteristics of Cambodian fermented foods / D. Ly [et al.] // Foods. 2020. Vol. 9. № 2. <https://doi.org/10.3390/foods9020198>.
15. Vilela A. Non-*Saccharomyces* yeasts and organic wines fermentation: Implications on human health // Fermentation. 2020. Vol. 6. № 2. <https://doi.org/10.3390/fermentation6020054>.
16. Assessment of biogenic amines profile in ciders from the Central Europe region as affected by storage time / E. Lorencová [et al.] // Food Bioscience. 2021. Vol. 41. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100957>.

17. Методы идентификации биогенных аминов в пищевых продуктах / Е. В. Кушнерева [и др.] // Стратегические вопросы мировой науки. 2012. Т. 27. С. 15–18.
18. Evaluation of biogenic amines profile in opened wine bottles: Effect of storage conditions / J. L. Ordóñez [et al.] // *Journal of Food Composition and Analysis*. 2017. Vol. 63. P. 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.07.042>.
19. Proestos C. *Biogenic Amines*. London: Intech Open, 2019. 88 p. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75221>.
20. Restuccia D., Loizzio M. R., Spizzirri U. G. Accumulation of biogenic amines in wine: Role of alcoholic and malolactic fermentation // *Fermentation*. 2018. Vol. 4. № 1. <https://doi.org/10.3390/fermentation4010006>.
21. Ozogul F., Hamed I. The importance of lactic acid bacteria for the prevention of bacterial growth and their biogenic amines formation: A review // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2018. Vol. 58. № 10. P. 1660–1670. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1277972>.
22. Chemical hazards in grapes and wine, climate change and challenges to face / C. Ubeda [et al.] // *Food Chemistry*. 2020. Vol. 314. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126222>.
23. Biogenic amines and the antioxidant capacity of juice and wine from brazilian hybrid grapevines / H. Gomez [et al.] // *Plant Foods for Human Nutrition*. 2020. Vol. 75. № 2. P. 258–624. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00811-5>.
24. Impact of using organic yeast in the fermentation process of wine / B. Nagy [et al.] // *Processes*. 2021. Vol. 9. № 1. <https://doi.org/10.3390/pr9010155>.

References

1. Morata A. *Red wine technology*. Madrid: Academic Press; 2019. 408 p. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-01326-5>.
2. Doeun D, Davaatseren M, Chung M-S. Biogenic amines in foods. *Food Science and Biotechnology*. 2017;26(6):1463–1474. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0239-3>.
3. del Rio B, Redruello B, Linares DM, Ladero V, Fernandez M, Martin MC, et al. The dietary biogenic amines tyramine and histamine show synergistic toxicity towards intestinal cells in culture. *Food Chemistry*. 2017;218:249–255. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.046>.
4. Costantini A, Vaudano E, Pulcini L, Carafa T, Garcia-Moruno E. An overview on biogenic amines in wine. *Beverages*. 2019;5(1). <https://doi.org/10.3390/beverages5010019>.
5. Lorencová E, Salek RN, Cernikova M, Bunkova L, Hylkova A, Bunka F. Biogenic amines occurrence in beers produced in Czech microbreweries. *Food Control*. 2020. Vol. 117. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107335>.
6. del Rio B, Redruello B, Ladero V, Cal S, Obaya AJ, Alvarez MA. An altered gene expression profile in tyramine-exposed intestinal cell cultures supports the genotoxicity of this biogenic amine at dietary concentrations. *Scientific Reports*. 2018;8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35125-9>.
7. Saad B, Tofalo R. *Biogenic amines in food: Analysis, occurrence and toxicity*. Croydon: Royal Society of Chemistry; 2019. 343 p. <https://doi.org/10.1039/9781788015813>.
8. Ruiz-Capillas C, Herrero AM. Impact of biogenic amines on food quality and safety. *Foods*. 2019;8(2). <https://doi.org/10.3390/foods8020062>.
9. Mitar I, Ljubenkov I, Rohtek N, Prkic A, Andelic I, Vuletic N. The content of biogenic amines in croatian wines of different geographical origins. *Molecules*. 2018;23(10). <https://doi.org/10.3390/molecules23102570>.
10. Wüthrich B. Allergic and intolerance reactions to wine. *Allergologie*. 2011;34(8):427–436.
11. Žurga P, Vahcic N, Paskovic I, Banovic M, Staver MM. Occurrence of ochratoxin A and biogenic amines in Croatian commercial red wines. *Foods*. 2019;8(8). <https://doi.org/10.3390/foods8080348>.
12. Restuccia D, Sicari V, Pellicano TM, Spizzirri UG, Loizzo MR. The impact of cultivar on polyphenol and biogenic amine profiles in Calabrian red grapes during winemaking. *Food Research International*. 2017;102:303–312. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.012>.
13. Tuberoso CIG, Serreli G, Montoro P, D'Urso G, Congiu F, Kowalczyk A. Biogenic amines and other polar compounds in long aged oxidized Vernaccia di Oristano white wines. *Food Research International*. 2018;111:97–103. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.020>.
14. Ly D, Mayrhofer S, Schmidt J-M, Zitz U, Domig KJ. Biogenic amine contents and microbial characteristics of Cambodian fermented foods. *Foods*. 2020;9(2). <https://doi.org/10.3390/foods9020198>.
15. Vilela A. Non-*Saccharomyces* yeasts and organic wines fermentation: Implications on human health. *Fermentation*. 2020;6(2). <https://doi.org/10.3390/fermentation6020054>.
16. Lorencová E, Salek RN, Bunkova L, Szczybrochova M, Cernikova M, Bunka F. Assessment of biogenic amines profile in ciders from the Central Europe region as affected by storage time. *Food Bioscience*. 2021;41. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100957>.
17. Kushnereva EV, Markovskiy MG, Guguchkina TI, Ageyeva NM. Metody identifikatsii biogennykh aminov v pishchevykh produktakh [Methods for the identification of biogenic amines in food]. *Strategicheskie voprosy mirovoy nauki* [Strategic Issues of World Science]. 2012;27:15–18. (In Russ.).

18. Ordóñez JL, Callejon RM, Troncoso AM, Garcia-Parrilla MC. Evaluation of biogenic amines profile in opened wine bottles: Effect of storage conditions. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2017;63:139–147. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.07.042>.
19. Proestos C. *Biogenic Amines*. London: Intech Open; 2019. 88 p. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75221>.
20. Restuccia D, Loizzio MR, Spizzirri UG. Accumulation of biogenic amines in wine: Role of alcoholic and malolactic fermentation. *Fermentation*. 2018;4(1). <https://doi.org/10.3390/fermentation4010006>.
21. Ozogul F, Hamed I. The importance of lactic acid bacteria for the prevention of bacterial growth and their biogenic amines formation: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2018;58(10):1660–1670. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1277972>.
22. Ubeda C, Hornedo-Ortega R, Cerezo AB, Garcia-Parrilla MC, Troncoso AM. Chemical hazards in grapes and wine, climate change and challenges to face. *Food Chemistry*. 2020;314. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126222>.
23. Gomez H, Marques MOM, Borges CV, Minatel IO, Monteiro GC, Ritschel PS, et al. Biogenic amines and the antioxidant capacity of juice and wine from brazilian hybrid grapevines. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2020;75(2):258–624. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00811-5>.
24. Nagy B, Varga Z, Matolcsi R, Kellner N, Sardy DN, Szovenyi A. Impact of using organic yeast in the fermentation process of wine. *Processes*. 2021;9(1). <https://doi.org/10.3390/pr9010155>.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-458-469>
УДК 664.1.03:577.15

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Улучшение технологических индикаторов полуфабрикатов производства сахара из бактериально инфицированной сахарной свеклы



Л. И. Беляева*, М. К. Пружин, А. В. Остапенко, В. Н. Гурова

Курский федеральный аграрный научный центр, Курск, Россия

Поступила в редакцию: 31.03.2021

Принята после рецензирования: 01.05.2021

Принята в печать: 15.07.2021



*e-mail: belyaeva_li@mail.ru

© Л. И. Беляева, М. К. Пружин, А. В. Остапенко, В. Н. Гурова, 2021

Аннотация.

Введение. Технологические вспомогательные средства играют особую роль в технологии сахара, но результативность их комплексного применения требует всестороннего и глубокого изучения. Цель исследования – установление закономерностей изменения технологических индикаторов полуфабрикатов, полученных из бактериально инфицированной сахарной свеклы при совместном применении ферментного препарата, антимикробного средства и пеногасителя.

Объекты и методы исследования. Полуфабрикаты сока (диффузионный, преддефекованный, первой и второй сатурации) и сиропа, качество которых определяли по общепринятым методикам. Лабораторный опыт проводили на основе D-оптимального плана Бокса-Бенкена 2-го порядка для трех факторов на трех уровнях варьирования.

Результаты и их обсуждение. Выявлена положительная динамика улучшения технологических индикаторов (содержание сахарозы, скорость осаждения, мутность, цветность, общий эффект очистки) полуфабрикатов известково-углекислотной очистки и сгущения очищенного сока при совместном применении ферментного препарата Декстрасепт 2, антимикробного средства Бетасепт и пеногасителя Волтес ФСС 93 в процессе экстрагирования сахарозы из сахарной свеклы второй степени инфицирования слизистым бактериозом. Увеличение сахарозы в полуфабрикатах на уровне 1,1 % к массе сухих веществ подтверждено высоким эффектом очистки диффузионного сока (на 2,2 абс. %). Величины мутности очищенного сока и сиропа ниже пороговых значений, обусловленные возрастанием скорости осаждения преддефекованного сока и сока первой сатурации в 4,1 и 3,2 раза соответственно за счет эффективного удаления высокомолекулярных соединений. Доля вклада ферментного препарата варьировала от 40 до 71 %, антимикробного средства – от 19 до 49 %, пеногасителя – от 1,6 до 6,5 %. Значения многокритериального параметра оптимизации соответствовали уровням технологических индикаторов «очень хорошо» и «хорошо». Совместное введение (на 1000 т свеклы) Декстрасепт 2 6–8 кг, Бетасепт 1,5–2,0 кг и Волтес ФСС 93 15–20 кг в процессе экстрагирования сахарозы обеспечивает благоприятные условия протекания технологических процессов, способствующие повышению качества и выхода белого сахара на 0,25 %.

Выводы. Выявленные регрессионные зависимости могут быть рекомендованы для прогнозирования основных технологических индикаторов полуфабрикатов. Они позволяют определять результативность совокупного введения ферментного препарата, антимикробного средства и пеногасителя в производстве сахара. Дальнейшие исследования будут направлены на выявление закономерностей многофакторного взаимодействия указанных препаратов с точками их ввода и уровнем бактериального инфицирования сахарной свеклы.

Ключевые слова. Сахар, сахарная свекла, микроорганизмы, ферментный препарат, сок, сироп, мутность, цветность, регрессия

Для цитирования: Улучшение технологических индикаторов полуфабрикатов производства сахара из бактериально инфицированной сахарной свеклы / Л. И. Беляева [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 458–469. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-458-469>.

Original article

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

Improvement of Technological Indicators of Semi-Finished Products of Sugar Production from Bacterially Infected Sugar Beet

Lubov I. Belyaeva*, Michail K. Pruzhin, Alla V. Ostapenko, Valentina N. Gurova

Received: March 31, 2021

Accepted in revised form: May 01, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021



*e-mail: belyaeva_li@mail.ru

© L.I. Belyaeva, M.K. Pruzhin, A.V. Ostapenko, V.N. Gurova, 2021

Abstract.

Introduction. Technological aids play a special role in sugar production technology, but their complex effectiveness requires a comprehensive and in-depth study. The research objective was to establish the patterns of change in the technological indicators of semi-finished products obtained from bacterially infected sugar beets with the combined use of an enzyme preparation, antimicrobial agent, and defoamer.

Study objects and methods. The study involved such semi-finished products as juice (diffusion, pre-defecated, first and second saturation) and syrup, the quality of which was determined according to standard methods. The laboratory experiment was carried out on the basis of the second-order D-optimal Box-Behnken plan for three factors at three levels.

Results and discussion. The research revealed positive dynamics of the following technological indicators: sucrose content, deposition rate, turbidity, chromaticity, and general purification effect. The sugar beet had the second degree of infection with mucous bacteriosis. Purified juice underwent lime-carbon dioxide purification and thickening under the combination of enzyme preparation Dextrasept 2, antimicrobial agent Betasept, and antifoam agent Voltes FSS 93. The greatest increase in sucrose at the level of 1.1% by DM weight was confirmed by a higher overall effect of purification of diffusion juice (2.2 %). The values of turbidity of the purified juice and syrup were below the threshold values. The low values resulted from the increase in the sedimentation rate of the pre-defective juice and the juice of the first saturation by an average of 4.1 and 3.2 times, respectively, due to the effective removal of high molecular weight compounds. The share of the enzyme preparation was 40–71%, antimicrobial agent – 19–49%, defoamer – 1.6–6.5%. The values of the multicriteria optimization parameter corresponded with technological indicators. The optimal combination (per 1000 tons of beets) included 6–8 kg of Dextrasept 2, 1.5–2.0 kg of Betasept, and 15–20 kg of Voltes FSS 93. As a result, the yield of white sugar increased by 0.25%.

Conclusion. The regression dependencies can be recommended for predicting the main technological indicators of semi-finished products. The resulting data makes it possible to determine the effectiveness of the combined use of an enzyme preparation, antimicrobial agent, and defoamer in sugar production. Further research will identify the patterns of multifactorial interaction of these preparations.

Keywords. Sugar, sugar beet, microorganisms, enzyme preparation, juice, syrup, turbidity, color, regression

For citation: Belyaeva LI, Pruzhin MK, Ostapenko AV, Gurova VN. Improvement of Technological Indicators of Semi-Finished Products of Sugar Production from Bacterially Infected Sugar Beet. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):458–469. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-458-469>.

Введение

Современные мировые тенденции развития пищевых технологий основаны на использовании научных подходов, обеспечивающих высокое качество продуктов питания при снижении материало- и энергос затрат. В повышении конкурентоспособности российской пищевой продукции особую роль играют пищевые ингредиенты – пищевые добавки и технологические вспомогательные средства (технологические добавки). Их набор выражен функциональным многообразием, постоянным совершенствованием и импортозависимостью [1, 2].

В пищевой индустрии производство белого свекловичного сахара возможно при использовании технологических вспомогательных средств. Применение широкого функционального спектра средств (антимикробные, пеногасители, ферментные препараты, антинакипины, флокулянты, коагулянты, деколоранты, сорбенты, затравочные материалы и др.) обусловлено как сложностью, множественностью и ресурсоемкостью процессов,

так и разным технологическим качеством перерабатываемой сахарной свеклы, в том числе микробиологически зараженной. В последние годы в объеме перерабатываемых высокопродуктивных гибридов сахарной свеклы отмечено увеличение доли бактериально инфицированных корнеплодов [3]. Наличие в технологической линии на начальных процессах благоприятных условий для выживания и развития микроорганизмов (невысокая температура, влага, воздух, легкая доступность к питательным веществам) становится причиной появления их устойчивых форм к различного рода угнетающим факторам. Толерантность и резистентность многих видов бактерий обусловлена их способностью к существованию в состоянии биологических пленок [4, 5]. Наиболее характерные биопленкообразователи для производства сахара представлены слизеобразующими бактериями *Leuconostoc mesenteroides*. Они продуцируют из целевого компонента сахарозы внеклеточный полисахарид декстран, служащий

основной структурной единицей экзоплимерного матрикса биопленки.

Слизеобразующие бактерии отнесены к проблемным как с позиций технологии сахара, так и его использования в качестве сырьевого ингредиента для производства других пищевых продуктов. Развитие и перемещение слизеобразующей микрофлоры в пищевых системах процессов сахарного производства приводит к накоплению в полуфабрикатах нежелательных веществ: высокомолекулярных соединений декстрана и левана, органических кислот, газов. Эти вещества тормозят протекание технологических процессов, снижают качество получаемых полуфабрикатов и потребительские свойства вырабатываемого белого сахара, увеличивая цветность и мутность растворов сахара, ухудшая его кристаллоструктуру, снижая микробиологическую чистоту [6–8]. В результате снижены необходимые функционально-технологические свойства сахара как сырьевого ингредиента. Это создает проблемы в пищевых технологиях (возникает пенообразование, ослизнение, повышение вязкости) и приводит к ухудшению потребительских свойств вырабатываемых продуктов питания: помутнению, образованию хлопьевидного осадка в безалкогольных и алкогольных напитках; непрозрачности жележных и карамельных кондитерских изделий и др. [9, 10]. Поэтому поиск возможностей повышения качества белого сахара из инфицированной сахарной свеклы актуален с производственной точки зрения.

В научно-технической литературе недостаточно представлена информация по комплексному применению в производстве сахара технологических вспомогательных средств различной функциональной направленности. Начальный процесс экстрагирования сахарозы насыщен используемыми средствами. От его эффективного протекания зависит качество полуфабрикатов последующих процессов: от известково-углекислотной очистки диффузионного сока до получения белого сахара. При переработке инфицированной слизистым бактериозом сахарной свеклы обязательно применение антимикробного средства (для уничтожения и подавления развития микроорганизмов), пеногасителя (для снижения и устранения пенообразования), ферментного препарата гликозидазного действия (для гидролиза полисахаридов декстрана и левана). Изучению вопросов автономного применения конкретных препаратов этих средств (режимов и точек ввода, оптимальных доз и др.) посвящено большое количество публикаций отечественных и зарубежных ученых [11, 12]. Однако вопросу взаимодействия между ними не уделено достаточного внимания. В сфере применения пищевых ингредиентов к фокусу исследований отнесены взаимодействия между различными пищевыми добавками для повышения

пищевой ценности и качества вырабатываемых продуктов питания [13].

В связи с этим цель исследования заключалась в установлении закономерностей изменения технологических индикаторов полуфабрикатов технологического потока, полученных при совместном применении ферментного препарата, антимикробного средства и пеногасителя в заданном диапазоне доз в процессе экстрагирования сахарозы из бактериально инфицированной сахарной свеклы.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в лаборатории технологий сахара НИИ сахарной промышленности ФГБНУ «Курский ФАНЦ». Объектами исследования стали полуфабрикаты сока (диффузионный, преддефекованный, первой и второй ступеней сатурации) и сиропа, полученные из корнеплодов сахарной свеклы второй степени инфицирования слизистым бактериозом, предназначенные для переработки на сахарных заводах Центрально-Черноземного региона в производственный сезон 2019–2020 гг.

В качестве технологических вспомогательных средств использовали антимикробное средство Бетасепт по ТУ 2381-001-92287788-2014; пеногаситель Волтес ФСС 93 по ТУ 2226-100-34686523-09; ферментно-антисептирующий препарат Декстрасепт 2 по ТУ 20.14.64-001-09265941-2017, содержащий декстраназу с активностью не менее 7000 ед./г и леваназу с активностью не менее 400 ед./мл.

Исследования проводили на основе методов физического и математического моделирования последовательных технологических процессов производства белого сахара: получение свекловичной стружки, экстрагирование сахарозы, известково-углекислотная очистка диффузионного сока, сгущение очищенного сока. Экстрагирование сахарозы из свекловичной стружки осуществляли при температуре 68–70 °С подогретой до 80 °С и подкисленной серной кислотой до pH 5,5–5,8 водопроводной водой в соотношении стружка:вода 1:1. Дозы и точки ввода применяемых вышеуказанных средств устанавливали согласно технологической документации по их применению.

Известково-углекислотную очистку диффузионного сока проводили путем многократной последовательной обработки известковым молоком $\text{Ca}(\text{OH})_2$ плотностью 1,18–1,19 г/см³ и углекислым газом CO_2 с удалением осадка нес сахаров. Соблюдали существующий технологический режим (температуру, щелочность, продолжительность) и алгоритм ведения процессов: предварительная дефекация, основная дефекация, первая ступень сатурации, фильтрование, дефекация, вторая ступень сатурации, фильтрование. Полученный очищенный сок сгущали выпариванием до содержания сухих веществ (СВ) 68–72 %.

Таблица 1. Сокращенная факториальная схема реализации лабораторного опыта

Table 1. Short factorial scheme of the experiment

Вариант опыта			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Факторы	Кодированные значения	A	+	+	–	–	+	+	–	–	0	0	0	0	0
		B	+	–	+	–	0	0	0	0	+	+	–	–	0
		C	0	0	0	0	+	–	+	–	+	–	+	–	0
	Натуральные значения, кг/1000 т сахарной свеклы	Ферментный препарат (A)	8	8	4	4	8	8	4	4	6	6	6	6	6
		Антимикробное средство (B)	2,0	1,0	2,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	1,0	1,0	1,5
		Пеногаситель (C)	15	15	15	15	20	10	20	10	20	10	20	10	15

В качестве технологических индикаторов полуфабрикатов рассматривали информативные показатели качества, которые определяли по общепринятым в сахарном производстве методикам. Содержание сахарозы измеряли на поляриметре Saccharomat NIR W2, содержание сухих веществ – на рефрактометре DUR-SW, цветность – на фотометре Coloromat 100. Степень инфицирования слизистым бактериозом определяли методом микроскопирования окрашенного мазка «раздавленная капля» с использованием микроскопа Levenhuk D740T [12]. Скорость осаждения устанавливали по изменению высоты слоя осадка в течение первых 5 мин, выражая в см/мин. Мутность определяли комплексометрическим методом по разности содержания солей кальция – общего и растворимых [14].

Экспериментальная часть работы выполнена с использованием матрицы 13-вариантного лабораторного опыта на основе D-оптимального плана Бокса-Бенкена 2-го порядка для трех факторов на трех уровнях их варьирования (табл. 1).

Для оценки дисперсии воспроизводимости осуществлено дополнительное 5-кратное дублирование одного варианта на нулевых уровнях варьирования изучаемых факторов. Выявление закономерностей совокупного влияния ферментного препарата, антимикробного средства и пеногасителя на качество протекания изучаемых процессов выполняли с использованием практических положений теории планирования эксперимента на основе алгоритмов регрессионного анализа и методов проверки статистических гипотез.

Выявленные зависимости технологических индикаторов полуфабрикатов от вводимых доз ферментного препарата, антимикробного средства и пеногасителя представляли в виде регрессионных уравнений для кодированных и натуральных значений факторов. Статистическую значимость коэффициентов регрессии определяли с помощью t-критерия Стьюдента путем сравнения их численных значений с доверительным интервалом на уровне $\alpha = 0,05$. В качестве дополнительной характеристики адекватности уравнений регрессии использовали коэффициент детерминации (R^2). Его значение,

близкое к 1,0, считали индикатором степени соответствия модели экспериментальным данным.

Статистическую значимость с уровнем $\alpha = 0,05$ эффектов действия и взаимодействия изучаемых факторов определяли по результатам параметрического дисперсионного анализа (модель первого типа) на основе показателя наименьшей существенной разности (HCP_{05}).

Натуральные значения каждого технологического индикатора по вариантам опыта переводили в безразмерную шкалу желательности на основе математической аппроксимации [15]. Обобщенный коэффициент желательности получен в соответствии с формулой средней геометрической с учетом всех оцениваемых индикаторов по каждому варианту опыта [16, 17].

Результаты и их обсуждение

Ранее проведенными нами исследованиями было установлено улучшение технологических индикаторов диффузионного сока, полученного из сахарной свеклы второй степени инфицирования слизистым бактериозом при совместном применении в процессе экстрагирования сахарозы ферментного препарата гликозидазного действия Декстрасепт 2, антимикробного средства Бетасепт и пеногасителя Волтес ФСС 93 с максимальными и средними дозами. Наилучшие результаты получены при следующих оптимальных дозах препаратов (на 1000 т свеклы): Декстрасепт 2 – 6–8 кг, Бетасепт – 1,5–2,0 кг и Волтес ФСС 93 – 15–20 кг [18]. Принципами разработки сложных технологических систем производства продуктов питания из растительного сырья предусмотрен системный учет влияющих факторов на большинство качественных показателей процессов технологического потока [19]. Данное исследование было направлено на выявление эффективности действия изучаемых факторов на последующих процессах известково-углекислотной очистки и сгущения очищенного сока, что обеспечит высокий уровень согласованности технологических рекомендаций.

По результатам факториального опыта выявлено и показано на рисунках 1–3 преимущественное

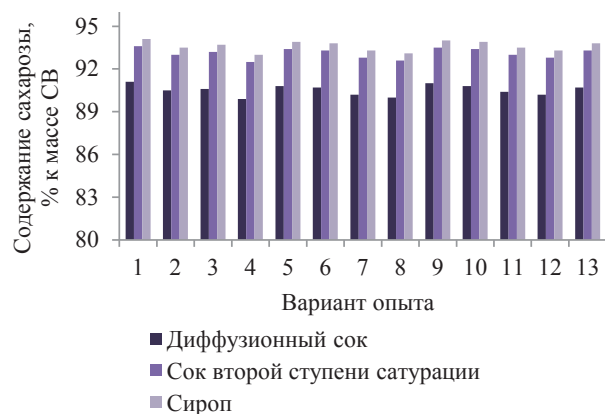


Рисунок 1. Влияние совместного применения ферментного препарата, антимикробного средства и пеногасителя на содержание сахарозы в диффузионном соке, соке второй ступени сатурации и сиропе по вариантам опыта

Figure 1. Effect of the combined use of an enzyme preparation, antimicrobial agent, and defoamer on the sucrose content in diffusion juice, second saturation juice, and syrup

положительное совокупное влияние ферментного препарата Декстрасепт 2, антимикробного средства Бетасепт и пеногасителя Волтес ФСС 93 с максимальными и средними дозами (варианты № 1, 5, 6, 9, 10, 13) на изменение технологических индикаторов сока первой и второй ступеней сатурации, а также сиропа в сравнении с вариантом применения указанных препаратов с минимальными дозами (вариант № 4).

По данным рисунка 1 отмечено стабильное увеличение содержания сахарозы в исходном диффузионном соке, соке второй ступени сатурации (очищенном соке) и сиропе из-за возрастания доз введения изучаемых препаратов. В вариантах № 1, 5 и 9 увеличение было наибольшим – на 1,1 % к массе СВ в сравнении с вариантом № 4. Это обусловлено эффективным удалением несахаристых соединений в процессах экстрагирования сахарозы и известково-углекислотной очистки, что подтверждено повышением общего эффекта очистки диффузионного сока на 2,2 абс. % по этим вариантам. При прочих равных условиях протекания последующего процесса кристаллизации сахарозы совместное введение технологических вспомогательных средств способствовало повышению расчетного выхода сахара на 0,25 %.

Закономерное снижение цветности очищенного сока достигнуто в вариантах № 1, 5 и 9, по сравнению с вариантом № 4, на 35, 31 и 27 % соответственно. Уровень нарастания цветности сиропа по этим вариантам был ниже на 31 % (рис. 2).

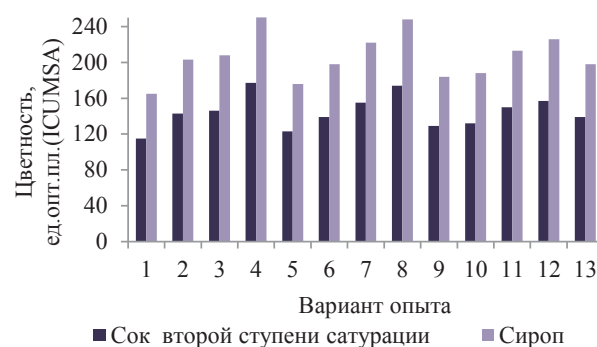


Рисунок 2. Влияние совместного применения ферментного препарата, антимикробного средства и пеногасителя на цветность сока второй ступени сатурации и сиропа по вариантам опыта

Figure 2. Effect of the combined use of an enzyme preparation, antimicrobial agent, and defoamer on the color of the second saturation juice and syrup

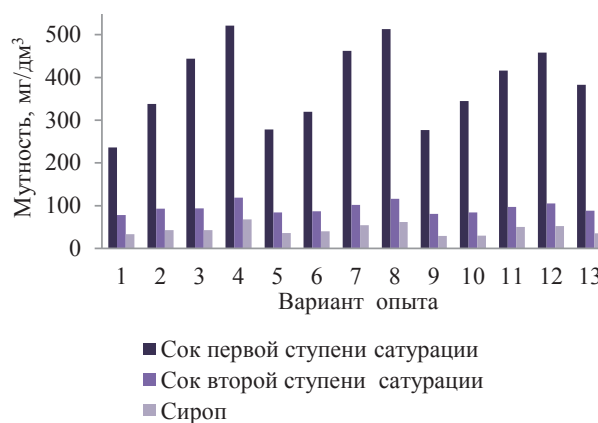


Рисунок 3. Влияние совместного применения ферментного препарата, антимикробного средства и пеногасителя на изменение мутности соков первой и второй ступеней сатурации и сиропа по вариантам опыта

Figure 3. Effect of the combined use of an enzyme preparation, antimicrobial agent, and defoamer on the turbidity of the first and second saturation juices and syrup

По указанным вариантам опыта отмечена положительная динамика изменения мутности соков первой и второй ступеней сатурации и сиропа (рис. 3). Соблюдение значений мутности полуфабрикатов по технологическому потоку в пределах 200–500 мг/дм³ для сока первой ступени сатурации, 70–100 мг/дм³ для сока второй ступени сатурации, 25–30 мг/дм³ для сиропа позволяет достичь величины мутности вырабатываемого белого сахара на уровне (менее

2 мг/кг), характерном для сахара высокого качества [20]. В варианте № 4 мутность соков первой и второй ступеней сатурации и сиропа превышала приведенные пороговые значения. В вариантах № 1, 5, 9 снижение мутности в полуфабрикатах было наибольшим и составило: для сока первой ступени сатурации и сиропа – 49 %, для сока второй ступени сатурации – 32 %. Это свидетельствовало

об эффективном удалении высокомолекулярных соединений в процессах экстрагирования и очистки при оптимальных дозах совместного введения ферментного препарата гликозидазного действия, антимикробного средства и пеногасителя. Отмеченное подтверждено высокой седиментационной способностью преддефектованного сока и сока первой ступени сатурации в указанных вариантах:

Таблица 2. Эффекты действия и взаимодействия изучаемых факторов для технологических индикаторов полуфабрикатов по результатам известково-углекислотной очистки диффузионного сока и сгущения очищенного сока

Table 2. Effects and interaction of the factors on the technological indicators of semi-finished products according to the results of lime-carbon dioxide purification of diffusion juice and thickening of purified juice

Полуфабрикат	Технологический индикатор*	Уровень варьирования (0, +)	Средние эффекты действия и взаимодействия факторов					
			A	B	AB	C	AC	BC
Преддефектованный сок	Y_1	0	1,19	0,84	–0,28	0,69	–0,07	0,08
		+	1,90	1,00	–0,55	0,30	–0,15	0,15
		HCP ₀₅	0,13	0,13	0,08	0,13	0,08	0,08
Сок первой ступени сатурации	Y_2	0	1,35	1,10	–0,25	0,80	–0,10	0,05
		+	2,00	1,30	–0,50	0,40	–0,20	0,10
		HCP ₀₅	0,09	0,09	0,05	0,09	0,05	0,05
	Y_3	0	–106,3	–45,3	–6,33	–25,22	2,33	–6,67
		+	–191,8	–107,8	–12,44	–50,89	4,89	–12,11
		HCP ₀₅	11,73	11,73	6,77	11,73	6,77	6,77
Сок второй ступени сатурации	Y_4	0	0,46	0,34	–0,03	0,19	–0,03	–0,02
		+	0,53	0,58	–0,07	0,17	0,00	0,00
		HCP ₀₅	0,09	0,09	0,05	0,09	0,05	0,05
	Y_5	0	–17,78	–10,78	2,22	–5,67	2,89	0,89
		+	–22,22	–19,22	4,78	–6,67	5,78	2,78
		HCP ₀₅	2,46	2,46	1,42	2,46	1,42	1,42
	Y_6	0	–22,78	–13,33	0,56	–8,22	0,89	1,00
		+	–33,33	–26,44	1,67	–11,22	1,67	1,89
		HCP ₀₅	1,71	1,71	0,99	1,71	0,99	0,99
	Y_7	0	1,39	1,17	0,18	0,11	–0,05	–0,28
		+	1,33	1,25	0,35	0,17	–0,10	–0,55
		HCP ₀₅	0,49	0,49	0,28	0,49	0,28	0,28
Сироп	Y_8	0	0,46	0,32	–0,04	0,17	0,02	–0,01
		+	0,54	0,58	–0,06	0,17	0,01	0,01
		HCP ₀₅	0,09	0,09	0,05	0,09	0,05	0,05
	Y_9	0	–19,11	–11,76	3,76	–5,11	1,06	0,24
		+	–18,73	–19,52	7,50	–3,73	2,03	0,51
		HCP ₀₅	0,45	0,45	0,26	0,45	0,26	0,26
	Y_{10}	0	–32,67	–19,56	2,00	–12,11	1,00	2,44
		+	–47,67	–37,78	4,00	–16,22	2,00	4,56
		HCP ₀₅	4,17	4,17	2,41	4,17	2,41	2,41

* Y_1 – скорость осаждения, см/мин (преддефектованный сок); Y_2 – скорость осаждения, см/мин; Y_3 – мутность, мг/дм³ (сок первой ступени сатурации); Y_4 – сахароза, % к массе СВ; Y_5 – мутность, мг/дм³; Y_6 – цветность, ед. опт. пл. (ед. ICUMSA); Y_7 – общий эффект очистки, % (сок второй ступени сатурации); Y_8 – сахароза, % к массе СВ; Y_9 – мутность, мг/дм³; Y_{10} – цветность, ед. опт. пл. (ед. ICUMSA) (сироп).

* Y_1 – sedimentation rate, cm/min (pre-flawed juice); Y_2 – deposition rate, cm/min; Y_3 – turbidity, mg/dm³ (first saturation juice); Y_4 – sucrose, % by DM weight; Y_5 – turbidity, mg/dm³; Y_6 – chromaticity, units of optical density (ICUMSA); Y_7 – general purification effect, % (second saturation juice); Y_8 – sucrose, % by DM weight; Y_9 – turbidity, mg/dm³; Y_{10} – chromaticity, units of optical density (ICUMSA) (syrup).

Таблица 3. Уравнения регрессии для кодированных значений факторов, отражающие закономерности изменения технологических индикаторов исследуемых полуфабрикатов

Table 3. Regression equations for coded values of factors, reflecting the patterns of change in technological indicators of the semi-finished products

Технологический индикатор*	Коэффициенты регрессии для факторов и их взаимодействий									Показатели адекватности уравнения			
	0	A	B	C	AA	AB	BB	BC	CC	F _{факт.}	F ₀₅	R	R ²
Y ₁	2,64	0,950	0,500	0,150	–	–0,275	–	–	–0,365	0,55	2,92	0,972	0,95
Y ₂	3,36	1,000	0,650	0,200	–	–0,250	–	–	–0,360	1,85	2,92	0,964	0,95
Y ₃	383,92	–96,00	–53,88	–25,38	–	–	–	–	–	1,67	2,80	0,991	0,98
Y ₄	93,20	0,275	0,300	0,075	–0,150	–	–	–	–	0,52	2,85	0,983	0,97
Y ₅	91,00	–11,13	–9,625	–3,500	5,625	–	–	–	–	1,06	2,85	0,979	0,96
Y ₆	141,40	–16,50	–13,13	–5,625	5,100	–	–	–	–	1,93	2,85	0,984	0,97
Y ₇	29,97	0,663	0,625	0,088	–0,714	–	–0,539	–0,275	–	1,31	3,00	0,962	0,93
Y ₈	93,70	0,275	0,300	0,075	–0,150	–	–	–	–	0,43	2,85	0,983	0,97
Y ₉	39,20	–9,375	–9,750	–1,875	8,170	3,750	–	–	–	0,96	2,92	0,986	0,97
Y ₁₀	201,80	–23,750	–18,875	–8,125	7,450	–	–	–	–	0,45	2,85	0,985	0,97

* Y₁ – скорость осаждения, см/мин (преддефектованный сок); Y₂ – скорость осаждения, см/мин; Y₃ – мутность, мг/дм³ (сок первой ступени сатурации); Y₄ – сахароза, % к массе СВ; Y₅ – мутность, мг/дм³; Y₆ – цветность, ед. опт. пл. (ед. ICUMSA); Y₇ – общий эффект очистки, % (сок второй ступени сатурации); Y₈ – сахароза, % к массе СВ; Y₉ – мутность, мг/дм³; Y₁₀ – цветность, ед. опт. пл. (ед. ICUMSA) (сироп).

* Y₁ – sedimentation rate, cm/min (pre-flawed juice); Y₂ – deposition rate, cm/min; Y₃ – turbidity, mg/dm³ (first saturation juice); Y₄ – sucrose, % by DM weight; Y₅ – turbidity, mg/dm³; Y₆ – chromaticity, units of optical density (ICUMSA); Y₇ – general purification effect, % (second saturation juice); Y₈ – sucrose, % by DM weight; Y₉ – turbidity, mg/dm³; Y₁₀ – chromaticity, units of optical density (ICUMSA) (syrup).

скорость осаждения осадка была выше в 4,1 и 3,2 раза соответственно.

Результаты обработки экспериментальных данных по технологическим индикаторам полуфабрикатов, полученные при моделировании процессов экстрагирования сахарозы, известково-углекислотной очистки диффузионного сока и сгущения очищенного сока, приведены в таблице 2.

Показано положительное влияние ферментного препарата Декстрасепт 2, антимикробного средства Бетасепт и пеногасителя Волтес ФСС 93 на протекание процессов известково-углекислотной очистки и сгущения очищенного сока. Положительное влияние проявляется в высоких значениях технологических индикаторов преддефектованного сока, соков первой и второй ступеней сатурации, а также сиропа в сравнении с вариантами применения указанных препаратов в минимальных дозах. Главные эффекты факторов А, В и С были статистически значимыми, но существенные взаимодействия факторов АВ, АС и ВС проявили себя в меньшей степени и только для отдельных технологических индикаторов.

Наличие или отсутствие закономерного проявления влияния изучаемых факторов можно отразить результатами регрессионного анализа. С этой целью были получены полиномиальные зависимости, количественно связывающие влияние ферментного препарата (А), антимикробного

средства (В) и пеногасителя (С) на состояние технологических индикаторов (отклики Y₁–Y₁₀) с учетом только значимых коэффициентов регрессии (табл. 3).

Из таблицы 3 видно, что приведенные регрессионные уравнения адекватно отражали влияние ферментного препарата Декстрасепт 2 (А), антимикробного средства Бетасепт (В) и пеногасителя Волтес ФСС 93 (С) на технологические индикаторы полуфабрикатов процессов известково-углекислотной очистки диффузионного сока и сгущения очищенного сока. Отмеченное подтверждено соответствующими фактическими значениями критерия Фишера (F_{факт.}) и коэффициентами детерминации (R²). Например, уравнение регрессии для расчета зависимости мутности очищенного сока (Y₅) от кодированных значений переменных А, В и С можно представить в следующем виде (1):

$$Y_5 = 91,00 - 11,13A - 9,625B - 3,50C + 5,625AA \quad (1)$$

$$F_{\text{факт.}} = 1,06; F_{05} = 2,85; R = 0,979; R^2 = 0,96$$

По данным регрессионного анализа выявлены особенности изменения вклада изучаемых факторов и их взаимодействий в варьирование технологических индикаторов полуфабрикатов по результатам известково-углекислотной очистки диффузионного сока и сгущения очищенного сока (рис. 4).

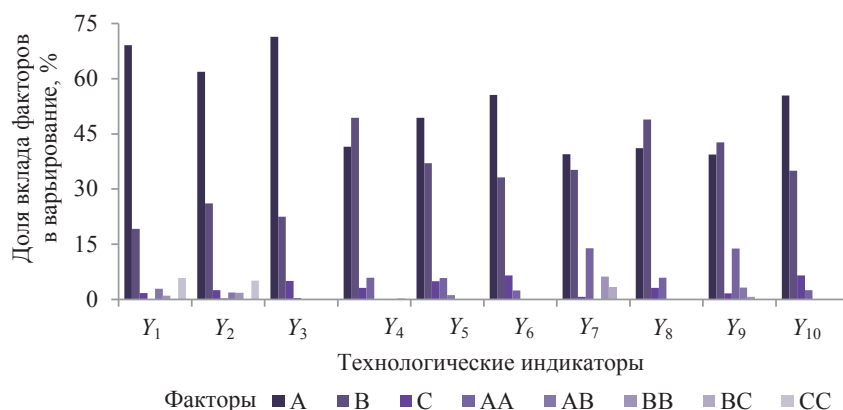


Рисунок 4. Доля вклада изучаемых факторов в варьирование технологических индикаторов полуфабрикатов по результатам известково-углекислотной очистки диффузионного сока и сгущения очищенного сока

Figure 4. Share of the factors in the variation of technological indicators of semi-finished products based on the results of the lime-carbon dioxide purification of diffusion juice and thickening of purified juice

Как следует из данных рисунка 4, доля вклада в варьирование выходных показателей фактора А составила 40–71 %, фактора В – 19–49 %, а фактора С – 1,6–6,5 %.

Заметное квадратичное влияние фактора А выявлено только для Y_5 , Y_6 , Y_7 , Y_9 и Y_{10} , а фактора В – только для Y_7 (общий эффект очистки диффузионного сока, %). Данные рисунка 4 иллюстрируют доминирующее влияние главных эффектов ферментного препарата и антимикробного средства на основные технологические индикаторы исследуемых полуфабрикатов по вариантам опыта.

Совокупное влияние ферментного препарата Декстрасепт 2, антимикробного средства Бетасепт и пеногасителя Волтес ФСС 93, совместно введенных в процесс экстрагирования сахарозы из бактериально инфицированной сахарной свеклы, на содержание сахарозы, цветность и мутность соков первой и второй ступеней сатурации и сиропа по вариантам опыта (рис. 1–3) соответствовало выдвинутой гипотезе исследования.

Статистически значимая роль главных эффектов факторов А, В и С для представленных в таблице 2 технологических индикаторов была обусловлена совокупным ингибирующим действием триады препаратов в оптимальных дозах на бактериальную инфицированность диффузионного сока в процессе экстрагирования сахарозы за счет результативного выполнения своих функциональных задач. В последствии это оказало положительное действие на протекание процессов очистки и сгущения сока.

Приведенные в таблице 3 уравнения регрессии для кодированных значений факторов, адекватно отражающие закономерности изменения показателей исследуемых полуфабрикатов, могут найти применение в прогнозных расчетах технологических

индикаторов, ограниченных пределами численных значений изученных уровней варьирования. При необходимости можно выполнить прогнозные расчеты за пределами области факторного пространства, заданной матрицей плана опыта. Для этого необходимо перейти к натуральным значениям изучаемых факторов и получить соответствующее уравнение регрессии, которое на примере технологического индикатора мутности очищенного сока (Y_5) имело вид:

$$Y_5 = 214,37 - 22,44A - 19,25B - 0,70C + 1,41AA \quad (2)$$

На основе данного уравнения получены дополнительно к экспериментальным расчетные значения мутности очищенного сока (Y_5) в

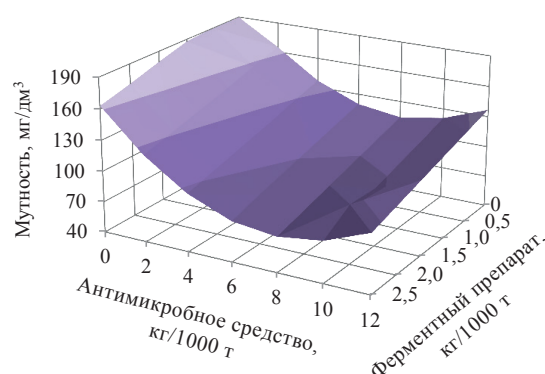


Рисунок 5. Зависимость мутности очищенного сока (Y_5) от доз внесения ферментного препарата (А) и антимикробного средства (В)

Figure 5. Effect of the amount of enzyme preparation (A) and antimicrobial agent (B) on the turbidity of the purified juice (Y_5)

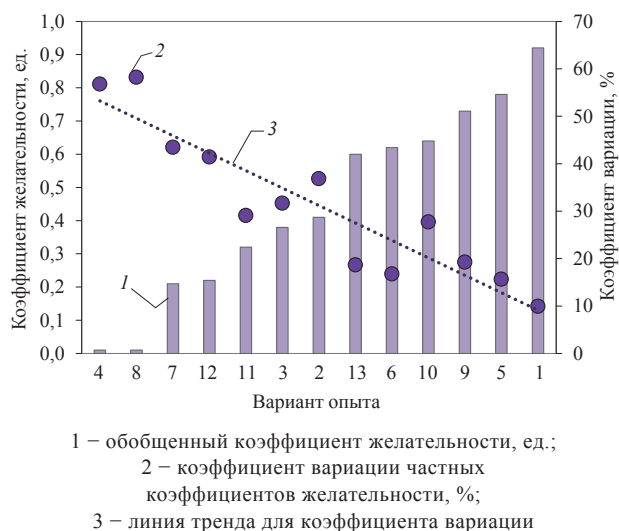


Рисунок 6. Оценка уровня изменчивости состояния технологических индикаторов на основе коэффициента вариации частных коэффициентов желательности

Figure 6. Variability of technological indicators based on the variation coefficient of partial desirability coefficients

диапазоне доз ферментного препарата от 0 до 12 кг, антимикробного средства от 0 до 2,5 кг на фоне введения пеногасителя в дозе 15 кг/1000 т свеклы при второй степени инфицирования слизистым бактериозом корнеплодов (рис. 5).

Данные рисунка 5 отражают особенности изменения мутности очищенного сока, характерные для каждого сочетания доз ферментного препарата Декстрасепт 2 и антимикробного средства Бетасепт на постоянном уровне внесения пеногасителя Волтес ФСС 93.

На основе приведенных в таблице 3 регрессионных зависимостей по каждому из технологических индикаторов ($Y_1 - Y_{10}$) невозможно получить консолидированную оценку влияния изучаемых факторов. Установлено, что универсальным способом получения такой оценки может быть обобщенный параметр оптимизации, который представляет собой функцию нескольких частных параметров. Одним из таких способов выступает обобщенная функция желательности Харрингтона (D). С ней производят все вычислительные операции, как с любым критерием системы, и используют этот показатель в роли критерия оптимизации [15–17].

В результате математической обработки экспериментальных данных методом наименьших квадратов получено уравнение регрессии (3). Оно позволяет оценить влияние исследуемых факторов А, В и С на эффективность введения ферментного препарата, антимикробного средства и пеногасителя при помощи обобщенного показателя многокритериального параметра оптимизации (D):

$$D = 0,57 + 0,21A + 0,22B + 0,07C - 0,08AA + 0,06AB - 0,08CC \quad (3)$$

$$F_{\text{факт.}} = 1,12; F_{\text{табл.}} = 3,49; R^2 = 1,00$$

Результаты исследований свидетельствуют о дополнительной возможности использования частных коэффициентов желательности для характеристики уровня изменчивости состояния технологических индикаторов при установлении оптимальной дозы введения ферментного препарата Декстрасепт 2, антимикробного средства Бетасепт и пеногасителя Волтес ФСС 93 в процессе переработки бактериально инфицированной сахарной свеклы (рис. 6).

Критерии оценки были приняты на шкале желательности в пределах: «очень хорошо» – 1,00–0,80, «хорошо» – 0,80–0,63, «удовлетворительно» – 0,63–0,37, «плохо» – 0,37–0,20, «очень плохо» – 0,2–0,00. Из данных рисунка 6 следует, что только в вариантах № 1, 5 и 9 обобщенная функция желательности при одностороннем ограничении соответствует уровням технологических индикаторов «очень хорошо» и «хорошо». Это свидетельствует о целесообразности введения соответствующих им количеств исследуемых средств: ферментного препарата – 6–8 кг/1000 т свеклы, антимикробного средства – 1,5–2,0 кг/1000 т свеклы и пеногасителя – 15–20 кг/1000 т свеклы, обеспечивающих оптимальные условия протекания технологических процессов при переработке сахарной свеклы второй степени инфицирования слизистым бактериозом.

Выводы

Выявлена положительная динамика улучшения технологических индикаторов полуфабрикатов известково-углекислотной очистки и сгущения очищенного сока при совместном применении в процессе экстрагирования сахарозы из сахарной свеклы второй степени инфицирования слизистым бактериозом ферментного препарата Декстрасепт 2, антимикробного средства Бетасепт и пеногасителя Волтес ФСС 93 с максимальными и средними дозами в сравнении с минимальными дозами. Наибольшее увеличение сахарозы в полуфабрикатах (на 1,1 % к массе СВ) подтверждено высоким общим эффектом очистки диффузионного сока (на 2,2 абс. %) за счет эффективного удаления несахаристых соединений. Достигнуто снижение цветности на 27–35 %. Мутность полуфабрикатов была ниже пороговых значений. Это подтверждено возрастанием скорости осаждения преддефекованного сока и сока первой ступени сатурации в 4,1 и 3,2 раза соответственно.

Закономерности изменения технологических индикаторов аппроксимированы приведенными регрессионными уравнениями, адекватно отражающими совокупное влияние гликозидазного ферментного препарата, антимикробного средства и пеногасителя. Это подтверждено соответствующими

фактическими значениями критерия Фишера и коэффициентами детерминации. Доля вклада ферментного препарата варьировала от 40 до 71 %, антимикробного средства – от 19 до 49 %, а пеногасителя – от 1,6 до 6,5 %.

Установленные по экспериментальным данным регрессионные зависимости, позволяющие оценивать результативность введения фермента, антимикробного средства и пеногасителя, пригодны для прогнозных расчетов как состояния отдельных технологических индикаторов, так и обобщенного показателя многокритериального параметра оптимизации. Выявлены значения этого параметра, соответствующие уровням технологических индикаторов «очень хорошо» и «хорошо». На этой основе предложено совместное введение технологических вспомогательных средств в процессе экстрагирования сахарозы при переработке сахарной свеклы второй степени инфицирования слизистым бактериозом в следующих оптимальных дозах (на 1000 т свеклы): Декстрасепт 2 – 6–8 кг, Бетасепт – 1,5–2,0 кг и Волтес

ФСС 93 – 15–20 кг, обеспечивающих благоприятные условия протекания технологических процессов, способствующие повышению качества и выхода белого сахара на 0,25 %.

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 interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Technological additives as an element of dry milk properties directed formation / A. G. Galstyan [et al.] // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*. 2019. Vol. 4. № 436. P. 95–102. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.102>.
2. Старовойтова К. В., Терешук Л. В. Перспективы отечественного производства микроингредиентов // *Техника и технология пищевых производств*. 2016. Т. 41. № 2. С. 77–83.
3. Robles-Gancedo S., López-Díaz T. M., Otero A. Identification of main bacteria and fungi found during beet sugar extraction in Spanish factories // *International Sugar Journal*. 2014. Vol. 116. № 1386.
4. Образование биологических пленок микроорганизмов на пищевых производствах / А. В. Тутельян [и др.] // *Вопросы питания*. 2019. Т. 88. № 3. С. 32–43. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10027>.
5. Методы борьбы с биологическими пленками на пищевых производствах / А. В. Тутельян [и др.] // *Молочная промышленность*. 2020. № 11. С. 48–53.
6. Effect of dextran and enzymatically decomposed dextran on the sucrose crystal shape / K. Abraham [et al.] // *Zuckerindustrie*. 2019. Vol. 144. № 10. P. 588–595. <https://doi.org/10.36961/si23679>.
7. Сапронова Л. А. Способы повышения качества кристаллического сахара // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2017. № 5. С. 9–14.
8. Borji A., Borji F.-E., Jourani A. Sugar industry: Effect of dextran concentrations on the sucrose crystallization in aqueous solutions // *Journal of Engineering*. 2019. Vol. 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/7987369>.
9. Functionality of sugars in foods and health / R. A. Clemens [et al.] // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2016. Vol. 15. № 3. P. 433–470. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12194>.
10. The influence of different amounts of dextran and starch in crystallized sugar in the formation of floc in acidic carbonated solutions and alcoholic solutions / L. R. Lemos [et al.] // *Sugar Tech*. 2013. Vol. 15. № 1. P. 65–70. <https://doi.org/10.1007/s12355-012-0188-3>.
11. Development of a theoretical-experimental method for the optimum selection and dosage of antifoams in the sugar industry / M. T. Garcia Cubero [et al.] // *Zuckerindustrie*. 2000. Vol. 125. № 7. P. 524–530.
12. «Бетасепт» и «Декстрасепт»: на всех фронтах борьбы с бактериальной инфекцией / В. А. Сотников [и др.] // *Сахар*. 2017. № 4. С. 16–20.
13. Заворохина Н. В., Чугунова О. В., Минниханова Е. Ю. Исследование синергизма тройных смесей подсластителей, применяемых для низкокалорийных сладких блюд // *Пищевая промышленность*. 2019. № 9. С. 66–69. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10134>.
14. Содержание зольных элементов в белом сахаре, методы их контроля и снижения / Л. И. Чернявская [и др.] // *Сахар*. 2017. № 11. С. 40–47.

15. Любушин Н. П., Брикач Г. Е. Использование обобщенной функции желательности Харрингтона в многопараметрических экономических задачах // Экономический анализ: теория и практика. 2014. Т. 370. № 18. С. 2–10.
16. Pal S., Gauri S. K. A desirability functions-based approach for simultaneous optimization of quantitative and ordinal response variables in industrial processes // International Journal of Engineering, Science and Technology. 2018. Vol. 10. № 1. P. 76–87. <https://doi.org/10.4314/ijest.v10i1.6>.
17. Холоднов В. А., Лебедева М. Ю. Использование свободного программного обеспечения для решения задач многоцелевой оптимизации в химической технологии // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического университета (технического университета). 2018. Т. 69. № 43. С. 91–94. <https://doi.org/10.15217/issn1998984-9.2018.43.91>.
18. Технологические приемы ингибирования бактериальной инфицированности процесса экстрагирования сахарозы при производстве сахара / Л. И. Беляева [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 2. С. 66–72. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10211>.
19. Панфилов В. А. Синергетический подход к созданию технологий АПК будущего // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50. № 4. С. 642–649. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-642-649>.
20. Чернявская Л. И. Как добиться качества сахара экспортного потенциала? Тезисы доклада на IV технологическом семинаре производителей сахара «Клуб технологов 2017» // Сахар. 2017. № 6. С. 22–27.

References

1. Galstyan AG, Turovskaya SN, Ryabova AE, Illarionova EE, Semipyatnyy VK, Radaeva IA, et al. Technological additives as an element of dry milk properties directed formation. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. 2019;4(436):95–102. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.102>.
2. Starovoytova KV, Terechuk LV. Prospects of domestic micro-ingredients production. Food Processing: Techniques and Technology. 2016;41(2):77–83. (In Russ.).
3. Robles-Gancedo S, López-Díaz TM, Otero A. Identification of main bacteria and fungi found during beet sugar extraction in Spanish factories. International Sugar Journal. 2014;116(1386).
4. Tutelyan AV, Yushina YuK, Sokolova OV, Bataeva DS, Fesyun AD, Dativ AV. Formation of biological films by microorganisms in food productions. Problems of Nutrition. 2019;88(3):32–43. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10027>.
5. Tutelyan AV, Romanova YuM, Manevich BV, Yushina YuK, Fedorova LS, Sinitsyna OA, et al. Biofilm control methods in food production. Dairy Industry. 2020;(11):48–53. (In Russ.).
6. Abraham K, Brykczynski H, Rudolph-Floter ESJ, Schlumbach K, Schafer A, Floter E. Effect of dextran and enzymatically decomposed dextran on the sucrose crystal shape. Zuckerindustrie. 2019;144(10):588–595. <https://doi.org/10.36961/si23679>.
7. Sapronova LA. Methods for improving the quality of crystalline sugar. Storage and Processing of Farm Products. 2017;(5):9–14. (In Russ.).
8. Borji A, Borji F-E, Jourani A. Sugar industry: Effect of dextran concentrations on the sucrose crystallization in aqueous solutions. Journal of Engineering. 2019;2019. <https://doi.org/10.1155/2019/7987369>.
9. Clemens RA, Jones JM, Kern M, Lee S-Y, Mayhew EJ, Slavin JL, et al. Functionality of sugars in foods and health. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2016;15(3):433–470. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12194>.
10. Lemos LR, Nogueira A, Wosiacki G, Lacerda LG, Demiate IM. The influence of different amounts of dextran and starch in crystallized sugar in the formation of floc in acidic carbonated solutions and alcoholic solutions. Sugar Tech. 2013;15(1):65–70. <https://doi.org/10.1007/s12355-012-0188-3>.
11. Garcia Cubero MT, Gonzalez Benito G, Olmedo Fernandez F, Hiero Blanco JF. Development of a theoretical-experimental method for the optimum selection and dosage of antifoams in the sugar industry. Zuckerindustrie. 2000;125(7):524–530.
12. Sotnikov VA, Sotnikov AV, Uayld V, Moysh U. “Betasept” i “Dekstrasept”: na vsekhn frontakh bor’by s bakterial’noy infektsiey [Betasept and Dextrasept: fighting bacterial infection]. Sahar. 2017;(4):16–20. (In Russ.).
13. Zavorokhina NV, Chugunova OV, Minnikhanova EYu. Investigation of synergism of ternary mixtures of sweeteners used to a low calorie sweet dishes. Food Industry. 2019;(9):66–69. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10134>.
14. Chernyavskaya LI, Mokanyuk YuA, Kukhar VN, Chernyavskiy AP. Soderzhanie zol’nykh ehlementov v belom sakhare, metody ikh kontrolya i snizheniya [The content of ash elements in white sugar: control and reduction methods]. Sahar. 2017;(11):40–47. (In Russ.).
15. Liubushin NP, Brikach GE. Harrington’s desirability generalized function in multiple parameter economic tasks. Economic Analysis: Theory and Practice. 2014;370(18):2–10. (In Russ.).
16. Pal S, Gauri SK. A desirability functions-based approach for simultaneous optimization of quantitative and ordinal response variables in industrial processes. International Journal of Engineering, Science and Technology. 2018;10(1):76–87. <https://doi.org/10.4314/ijest.v10i1.6>.

17. Kholodnov VA, Lebedeva MYu. The use of free software for solving problems of multi-objective optimization in chemical engineering. Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University). 2018;69(43):91–94. (In Russ.). <https://doi.org/10.15217/issn1998984-9.2018.43.91>.
18. Belyaeva LI, Pruzhin MK, Ostapenko AV, Gurova VN, Sysoeva TI. Technological methods for inhibiting bacterial infection of the process of extracting sucrose in the sugar production. Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex. 2021;35(2):66–72. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10211>.
19. Panfilov VA. Synergetic approach to agro-industrial technologies of the future. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(4):642–649. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-642-649>.
20. Chernyavskaya LI. Kak dobit'sya kachestva sakhara ehksportnogo potentsiala? Tezisy doklada na IV tekhnologicheskoy seminar proizvoditeley sakhara "Klub tekhnologov 2017" [How to achieve sugar quality export potential? Proceedings of the IV technological seminar of sugar producers "Club of Technologists 2017"]. Sahar. 2017;(6):22–27. (In Russ.).

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-470-479>
УДК 664.642.2

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Изучение свойств заквасок, приготовленных на основе нетрадиционных видов муки



С. С. Гурьев^{1,*}, В. С. Попов²

¹ Университет ИТМО^{ROR}, Санкт-Петербург, Россия

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова^{ROR}, Санкт-Петербург, Россия

Поступила в редакцию: 27.04.2021

Принята после рецензирования: 03.06.2021

Принята в печать: 15.07.2021



*e-mail: v.popov@vir.nw.ru

© С. С. Гурьев, В. С. Попов, 2021

Аннотация.

Введение. Хлеб и хлебобулочные изделия содержат физиологически необходимые для человека компоненты питания. Перспективным способом приготовления хлебобулочных изделий является использование стартовых культур. Цель исследования – изучение влияния нетрадиционных видов муки и их комбинаций с пшеничной мукой на активность, органолептические и физико-химические показатели заквасок на основе стартовых культур.

Объекты и методы исследования. Хлебные закваски на стартовых культурах компании «Lesaffre» (Saf-Levain LV1 и Saf-Levain LV4) с использованием чечевичной муки и муки из зеленой гречихи. Применяли органолептический, титриметрический, фотоколориметрический методы, а также метод всплытия «шарика» для определения броидильной активности заквасок и оценку изменение объема заквасок.

Результаты и их обсуждение. Введение муки из зеленой гречихи положительно сказывалось на активности заквасок, произведенных на стартовых культурах Saf-Levain LV4 и LV1. Органолептические показатели заквасок с введением нетрадиционных видов муки отличались от контрольных образцов по аромату, вкусу, внешнему виду, интенсивности подъема. Кислотность образцов менялась в зависимости от используемой муки, ее количества и стартовой культуры. Наибольшее накопление кислот происходило в случае с введением 50 % муки из зеленой гречихи и с введением 25 и 50 % чечевичной муки для обеих стартовых культур. У заквасок с препаратом Saf-Levain LV4 в 1,5 раза больше кислотность, чем на Saf-Levain LV1. Интенсивное уменьшение количества редуцирующих сахаров наблюдалось в образцах с введением муки из зеленой гречихи в количествах 25 и 50 % (от 1,9 до 3,9 раз); в образцах с чечевичной мукой с введением 75 и 100 % (от 2,7 до 7,5 раз). В образцах со стартовой культурой LV1 разница больше, чем в образцах с LV4. Это можно объяснить различным видовым составом микроорганизмов. Подъемная сила всех образцов заквасок была выше, чем у контроля.

Выводы. Полученные закваски могут быть рекомендованы для изготовления различных видов хлеба, хлебобулочных изделий и использованы для дальнейших исследований. Введение заквасок на основе нетрадиционных видов муки с применением стартовых культур в хлебобулочные изделия позволит сократить продолжительность брожения теста, а также получить изделия с высокими потребительскими свойствами. За счет внесения нетрадиционных видов муки будет расширен ассортимент, а также повышена пищевая ценность выпускаемой продукции.

Ключевые слова. Хлебная закваска, стартовая культура, чечевичная мука, мука из зеленой гречихи, пшеничная мука, органолептические показатели, кислотность, редуцирующие сахара, фотоколориметрия, броидильная активность

Для цитирования: Гурьев С. С., Попов В. С. Изучение свойств заквасок, приготовленных на основе нетрадиционных видов муки // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 470–479. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-470-479>.

Original article

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

Properties of Starter Cultures Based on Non-Traditional Flours

Sergey S. Gur'ev^{1,*}, Vitaly S. Popov²

¹ ITMO University^{ROR}, St. Petersburg, Russia

² Federal Research Center the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources^{ROR}, St. Petersburg, Russia

Received: April 27, 2021

Accepted in revised form: June 03, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021



*e-mail: v.popov@vir.nw.ru
© S.S. Gur'ev, V.S. Popov, 2021

Abstract.

Introduction. Bread and bakery products contain nutritional components that make an integral part of human diet. Starter cultures are a promising way to prepare bakery products. The research objective was to study the effect of non-traditional flours and their wheat mixes on the activity, sensory, and physicochemical properties of starter cultures.

Study objects and methods. The research featured Lesaffre starter cultures (Saf-Levain LV1 and Saf-Levain LV4) with lentil flour and green buckwheat flour. It involved organoleptic, titrimetric, and photocolormetric methods, as well as the “ball surfacing” method, to determine the fermentation activity of starter cultures and to assess the changes in their volume. The acid content of the flour was determined by titrating the aqueous solution of the sample. The amount of reducing sugars was determined by the photocolormetric method based on the interaction of carbonyl groups of sugars in an alkaline medium with copper glycerate; the optical density of the resulting solution was performed using a photoelectrocolorimeter. The change in the volume of the starter cultures was determined by a non-standard method of using measuring cups in the process of thermostating. The research also included a sensory evaluation of the semi-finished products.

Results and discussion. Green buckwheat flour had a positive effect on the activity of starter cultures based on Saf-Levain LV4 and LV1. The sensory properties of starter cultures with non-traditional flours differed from the control samples in aroma, taste, appearance, and inflation rate. The acidity of the samples varied depending on the flour, its quantity, and the starting culture. The greatest accumulation of acids occurred in the sample with 50% of green buckwheat flour and the samples with 25 and 50% of lentil flour. The most intense reduction in the amount of reducing sugars was observed in the samples with 25 and 50% of green buckwheat flour (from 1.9 to 3.9 times, depending on the sample). In the samples with lentil flour, it was 75 and 100% (from 2.7 to 7.5 times, depending on the sample). The difference in the samples with LV1 was greater than in the samples with LV4, which can be explained by the differences in their microbial composition. The inflation rate was higher in the test samples than in the control.

Conclusion. The resulting starter cultures can be recommended for baking industry and further research. Starter cultures based on non-traditional flours will eventually reduce the fermentation time and produce bakery products with high consumer properties. The non-traditional flours can expand the range of bakery products and increase their nutritional value.

Keywords. Lentil flour, green buckwheat flour, wheat flour, organoleptic parameters, acidity, reducing sugars, photocolormetry, fermentation activity, bread sourdough, starter culture

For citation: Gur'ev SS, Popov VS. Properties of Starter Cultures Based on Non-Traditional Flours. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):470–479. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-470-479>.

Введение

Расширение ассортимента функциональных продуктов питания необходимо для улучшения питания населения. Согласно ГОСТ Р 52349-2005 функциональный пищевой продукт предназначен для частого потребления здоровыми людьми разных возрастов. В его основе используются научно обоснованные свойства, снижающие риск развития алиментарных заболеваний. К функциональным пищевым продуктам можно отнести и натуральные природные источники пищи, и специально созданные продукты.

Хлеб и хлебобулочные изделия содержат физиологически необходимые компоненты питания. В России хлеб является продуктом повседневного спроса. Для улучшения качества питания населения страны эксперты советуют на 20–30 % расширить выпуск доступных продуктов с высокой пищевой ценностью, а также с повышенным содержанием белков, эссенциальных аминокислот, макро- и микронутриентов [1–3]. Поэтому важными являются исследования, нацеленные на разработку

функциональных продуктов питания без потери качества и потребительских свойств хлебобулочных изделий.

В основе традиционных технологий хлебобулочных изделий лежат процессы, неразрывно связанные с биотехнологией. Они основаны на использовании различных видов заквасок. Микроорганизмы, в том числе дрожжи и молочнокислые бактерий, используются для приготовления напитков или пищи. В сообществах микроорганизмов возникают системы сложных взаимоотношений, сопровождающиеся симбиозом и антагонизмом. Микробиом хлебной закваски не является исключением. В производственном цикле приготовления закваски создаются оптимальные условия для ее развития. От вида закваски, используемой в производстве, будет зависеть сочетание видов и штаммов микроорганизмов [4].

Использование чистых культур дрожжей и молочнокислых бактерий – важный момент для выведения высококачественных хлебных заквасок. Применение чистых культур в оптимальном

количестве в процессе приготовления заквасок приводит к быстрому установлению доминирующей микрофлоры и к нормальному брожению, а также гарантирует производству защиту от случайностей, связанных с микрофлорой заквасок [5–7].

Микроорганизмы, используемые в заквасках, формируют такие показатели, как кислотность, пористость, вкус и запах хлеба. Кроме того, они способствуют микробиологической чистоте изделия, что важно в случаях пролонгирования сроков хранения, а также при использовании обсемененной муки [8].

В соответствии с ГОСТ 32677-2014 закваску для хлебопекарного производства можно кратко описать, как полуфабрикат, полученный сбраживанием питательной смеси микроорганизмами (молочнокислыми бактериями, дрожжами и др.).

Хлебобулочные изделия, приготовленные с использованием заквасок, характеризуются высокими показателями качества. Они отличаются по вкусу, запаху, пищевой и биологической ценности, а также устойчивостью к порче. Это дает стимул выводить заквасочные культуры с заданными свойствами, а именно с физико-химическими и вкусо-ароматическими характеристиками [9].

В настоящее время можно говорить о «расцвете» производства хлеба на заквасках. В России хлеб является продуктом повседневного спроса. Формирование ассортимента хлебобулочных изделий зависит от множества факторов, а также от уровня благосостояния населения. Согласно статистике потребительские предпочтения у населения страны постепенно меняются. Наблюдается тенденция к уходу от традиционных видов хлеба к видам с высокой добавленной стоимостью (сдоба, багеты, хлеб с различными наполнителями такими, как отруби, семенами льна и т. д.) [10–12].

Для поточного производства большой интерес имеют ускоренные способы приготовления. Хлебопечение является социально значимой отраслью экономики страны, поэтому производители хлеба стремятся решить задачу обеспечения населения дешевым хлебом. Одним из способов удешевления хлеба является метод, основанный на интенсификации биохимических процессов, происходящих при созревании теста. Это позволяет получить высококачественные изделия из пшеничной муки высшего и первого сортов.

Специалисты ВОЗ считают, что с хлебом человек получает все необходимые нутриенты. Массовое потребление рафинированных и несбалансированных продуктов приводит к развитию алиментарных заболеваний (ожирение, сахарный диабет и др.). Для улучшения качества хлебобулочных изделий проводят различные исследования. Например, ученые МГУПП установили, что пропионовокислые бактерии, внесенные в рецептуру пшеничного хлеба,

предотвращают его микробиологическую порчу. На основе данных бактерий были разработаны соответствующие закваски. Их применение способствует устойчивости хлеба к «картофельной болезни», а также пролонгирует сроки хранения изделий [13].

Технология с использованием стартовых культур доказала свою эффективность в производстве заквасок. Стартовые культуры – чистые молочнокислые бактерии или смесь молочнокислых бактерий с дрожжами. Они позволяют существенно облегчить процесс выведения закваски, т. е. исключить такие фазы, как разведение и поддержание закваски. Таким образом, приготовление закваски сводится к одному этапу, что обеспечивает стабильность полуфабриката [14].

Еще одно многообещающее направление современного хлебопекарного производства – изготовление хлебобулочных изделий с применением многокомпонентных смесей из муки и добавок. Например, введение гороховой и фасоловой муки в количестве от 10 до 15 % позволило получить хлебобулочные изделия с повышенным содержанием белка и хорошими вкусовыми качествами [1, 15].

Исследования европейских ученых показали положительное влияние внесения в рецептуру хлеба таких видов муки, как гречневая, гороховая и ячменная. Замена пшеничной муки на смесь из гречневой, гороховой и ячменной обеспечила низкое содержание быстроусвояемого крахмала, а также увеличила содержание резистентного крахмала в хлебе [16].

Кроме того, оценена возможность улучшить характеристики хлеба обогащением картофельной мякотью с добавлением различных эмульгаторов и ферментов [17].

Целью исследования стало изучение влияния нетрадиционных видов муки и их комбинаций с пшеничной мукой на активность, органолептические и физико-химические показатели заквасок на основе стартовых культур.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются хлебные закваски на стартовых культурах компании «Lesaffre» (Saf-Levain LV1 и Saf-Levain LV4).

Культуры заквасок отличаются по видовому составу и количеству микроорганизмов: не менее 1 млрд клеток дрожжей и 1 млрд молочнокислых бактерий в 1 г закваски. В состав Saf-Levain LV1 входят молочнокислые бактерии *Lactobacillus brevis* и *Lactobacillus casei*, дрожжи *Saccharomyces chevalieri*. В составе Saf-Levain LV4 – молочнокислые бактерии *L. brevis* и дрожжи *S. chevalieri* [14].

В качестве исследуемых видов муки выбраны мука из зеленой гречихи и чечевичная мука. Данные виды муки содержат больше белков, витаминов,

незаменимых аминокислот и минеральных веществ, чем пшеничная мука.

Чечевичная мука богата полиненасыщенными жирными кислотами (такими как олеиновая, линоленовая, которые не синтезируются живыми организмами), содержит до 30 % белка, не накапливает нитратов, токсичных элементов, радионуклидов и может считаться экологически чистым продуктом. Витаминный состав чечевицы включает β -каротин, ниацин, а также ретинол и токоферол. Минеральный состав чечевичной муки представлен такими элементами, как K, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu и Se. Селен выполняет важную роль в регуляторных и защитных функциях человеческого организма. Пищевые волокна, входящие в состав чечевицы, играют важную роль при сосудистых заболеваниях и диабете 2-го типа, а также в снижении уровня холестерина. Низкий гликемический индекс (25) можно отнести к достоинствам чечевицы [18–20].

Мука из зеленой гречихи – это мука, полученная при помоле гречневой крупы, которая не подвергалась термической обработке. Это говорит о сохранении значительной части витаминов и полезных свойств, которые теряются из-за термической обработки гречневой крупы. В углеводах зеленой гречихи содержится хироинозитол, который способен снижать уровень глюкозы в крови и активизировать инсулин. Также зеленая гречиха содержит много флавоноидов. Ценится гречиха и за высокое содержание рутина: витамина Р, витамина Е и витаминов группы В, а также антиоксидантов [21–23].

Таким образом, выбранные виды муки содержат большее количество белков, витаминов, незаменимых аминокислот и минеральных веществ, чем пшеничная. Это и послужило основанием для их выбора. Кроме того, ранее нами были проведены исследования биохимического состава муки совместно с Всероссийским институтом растениеводства имени Н. И. Вавилова [24].

В задачу исследования входило сравнение активности заквасок, полученных с применением стартовых культур «Lesaffre» (Saf-Levain LV1 и Saf-Levain LV4) и введением нетрадиционных видов муки, а именно муки из зеленой гречихи и чечевичной муки. В качестве контроля выступали закваски на пшеничной муке с применением стартовых культур «Lesaffre» (Saf-Levain LV1 и Saf-Levain LV4).

В работе титруемую кислотность определяли титрованием 5 г разведенной в 50 см³ дистиллированной воды закваски 0,1Н гидроокисью натрия в присутствии индикатора.

Редуцирующие сахара устанавливали фотоколориметрическим методом, основанном на измерении оптической плотности полученного раствора на спектрофотометре с помощью калибровочной кривой, построенной по растворам глюкозы. Метод основан на взаимодействии карбонильных групп сахаров в щелочной среде с глицератом меди и измерении оптической плотности полученного раствора на фотоэлектроколориметре.

Подъемную силу определяли методом всплывания «шарика». Метод основан на определении скорости всплывания в воде шарика теста, замешенного из закваски и муки. Под подъемной силой полуфабриката условно понимается промежуток времени (в минутах) с момента опускания в воду шариков теста до момента всплывания их на поверхность.

Органолептическую оценку полуфабрикатов проводили, оценивая вкус, аромат, внешний вид и консистенцию.

Влажность муки определяли экспресс методом на анализаторе влажности АВГ-60 при 160 °С.

Изменение объема оценивали не стандартизированным методом, а используя мерные стаканы в процессе термостатирования.

Для приготовления закваски муку смешивали с предварительно разведенными в воде стартовыми культурами «Lesaffre», вносимыми в количестве

Таблица 1. Рецептуры заквасок на основе стартовых культур

Table 1. Starter culture formulations

Наименование сырья	Массовая доля сухих веществ, %	Расход сырья на полуфабрикаты, г в натуре									
		Контроль		3	4	5	6	11	12	13	14
		1	2*	(7*)	(8*)	(9*)	(10*)	(15*)	(16*)	(17*)	(18*)
Мука пшеничная высшего сорта	14,5	585	585	439	292	146	–	439	292	146	–
Мука чечевичная	8,5	–	–	–	–	–	–	137	273	375	546
Мука из зеленой гречихи	10,1	–	–	139	278	417	55,6	–	–	–	–
Стартовая культура Saf-Levain LV1 (LV4)	–	5,85	5,85	5,78	5,70	5,63	5,56	5,75	5,66	5,56	5,46
Вода	–	415	415	425	430	437	444	425	434	444	454
Выход	–	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

* образцы с применением стартовой культуры Saf-Levain LV1.

* samples with Saf-Levain LV1 starter culture.

Таблица 2. Влияние заквасок, вида и соотношения муки на органолептические показатели качества закваски

Table 2. Effect of starter cultures, type and ratio of flour on the quality sensory indicators

№ образца	Стартовая культура	Количество муки (на сухое вещество), %	Аромат	Вкус	Внешний вид, консистенция	Максимальное увлечение объема
Контроль (пшеничная мука)						
1	LV4	100	Кислый	Кислый	Жидкая, поверхность покрыта пузырьками, пористая	2,5
2	LV1	100	Кислый со сладкими нотками	Слабокислый	Жидкая, поверхность покрыта пузырьками, мелкие поры	2,5
Мука из зеленой гречихи						
3	LV4	25	Кислый со сладкими нотками	Кислый с гречневым привкусом	Жидкая, поверхность покрыта пузырьками, пористая	2,5
4		50	Кислый яблочный, после перемешивания гречневый	Кислый с гречневым привкусом	Густая, пористость и густота увеличиваются с количеством гречневой муки	2,8
5		75	Кислый гречневый	Кислый с сильным гречневым привкусом		2,0
6		100	Кислый гречневый	Кислый гречневый		1,5
7	LV1	25	Яблочный	Слабокислый	Жидкая, поверхность покрыта пузырьками, пористая	2,6
8		50	Ярко выраженный яблочный, после перемешивания гречневый	Кислый с гречневым привкусом	Густая, пористость и густота увеличиваются с количеством гречневой муки	3,0
9		75	Ярко выраженный яблочный, после перемешивания гречневый	Кислый с сильным гречневым привкусом		2,7
10		100	Гречневый с яблочными нотами	Кислый гречневый		1,2
Мука чечевичная						
11	LV4	25	Кислый, бобовый	Кислый, слабовыраженный вкус сырых бобов	Жидкая, поверхность покрыта пузырьками, пористая	2,5
12		50	Кислый, бобовый	Сырых бобов	Густая, густота увеличивается с количеством чечевичной муки, пористость уменьшается	3,0
13		75	Кислый, бобовый	Сырых бобов		2,0
14		100	Кислый, бобовый	Сырых бобов		1,5
15	LV1	25	Бобовый, дрожжевой	Кислый, слабовыраженный вкус сырых бобов	Жидкая, поверхность покрыта пузырьками, пористая	3,0
16		50	Бобовый	Сырых бобов	Густая, густота увеличивается с количеством чечевичной муки, пористость уменьшается	3,0
17		75	Бобовый	Сырых бобов		2,0
18		100	Бобовый	Сырых бобов		1,5

0,1 % к массе муки. Количество вносимой воды определяли исходя из влажности муки (14,5 % для пшеничной, 8,5 % для чечевичной и 10,1 % для муки из зеленой гречихи) и влажности закваски (50 %). В качестве контрольных образцов выступали закваски с использованием 100 % пшеничной муки. Опытные образцы готовились с введением 25, 50, 75 % нетрадиционных видов муки, а также с полной заменой пшеничной муки.

Рецептуры заквасок на основе стартовых культур приведены в таблице 1.

Термостатирование заквасок проводили при 28 °С в течение 24 ч.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования определялся ряд показателей до и после брожения в исследуемых полуфабрикатах, а именно кислотность и содержание редуцирующих сахаров, увеличение объема. Кроме того, были определены органолептические показатели полученных полуфабрикатов. Результаты представлены в таблицах 2 и 3.

Анализируя данные таблицы 2, стоит отметить, что показатели заквасок с введением нетрадиционных видов муки отличаются от контрольных образцов по аромату, вкусу, внешнему виду и интенсивности подъема.

При использовании муки из зеленой гречихи в аромате образца № 3 ощущались сладкие нотки, а в образцах № 7–10 – яблочный аромат разной интенсивности. Кроме того, все образцы приобретали гречневый и кислый вкус.

Все образцы заквасок с чечевичной мукой имеют бобовый аромат. В образцах со стартовой культурой LV1 присутствуют кислые ноты, а в образцах с культурой LV4 кислые ноты отсутствуют. Вкус у всех образцов, кроме № 11 и 17, бобовый.

Характерный вкус нетрадиционных видов муки проявляется при смешивании с пшеничной мукой 50 и 75 % чечевичной муки и 75% муки из зеленой гречихи.

Кроме того, опытные образцы, по сравнению с контрольными, обладают густой консистенцией. Это связано с высокой водопоглощающей способностью нетрадиционных видов муки [24]. Данное явление можно отнести к положительным сторонам, т. к. с точки зрения технологии производства это облегчает работу с закваской, ее дозированием.

Как видно из таблицы 3, кислотность до термостатирования растет с увлечением количества муки из зеленой гречихи или чечевичной муки, вводимой в закваску. Это объясняется их большей кислотностью, а также высоким содержанием

Таблица 3. Влияние заквасок, вида и соотношения муки на химические показатели качества закваски

Table 3. Effect of starter cultures, type and ratio of flour on chemical quality indicators

№ образца	Стартовая культура	Количество муки (на сухое вещество), %	Кислотность, град. кисл. (начальная)	Кислотность, град. кисл. (конечная)	Разница кислотности, град. кисл.	Редуцирующие сахара, % (начальные)	Редуцирующие сахара, % (конечные)	Разница редуцирующих сахаров, %
Контроль								
1	LV4	Контроль	0,9	11,6	+10,7	0,87	1,28	+0,59
2	LV1	Контроль	0,8	8,3	+7,5	0,88	1,27	+0,39
Мука из зеленой гречихи								
3	LV4	25	1,3	11,3	+10,0	0,86	0,26	−0,60
4		50	1,7	12,8	+11,1	0,83	0,21	−0,62
5		75	2,8	13,5	+10,7	0,78	0,39	−0,39
6		100	3,2	14,0	+10,8	0,75	0,31	−0,44
7	LV1	25	1,3	7,1	+5,8	0,87	0,28	−0,59
8		50	1,7	9,3	+7,6	0,84	0,44	−0,40
9		75	2,8	8,9	+6,1	0,80	0,35	−0,45
10		100	3,2	8,0	+4,8	0,77	0,48	−0,29
Мука чечевичная								
11	LV4	25	2,1	13,6	+11,5	0,88	0,74	−0,14
12		50	3,1	14,7	+11,6	0,84	0,1	−0,31
13		75	4,8	12,7	+9,9	0,82	0,11	−0,60
14		100	5,5	12,0	+6,5	0,87	0,12	−0,55
15	LV1	25	2,1	10,0	+7,9	0,88	0,83	−0,05
16		50	3,1	10,0	+6,9	0,89	0,58	−0,31
17		75	4,9	8,1	+3,2	0,83	0,23	−0,60
18		100	5,5	8,7	+3,2	0,87	0,32	−0,55

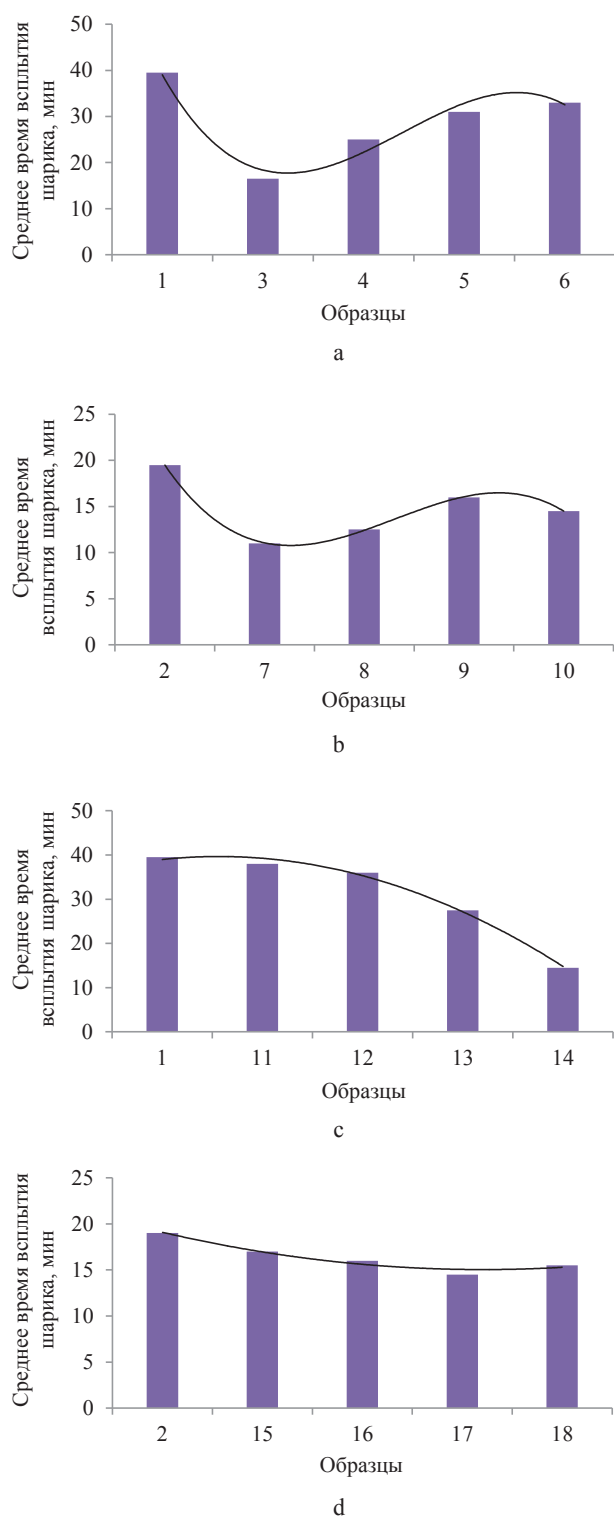


Рисунок 1. Определение подъемной силы методом «шарика»: а) LV4 – контроль и мука из зеленой гречихи; б) LV1 – контроль и мука из зеленой гречихи; в) LV4 – контроль и чечевичная мука; г) LV1 – контроль и чечевичная мука

Figure 1. Inflation rate by the “ball” method: а) LV4 – control and green buckwheat flour; б) LV1 – control and green buckwheat flour; в) LV4 – control and lentil flour; г) LV1 – control and lentil flour

кислот [24]. Кислотность муки, во-первых, зависит от белков, карбоксильные группы которых связывают щелочи. Во-вторых, от количества жирных кислот, освобождающихся под действием липаз. Кроме того, кислотность муки зависит от содержания фосфорной кислоты, которая в различной форме содержится в муке, и органических кислот, находящихся в муке в незначительных количествах.

Из таблицы 3 видно, что в случае с мукой из зеленой гречихи конечная кислотность растет с увеличением количества вводимой муки. Закваски на стартовой культуре LV4 имеют большую кислотность, чем на стартовой культуре LV1. Наибольшее накопление кислот происходит в случае с введением 50 % муки из зеленой гречихи (№ 4, 8) для обеих стартовых культур. Для образцов с чечевичной мукой также наблюдается большая кислотность у образцов с культурой LV4. Наибольшее накопление кислот происходит с введением 25 и 50 % чечевичной муки (№ 11, 12, 15, 17) для обеих стартовых культур.

Анализ данных показал, что количество редуцирующих сахаров в процессе брожения в контрольных образцах увеличилось в 1,5 раза (№ 1, 2). Это связано с тем, что под действием амилаз муки крахмал расщепляется с образованием мальтозы. Мальтоза под действием ферментов мальтаз микроорганизмов образует 2 молекулы глюкозы, которые сбраживаются микроорганизмами. Если мука имеет низкую амилолитическую активность, то брожение не будет идти достаточно интенсивно, что скажется на качестве хлеба. Высокое содержание моносахаров может дать яркую окраску корочки хлеба.

Интенсивное уменьшение количества редуцирующих сахаров в образцах с введением муки из зеленой гречихи наблюдается в образцах № 3, 4, 7 и 8; с чечевичной мукой в образцах № 12, 13, 14, 17 и 18. При этом в образцах со стартовой культурой LV1 разница больше, чем в образцах с LV4. Это можно объяснить различным видовым составом микроорганизмов. Уменьшение количества редуцирующих сахаров может свидетельствовать об активном процессе брожения, а также об уменьшении активности амилаз вследствие увеличения кислотности среды.

Подъемную силу определяли методом всплывания «шарика» (рис. 1). По результатам измерений все образцы были более активны, чем контроль. Это свидетельствует об активном состоянии дрожжей в заквасках. Однако стоит отметить, что в случае с мукой из зеленой гречихи минимальное время всплывания шарика наблюдалось у образцов № 3, 4, 7 и 8, а в случае с чечевичной мукой – у образцов № 13, 14, 17 и 18.

Проанализировав экспериментальные данные, следует отметить, что внесение нетрадиционных видов муки положительно повлияло на бродительную

активность заквасок с применением стартовых культур.

Закваски с внесением нетрадиционных видов муки были активными, имели приятный аромат и вкус, а также имели достаточную кислотность.

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

– введение муки из зеленой гречихи положительно сказывается на активности заквасок, произведенных на стартовых культурах «Lesaffre» (Saf-Levain LV1 и Saf-Levain LV4). При добавлении 25 и 50 % муки из зеленой гречихи у заквасок повышаются накопление титруемых кислот, потребление редуцирующих сахаров и органолептические показатели. В случае с введением 75 % муки из зеленой гречихи и полной заменой пшеничной муки наблюдаются изменения в сторону уменьшения накопления титруемых кислот и потребления редуцирующих сахаров. Это можно объяснить высоким содержанием фенольных соединений в муке из зеленой гречихи. Фенольные соединения задерживают диффузию питательных веществ, отлагаясь на поверхностях оболочек клеток [25];

– введение чечевичной муки с заменой пшеничной также положительно сказывается на активности заквасок. Это можно объяснить высоким содержанием аминокислот в чечевичной муке, который позитивно влияет на жизнедеятельность микроорганизмов. Стоит также выделить образцы с заменой 75 и 100 % пшеничной муки, отличившимися показате-

лями времени всплывания «шарика» и изменения редуцирующих сахаров;

– у заквасок с препаратом Saf-Levain LV4 в 1,5 раза больше кислотность, чем на Saf-Levain LV1;

– закваски с внесением нетрадиционных видов муки могут быть рекомендованы для изготовления различных видов хлеба, хлебобулочных изделий и использованы для дальнейших исследований.

Введение заквасок на основе нетрадиционных видов муки с применением стартовых культур в хлебобулочные изделия позволит сократить продолжительность брожения теста, а также получить изделия с высокими потребительскими свойствами. Кроме того, за счет внесения нетрадиционных видов муки будет расширен ассортимент, а также повышена пищевая ценность выпускаемой продукции.

Критерии авторства

Все авторы принимали участие в исследованиях, обработке данных и написании текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors took equal part in the research, data processing, and writing the manuscript.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Разработка хлебопекарных композитных смесей для здорового питания / Е. В. Невская [и др.] // *Техника и технология пищевых производств*. 2019. Т. 49. № 4. С. 531–544. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-531-544>.
2. Ключкова И. С., Масленникова Е. В. Использование нетрадиционного сырья при разработке рецептур хлебобулочных изделий // *Пищевая промышленность*. 2021. № 4. С. 32–35. <https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-4-0033>.
3. Development of integrated technology and assortment of long-life rye-wheat bakery products / E. V. Nevskaya [et al.] // *Foods and Raw Materials*. 2018. Vol. 6. № 1. P. 99–109. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-99-109>.
4. Идентификация микроорганизмов хлебных заквасок методом секвенирования / Л. И. Кузнецова [и др.] // *Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова*. 2012. Т. 2. № 2. С. 236–241.
5. Афанасьева О. В. Микробиология хлебопекарного производства. СПб.: Береста, 2003. 220 с.
6. Косован А. П. Сборник современных технологий хлебобулочных изделий. М.: ГНУ ГОСНИИХП РАСХН, 2008. 268 с.
7. Influence of leavens of spontaneous fermentation and phytoadditives on the provision of microbiological safety of bread / K. S. Rakhmonov [et al.] // *Journal of Critical Review*. 2020. Vol. 7. № 5. P. 850–860. <https://doi.org/10.31838/jcr.07.05.177>.
8. Sourdough improves the quality of whole-wheat flour products: Mechanisms and challenges – A review / S. Ma [et al.] // *Food Chemistry*. 2021. Vol. 360. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130038>.
9. Хлесткин В. К. Традиции ведения хлебных заквасок на Русском Севере // *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020. Т. 6. № 2. С. 65–71. <https://doi.org/10.18699/Letters2020-6-08>.

10. Князева Д. Д. Потребление хлеба и хлебобулочных изделий в Российской Федерации // Наука без границ. 2021. Т. 55. № 3. С. 67–73.
11. Майорова Е. А. Анализ динамики и прогнозирование потребительских цен на хлеб и хлебобулочные изделия // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2019. Т. 8. № 4. С. 270–272. <https://doi.org/10.26140/anie-2019-0804-0059>.
12. Кирюхина А. Н., Григорьева Р. З., Кожевникова А. Ю. Современное состояние и перспективы развития производства хлеба и хлебобулочных изделий в России // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49. № 2. С. 330–337. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-330-337>.
13. Богатырева Т. Г. Значение кислотообразующих микроорганизмов в технологии хлебобулочных изделий из пшеничной муки // Хлебопекарное производство. 2011. № 1. С. 46–53.
14. Андреев А. Н., Виноградов Ю. А., Китиссу Ю. А. Использование стартовых культур для приготовления ржаных заквасок // Партнер. Кондитер. Хлебопек. 2008. № 17. С. 92–99.
15. О возможности применения муки из фасоли и гороха в хлебопечении / И. М. Русина [и др.] // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2012. Т. 18. № 4. С. 22–27.
16. 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. Vol. 69. P. 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.02.006>.
17. Influence of emulsifiers and enzymes on dough rheological properties and quality characteristics of steamed bread enriched with potato pulp / Y. Cao [et al.] // Food Chemistry. 2021. Vol. 360. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130015>.
18. Lentil flour formulations to develop new snack-type products by extrusion processing: Phytochemicals and antioxidant capacity / P. Morales [et al.] // Journal of Functional Foods. 2015. Vol. 19. P. 537–544. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.044>.
19. Самаров В. М., Тарасенко А. И. Чечевица – ценная зернобобовая культура. Кемерово: Кузбассвузиздат, 2012. 95 с.
20. Lentil flour: nutritional and technological properties, *in vitro* digestibility and perspectives for use in the food industry / A. Romano [et al.] // Current Opinion in Food Science. 2021. Vol. 40. P. 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.04.003>.
21. Глаголева Л. Э., Коротких И. В. Растительный комплекс зеленой гречихи в технологии производства сырников // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. Т. 67. № 1. С. 132–136. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-1-132-136>.
22. Bioactive compounds in different buckwheat species / G. Podolska [et al.] // Plants. 2021. Vol. 10. № 5. <https://doi.org/10.3390/plants10050961>.
23. Yang J., Lee J., Sung J. Influence of acid treatment on flavonoid content and biological activity in tartary buckwheat grains and its application for noodles // LWT. 2021. Vol. 145. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111488>.
24. Изучение химического состава нетрадиционных видов муки / С. С. Гурьев [и др.] // Современная наука и инновации. 2019. Т. 27. № 3. С. 142–152. <https://doi.org/10.33236/2307-910X-2019-3-27-142-152>.
25. Lyra Colombi B., Silva Zanon P. R., Benathar Ballo Tavares L. Effect of phenolic compounds on bioconversion of glucose to ethanol by yeast *Saccharomyces cerevisiae* PE-2 // Canadian Journal of Chemical Engineering. 2018. Vol. 96. № 7. P. 1444–1450. <https://doi.org/10.1002/cjce.23114>.

References

1. Nevskaya EV, Tyurina IA, Tyurina OE, Shulbaeva MT, Potapova MN, Golovacheva YaS. Healthy bakery composite mixes. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(4):531–544. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-531-544>.
2. Klochkova IS, Maslennikova EV. The use of non-traditional raw materials in the development of recipes for bakery products. Food Industry. 2021;4(4):32–35. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-4-0033>.
3. Nevskaya EV, Borodulin DM, Potekha VL, Nevskiy AA, Lobasenko BA, Shulbaeva MT. Development of integrated technology and assortment of long-life rye-wheat bakery products. Foods and Raw Materials. 2018;6(1):99–109. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-99-109>.
4. Kuznetsova LI, Savkina OA, Ternovskoy GV, Pavlovskaya EN. Identifikatsiya mikroorganizmov khlebnykh zakvasok metodom sekvenirovaniya [Identification of microorganisms of bread sourdough by sequencing]. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya pamyati Vasiliya Matveevicha Gorbatova [International scientific and practical conference dedicated to the memory of V.M. Gorbatov]. 2012;2(2):236–241. (In Russ.).
5. Afanas'eva OV. Mikrobiologiya khlebopekarnogo proizvodstva [Microbiology of bakery production]. St. Petersburg: Beresta; 2003. 220 p. (In Russ.).
6. Kosovan AP. Sbornik sovremennykh tekhnologiy khlebobulochnykh izdeliy [Collection of modern technologies for bakery products]. Moscow: GNU GOSNIKHP RASKHN; 2008. 268 p. (In Russ.).

7. Rakhmonov KS, Atamuratova TI, Djuraeva NR, Isabaev IB, Haydar-Zade LN. Influence of leavens of spontaneous fermentation and phytoadditives on the provision of microbiological safety of bread. *Journal of Critical Review*. 2020;7(5):850–860. <https://doi.org/10.31838/jcr.07.05.177>.
8. Ma S, Wang Z, Guo X, Wang F, Huang J, Sun B, et al. Sourdough improves the quality of whole-wheat flour products: Mechanisms and challenges – A review. *Food Chemistry*. 2021;360. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130038>.
9. Khlestkin VK. Traditions of local bread sourdoughs management on the Russian North. *Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;6(2):65–71. (In Russ.). <https://doi.org/10.18699/Letters2020-6-08>.
10. Knyazeva DD. Consumption of bread and bakery products in the Russian Federation. *Science without Borders*. 2021;55(3):67–73. (In Russ.).
11. Mayorova EA. Analysis of the dynamics and forecasting of consumer prices for bread and bakery products. *Azimuth of Scientific Research: Economics and Administration*. 2019;8(4):270–272. (In Russ.). <https://doi.org/10.26140/anie-2019-0804-0059>.
12. Kiryukhina AN, Grigoreva RZ, Kozhevnikova AYU. Bread production and bakery products in Russia: Current state and prospects. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2019;49(2):330–337. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-330-337>.
13. Bogatyreva TG. Znachenie kislotoobrazuyushchikh mikroorganizmov v tekhnologii khlebobulochnykh izdeliy iz pshenichnoy muki [The value of acid-forming microorganisms in the technology of wheat bakery products]. *Khlebopekarnoe proizvodstvo* [Bakery Production]. 2011;(1):46–53. (In Russ.).
14. Andreev AN, Vinogradov YuA, Kitissu YuA. Ispol'zovanie startovykh kul'tur dlya prigotovleniya rzhanykh zakvasok [Starter cultures for the preparation of rye starters]. *Partner. Konditer. Khlebopek* [Partner. Confectioner. Baker]. 2008;(17):92–99. (In Russ.).
15. Rusina IM, Makarchikov AF, Trotskaya TP, Mistsiyk YuV, Kavaleuskaja SS. Possibilities of kidney beans flour and pea flour using for bread production. *Food Industry: Science and Technology*. 2012;18(4):22–27. (In Russ.).
16. 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>.
17. Cao Y, Jiang L, Suo W, Deng Y, Zhang M, Dong S, et al. Influence of emulsifiers and enzymes on dough rheological properties and quality characteristics of steamed bread enriched with potato pulp. *Food Chemistry*. 2021;360. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130015>.
18. Morales P, Cebadera-Miranda L, Camara RM, Reis FS, Barros L, Berrios JDJ, et al. Lentil flour formulations to develop new snack-type products by extrusion processing: Phytochemicals and antioxidant capacity. *Journal of Functional Foods*. 2015;19:537–544. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.044>.
19. Samarov VM, Tarasenko AI. Chechevitsa – tsennaya zernobobovaya kul'tura [Lentils are valuable legumes]. *Kemerovo: Kuzbassvuzizdat*; 2012. 95 p. (In Russ.).
20. Romano A, Gallo V, Ferranti P, Masi P. Lentil flour: nutritional and technological properties, *in vitro* digestibility and perspectives for use in the food industry. *Current Opinion in Food Science*. 2021;40:157–167. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.04.003>.
21. Glagoleva LE, Korotkikh IV. Herbal complex of green buckwheat in the production technology of cakes. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2016;67(1):132–136. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-1-132-136>.
22. Podolska G, Gujska E, Klepacka J, Aleksandrowicz E. Bioactive compounds in different buckwheat species. *Plants*. 2021;10(5). <https://doi.org/10.3390/plants10050961>.
23. Yang J, Lee J, Sung J. Influence of acid treatment on flavonoid content and biological activity in tartary buckwheat grains and its application for noodles. *LWT*. 2021;145. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111488>.
24. Gur'ev SS, Safonova EE, Malyshev LL, Khoreva VI, Smolenskaya AE, Popov VS. Study of chemical composition unconventional species of flour. *Sovremennaya nauka i innovacii*. 2019;27(3):142–152. (In Russ.). <https://doi.org/10.33236/2307-910X-2019-3-27-142-152>.
25. Lyra Colombi B, Silva Zanoni PR, Benathar Ballod Tavares L. Effect of phenolic compounds on bioconversion of glucose to ethanol by yeast *Saccharomyces cerevisiae* PE-2. *Canadian Journal of Chemical Engineering*. 2018;96(7):1444–1450. <https://doi.org/10.1002/cjce.23114>.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-480-491>
УДК 663.3

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Научные аспекты разработки идентификационных критериев дистиллятов из фруктового сырья

Е. В. Дубинина^{1,*}, Л. Н. Крикунова¹, В. А. Песчанская¹,
М. В. Тришканева²



¹ Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности^{ROR}, Москва, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования^{ROR}, Видное, Россия

Поступила в редакцию: 30.04.2021

Принята после рецензирования: 31.05.2021

Принята в печать: 15.07.2021



*e-mail: elena-ud@yandex.ru

© Е. В. Дубинина, Л. Н. Крикунова, В. А. Песчанская, М. В. Тришканева, 2021

Аннотация.

Введение. Напитки на основе фруктовых дистиллятов относятся к элитной группе спиртных напитков. Существует высокий риск продажи поддельной продукции в данной группе. Контролируемые показатели не позволяют идентифицировать дистилляты по виду сырья. Цель работы – разработка научно-обоснованных идентификационных критериев фруктовых дистиллятов.

Объекты и методы исследования. Десять видов фруктов и дистилляты из них. Использовали три схемы подготовки сырья: сбраживание мезги, сбраживание сока, подбраживание фруктовой мезги с последующей мацерацией. Состав сырья оценивали по массовой концентрации сахаров, титруемых кислот, pH, концентрации моно- и дисахаридов, свободных органических кислот и аминокислот методом ВЭЖХ, значению сахаро-кислотного индекса. Концентрацию высших спиртов в дистиллятах определяли методом газовой хроматографии.

Результаты и их обсуждение. Установлены существенные различия в биохимическом составе сырья, которые позволили разделить его на группы в зависимости от способов подготовки к дистилляции. Анализ полученных дистиллятов показал, что они могут быть идентифицированы по величине соотношения концентраций основных высших спиртов: 1-пропанол/сумма изобутанола и изоамилола. Выявленные различия обусловлены особенностями соотношения органических кислот и аминокислот. Для дистиллятов из кизила, черной смородины, алычи, сливы, вишни и абрикосов величина отношения 1-пропанола к сумме изобутанола и изоамилола характеризуется следующими интервалами значений: 0,02–0,06, 0,08–0,10, 0,30–0,35, 0,47–0,51, 0,55–0,65 и 0,69–0,92 соответственно. Способ подготовки сырья к дистилляции не оказывает существенного влияния на дифференциацию величин предлагаемого идентификационного показателя.

Выводы. Результаты исследования позволяют рекомендовать величину соотношения концентраций 1-пропанола/суммы изобутанола и изоамилола в качестве показателя для идентификации дистиллятов из кизила, черной смородины, алычи, сливы, вишни и абрикосов.

Ключевые слова. Фруктовые дистилляты, биохимический состав, сырье, высшие спирты, напитки, идентификация

Финансирование. Статья профинансирована Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России)^{ROR} и подготовлена в рамках выполнения государственного задания Всероссийским научно-исследовательским институтом пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности (ВНИИПБиВ)^{ROR} по теме FNEN-2019-00024 и государственного задания Всероссийским научно-исследовательским институтом технологии консервирования (ВНИИТеК)^{ROR} по теме FNEN-2019-00015.

Для цитирования: Научные аспекты разработки идентификационных критериев дистиллятов из фруктового сырья / Е. В. Дубинина [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 480–491. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-480-491>.

Original article

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

Scientific Aspects of Identification Criteria for Fruit Distillates

Elena V. Dubinina^{1,*}, Ludmila N. Krikunova¹,
Violetta A. Peschanskaya¹, Marina V. Trishkaneva²

¹ All-Russian Research Institute of Brewing, Non-alcoholic and Wine Industry^{ROR}, Moscow, Russia

² All-Russian Scientific Research Institute of Canning Technology^{ROR}, Vidnoe, Russia

Received: April 30, 2021

Accepted in revised form: May 31, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021



*e-mail: elena-ud@yandex.ru

© E.V. Dubinina, L.N. Krikunova, V.A. Peschanskaya, M.V. Trishkaneva, 2021

Abstract.

Introduction. Beverages based on fruit distillates belong to elite alcoholic drinks. As a result, there is a high risk of counterfeit. Controlled indicators do not allow identifying distillates by the type of raw material. The research objective was to develop scientifically based identification criteria for fruit distillates.

Study objects and methods. The research featured ten fruits and their distillates. It involved three schemes of pre-distillation processing: pulp fermentation, juice fermentation, and pulp fermentation with subsequent maceration. The biochemical composition of raw materials was assessed by the HPLC analysis of mass concentration of sugars, titratable acids, pH, mono- and disaccharides, free organic acids and amino acids, as well as by the sugar-acid index. The concentration of higher alcohols in the distillates was determined using gas chromatography.

Results and discussion. The research revealed significant differences in the biochemical composition of raw materials, which made it possible to divide it into groups depending on the methods of pre-distillation processing. The groups can be identified by the ratio of the concentrations of the main higher alcohols: 1-propanol to the sum of isobutanol and isoamylol. The revealed differences were caused by the peculiarities of the ratio of organic acids and amino acids. For the distillates of Cornelian cherry, black currant, cherry-plum, plum, cherry, and apricot, the ratio of 1-propanol to the sum of isobutanol and isoamylol was within the following ranges: 0.02–0.06, 0.08–0.10, 0.30–0.35, 0.47–0.51, 0.55–0.65, and 0.69–0.92, respectively. The method of preparing raw materials for distillation did not affect the values of the identification indicator.

Conclusion. The ratio of 1-propanol to the sum of isobutanol and isoamylol could serve as an indicator for the identification of distillates of Cornelian cherries, black currant, cherry-plum, plum, cherry, and apricot. However, it proved useless for distillates of pears, raspberries, tangerines, and mulberries, since its values were within comparable limits. Therefore, the research requires a GC-MS analysis to determine the concentration and ratios of other specific volatile components in other raw materials.

Keywords. Fruit distillates, biochemical composition, raw materials, higher alcohols, beverages, identification

Funding. The research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka)^{ROR} as part of state assignment for the All-Russian Research Institute of Brewing, Non-Alcoholic, and Wine Industry (VNIIPBiVP)^{ROR} (topic FNEN-2019-00024) and the All-Russian Research Institute of Canning Technology (VNIITeK)^{ROR} (topic FNEN-2019-00015).

For citation: Dubinina EV, Krikunova LN, Peschanskaya VA, Trishkaneva MV. Scientific Aspects of Identification Criteria for Fruit Distillates. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):480–491. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-480-491>.

Введение

Потребительские свойства напитков на основе фруктовых дистиллятов определяются их вкусо-ароматическим профилем и показателями безопасности, которые зависят от особенностей биохимического состава сырья, а также способов и режимных параметров его переработки [1–4]. Для производства таких дистиллятов в мировой практике используют широкий ассортимент фруктового сырья. На его биохимический состав, кроме физиологических особенностей вида, оказывают влияние различия природно-климатических условий произрастания.

Регламентом Европейского Союза при характеристике спиртных напитков из фруктов учитывается способ переработки сырья и контролируется ограниченный перечень показателей: крепость дистиллята, общее содержание летучих компонентов и максимальное содержание метанола.

Крепость фруктовых дистиллятов ограничена величиной не более 86 % об. Высокие значения крепости дистиллята не позволяют идентифицировать его при органолептической оценке по отношению к используемому сырью. По этой же причине содержание летучих веществ должно составлять не менее 200 г на гектолитр безводного спирта. Показатель максимального содержания метанола в спиртных напитках из фруктовых дистиллятов введен в связи с тем, что фрукты и ягоды содержат высокую концентрацию пектиновых веществ, в том числе растворимого пектина (до 2,5 % масс). Причем большинство видов сырья содержат пектин с высокой степенью метоксилирования (50 % и выше) [5–9]. В процессе мацерации и ферментации сырья происходит отделение метоксильных групп с образованием метанола. Метанол является наиболее токсичным спиртом ($LC_{50} = 7060 \text{ mg/kg}$). Токсичность

метанола превышает токсичность этанола в $4,7 \times 10^3$ раз. Предельно допустимые концентрации метанола в фруктовых бренди в странах Европейского Союза варьируются от 10 до 13,5 г/дм³ а.а. и зависят от вида сырья. В Российской Федерации максимально допустимым является содержание метанола в фруктовом дистилляте 2 г/дм³, что составляет 2,4 г/дм³ а.а. В нормативной документации, действующей на территории РФ и стран Таможенного Союза, кроме перечисленных выше показателей, регламентируется содержание фурфурола, диоксида серы, железа и показателей безопасности во фруктовых (плодовых) дистиллятах. Однако все перечисленные показатели не являются специфическими, что не дает возможность идентифицировать дистиллят по виду сырья.

В научной практике имеются работы, предлагающие способы идентификации фруктовых дистиллятов: способ, основанный на оценке профиля минерального состава с использованием атомно-абсорбционной спектрометрии; способ, основанный на применении спектроскопии комбинированного рассеяния [10, 11]. Исследования, выполненные отечественными и зарубежными специалистами, показали необходимость расширения перечня контролируемых показателей для производства высококачественных фруктовых дистиллятов и напитков на их основе. Установлено, что качество фруктовых дистиллятов зависит не только от общего содержания летучих веществ и их концентрации, но и от соотношения концентраций отдельных компонентов [12, 13]. Существенную долю летучих веществ в любых дистиллятах, в том числе из фруктового сырья, составляют высшие спирты C₃–C₆ (до 65–78 %). В процентном отношении среди высших спиртов преобладают 1-пропанол, изобутанол и изоамилол. Ранее проведенные исследования показали, что концентрация и соотношение этих летучих компонентов в дистиллятах влияет на их органолептические показатели и дегустационную оценку [14, 15].

Кроме перечисленных высших спиртов, во фруктовых дистиллятах присутствуют 2-пропанол, 2-бутанол, амилол, гексанол, гептанол и др. Однако преобладающее их количество содержится в концентрациях ниже порога восприятия.

В ряде работ показано, что способ переработки сырья является одним из основных факторов, влияющих на качественные показатели дистиллятов [16–18].

Исследований, позволяющих идентифицировать фруктовые дистилляты по виду используемого сырья с учетом особенностей его биохимического состава, до настоящего времени не проводилось.

Цель настоящей работы состояла в выявлении взаимосвязи особенностей биохимического состава отдельных видов фруктового сырья, а также способов

его переработки с концентрацией и соотношением основных высших спиртов во фруктовых дистиллятах, которые позволят научно обосновать разработку критериев идентификации фруктовых дистиллятов по отношению к исходному сырью.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования в работе использовали свежее фруктовое сырье и образцы дистиллятов. Выбор видов фруктового сырья основывался на его распространенности при производстве дистиллятов в мировой практике. В данной работе не рассматривался вариант производства дистиллята из яблок, т. к. данный вид сырья используется для производства кальвадосных дистиллятов, приготавливаемых по особой технологии (ГОСТ Р 51300-99). Было использовано 48 партий различных видов фруктового сырья, в том числе:

- абрикос (урожай 2012–2014 гг., регион произрастания – Дербентский район, Республика Дагестан);
- алыча (урожай 2014 и 2019 гг., регионы произрастания – Дербентский район, Республика Дагестан; предгорные районы Кабардино-Балкарии);
- вишня (урожай 2013–2014 гг., регион произрастания Липецкая область);
- груша (урожай 2012–2014 гг., регионы произрастания – Дербентский район, Республика Дагестан; Краснодарский край; Ростовская область);
- кизил (урожай 2011 и 2019 гг., регионы произрастания – Краснодарский край; предгорные районы Кабардино-Балкарии);
- малина (урожай 2016–2017 гг., регион произрастания Московская область);
- мандарин (урожай 2011 и 2018 гг., регион произрастания, поставщик – Абхазия);
- слива (урожай 2012–2013 гг., регион произрастания Московская область);
- черная смородина (урожай 2016–2017 гг., регион произрастания – Московская область);
- шелковица (урожай 2014–2015 гг., регион произрастания – Кизлярский район, Республика Дагестан).

Получение опытных образцов дистиллятов из перечисленных видов фруктового сырья включало в себя две стадии. На первой стадии осуществляли подготовку сырья к дистилляции с использованием трех способов:

- способ 1 – сбраживание фруктовой (плодовой) мезги;
- способ 2 – сбраживание фруктового сока;
- способ 3 – подбраживание фруктовой мезги до снижения массовой концентрации сахаров не более 50 % от исходного содержания, внесение этилового спирта из расчета достижения конечной концентрации 25 % об., мацерация подготовленного сырья в течение 5 суток.

Процесс подготовки сырья к сбраживанию и технологические режимы сбраживания фруктового сырья приведены в работах [17, 18].

Независимо от способа подготовки сырья проводили регулирование величины pH путем внесения раствора серной кислоты, в ряде случаев – разбавления умягченной водой.

На второй стадии проводили процесс фракционированной дистилляции на установке прямой сгонки Kothe Destillationstechnik (Германия). Температура греющих паров составляла от 102 °С в начале дистилляции до 105 °С в конце дистилляции. Давление греющих паров в процессе дистилляции поддерживали на уровне не более 1,2 мПа.

При оценке биохимического состава фруктового сырья в соке определяли массовую концентрацию сахаров по ГОСТ 13192-73, титруемых кислот по ГОСТ 32114-2013. Величину pH определяли с помощью лабораторного pH-метра pH 211 («HANNA Instruments», Германия) со специальным стеклянным pH-электродом HI 1048B.

Качественный и количественный состав моно-, дисахаридов и свободных органических кислот в сырье определяли с использованием ВЭЖХ на приборе Agilent Technologies 1200 Series (Agilent, США) по ГОСТ 31669-2012 и ГОСТ 32771-2014 соответственно.

Для определения качественного и количественного состава свободных аминокислот методом ВЭЖХ использовали прибор Agilent Technologies 1200 Series с хроматографической колонкой Luna 5u C18(2) 150×4,6 мм 5 μ (Phenomenex, США) с предколонкой. Пробоподготовку и определение осуществляли в соответствии с ФР. 1.31.2012.13428 «Методика измерений массовой концентрации свободных аминокислот в напитках алкогольных

и безалкогольных методом высокоэффективной жидкостной хроматографии». Применяли следующие рабочие параметры жидкостного хроматографа: скорость потока элюента (ацетонитрил/ацетатный буферный раствор) – 1,0 см³/мин; градиент, %: 0–28 мин – 10/90; 29–40 мин – 28/72; 41–50 мин – 25/75; 51–55 мин – 50/50; 56–60 мин – 90/10; 61–63 мин – 10/90.

Сахаро-кислотный индекс определяли расчетным путем в виде соотношения массовых концентраций редуцирующих сахаров и титруемых кислот.

Качественный состав и массовую концентрацию высших спиртов в фруктовых дистиллятах определяли с использованием газовой хроматографии на приборе Thermo Trace GC Ultra (Thermo, США) с пламенно-ионизационным детектором по ГОСТ 33834-2016. С целью проведения сравнительного анализа исследованных образцов концентрацию основных высших спиртов выражали в мг/дм³ безводного спирта (мг/дм³ б.с.).

Для обработки результатов исследований использовали статистический метод обработки экспериментальных данных, в ходе которого определяли средние значения величин из 3–5 измерений каждого образца, среднеквадратичное отклонение и доверительный интервал [19]. Математическую обработку осуществляли с помощью программ Excell и Statistika. В таблицах приведены минимальное и максимальное значения каждого показателя. Количество образцов каждого вида фруктового сырья варьировалось от 3 до 7.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследований проведена сравнительная оценка основных показателей, характеризующих биохимический состав фруктового

Таблица 1. Сравнительная характеристика биохимического состава отдельных видов фруктового сырья

Table 1. Comparative analysis of the biochemical composition of fruit raw materials

Наименование сырья	Показатели				
	Массовая концентрация, г/дм³			Сахаро-кислотный индекс	pH
	Редуцирующих сахаров	Титруемых кислот	Суммы свободных аминокислот		
Абрикос	110,2–129,8	14,5–18,5	1,4–1,9	7,0–7,5	3,0–3,5
Алыча	55,4–75,3	20,5–23,0	1,1–1,8	2,3–2,7	2,5–3,0
Вишня	69,8–110,2	11,0–15,0	1,5–3,0	6,0–7,5	3,0–3,5
Груша	64,7–79,8	2,5–3,5	0,4–0,6	20,0–25,0	4,0–4,5
Кизил	105,1–149,7	24,0–32,3	0,5–0,7	4,5–5,0	2,3–2,5
Малина	65,3–90,2	19,9–25,8	0,8–1,2	3,0–3,5	2,8–3,0
Мандарин	99,8–114,4	8,5–10,5	1,0–1,3	11,0–11,8	3,2–3,5
Слива	80,2–95,1	16,5–19,0	1,8–3,5	4,8–5,3	2,8–3,1
Черная смородина	84,8–119,6	19,7–30,1	0,6–0,9	4,0–4,3	2,3–2,6
Шелковица	110,2–139,7	1,5–2,5	1,5–7,0	60,0–65,0	5,0–5,2

сырья (табл. 1), традиционно используемого для производства дистиллятов в Российской Федерации и ближнем зарубежье.

Анализ данных, представленных в таблице 1, показал, что по массовой концентрации редуцирующих сахаров исследованное фруктовое сырье можно подразделить на две группы: с низким содержанием сахаров – до 100 г/дм³ (алыча, груша, малина, слива) и высоким – свыше 100 г/дм³ (абрикос, кизил, мандарин, шелковица). Массовая концентрация сахаров определяет выход спирта, образующегося в процессе сбраживания сырья, а крепость сброженного продукта, подаваемого на дистилляцию, влияет на величину коэффициентов испарения отдельных летучих компонентов.

Выявлены существенные отличия по массовой концентрации титруемых кислот в различных видах фруктового сырья. Данный показатель, во-первых, определяет выбор режимных параметров первичной переработки сырья. Во-вторых, влияет на процессы новообразования на стадиях сбраживания и дистилляции.

Одним из основных показателей оценки технологических свойств фруктового сырья для производства дистиллятов является сахаро-кислотный индекс. Данный показатель для исследованных видов плодов варьировался в широких пределах. Максимальные значения сахаро-кислотного индекса имели плоды шелковицы и груши, минимальные – алычи, малины, кизила, черной смородины и сливы. Сахаро-кислотный индекс характеризует соотношение сахаров и кислот в сырье и позволяет выбрать определенные режимные параметры его подготовки к сбраживанию и дистилляции. Используемые для сбраживания фруктового сырья винные расы дрожжей адаптированы к значениям pH на уровне 2,5–3,5. Только при таком значении активной кислотности происходит синтез ценных ароматобразующих компонентов – сложных эфиров высших жирных кислот. Кроме того, следует учитывать, что процесс сбраживания фруктового сырья длительный (от 5 дней до месяца). Использование сернистого ангидрида в качестве консерванта в технологии фруктовых дистиллятов запрещено, т. к. его применение приводит к образованию меркаптановых соединений, снижающих органолептические характеристики продукта, а образующаяся сернистая кислота агрессивна для оборудования [20]. Поэтому для фруктового сырья с высоким сахаро-кислотным индексом требуется проводить дополнительное подкисление. Для фруктов с высокой титруемой кислотностью и низким сахаро-кислотным индексом проводят разбавление мезги или сусла водой, что позволяет снизить негативное воздействие высокой кислотности на дрожжи.

По суммарному содержанию свободных аминокислот исследованные образцы фруктового

сырья принципиально отличались. Минимальной концентрацией свободных аминокислот характеризовались плоды груши, кизила и черной смородины, максимальной – вишни и сливы. При этом интервал варьирования данного показателя зависел от вида сырья. Для большинства видов фруктов он изменялся в 1,5–2,1 раза. Исключение составляли образцы шелковицы. Это связано с использованием в работе как культурных, так и дикорастущих плодов. Максимальную концентрацию свободных аминокислот (7,0 мг/дм³) из пяти исследованных образцов, среди которых были шелковица шелкопрядная, шелковица белая, шелковица черная, имел только образец шелковицы черной.

Дополнительно в работе был изучен состав и содержание моно- и дисахаридов в образцах фруктового сырья. Установлено, что для большинства исследованных видов основными являются моносахариды – глюкоза и фруктоза (табл. 2). Соотношение этих сахаров может варьироваться. В плодах абрикосов, слив и мандаринов в повышенных концентрациях содержится сахароза. По скорости потребления сахаров дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* их располагают в следующем порядке: глюкоза – фруктоза – сахароза.

Изучение состава и концентрации свободных органических кислот во фруктовом сырье было связано с тем, что они в разной степени влияют на метаболизм дрожжей и процесс сбраживания. Выявлено, что основными кислотами, в зависимости от вида сырья, являются яблочная и лимонная (табл. 3). Последняя является преобладающей для малины, черной смородины и плодов мандарина.

При оценке качественных показателей фруктового сырья, предназначенного для получения дистиллятов и напитков на их основе, важно знать качественный

Таблица 2. Состав моно- и дисахаридов фруктового сырья

Table 2. Composition of mono- and disaccharides of fruit raw materials

Наименование сырья	Массовая концентрация, г/дм ³		
	Глюкоза	Фруктоза	Сахароза
Абрикос	20–30	35–40	55–60
Алыча	20–30	30–35	5–10
Вишня	25–45	40–55	5–10
Груша	10–15	50–65	5–10
Кизил	60–80	45–70	–
Малина	40–50	20–30	5–10
Мандарин	10–15	15–20	75–80
Слива	25–30	20–25	35–40
Черная смородина	60–80	20–30	5–10
Шелковица	65–75	50–65	–

Таблица 3. Состав свободных органических кислот фруктового сырья

Table 3. Composition of free organic acids of fruit raw materials

Наименование сырья	Массовая концентрация кислот, г/дм ³				
	Яблочная	Лимонная	Винная	Молочная	Янтарная
Абрикос	12,0–14,0	2,0–3,0	–	0,3–0,5	0,5–1,0
Алыча	17,5–19,0	2,2–2,8	0,7–0,9	–	0,1–0,3
Вишня	9,5–12,0	1,0–1,5	–	0,2–0,5	0,5–1,0
Груша	2,0–3,0	0,1	0,1	0,3–0,4	–
Кизил	20,0–25,0	1,0–1,5	2,5–4,0	0,2–0,5	0,3–1,0
Малина	0,5–1,0	19,0–23,0	0,2–0,5	–	0,3–1,0
Мандарин	0,5–1,5	7,5–8,5	0,1–0,5	–	–
Слива	15,5–17,5	0,6–0,8	0,3–0,5	–	0,1–0,2
Черная смородина	5,0–7,5	14,0–20,0	–	–	1,0–2,5
Шелковица	1,3–2,0	0,1–0,2	–	–	0,1–0,3

состав и концентрацию отдельных свободных аминокислот. Это связано с тем, что аминокислоты сырья рассматриваются как один из видов питательной среды для жизнедеятельности дрожжей. По усвояемости дрожевой клеткой аминокислоты подразделяются на хорошо усваиваемые и плохо усваиваемые. К первой группе относятся изолейцин, триптофан, аргинин, валин, гистидин, аспарагиновая кислота. Ко второй – треонин, фенилаланин, тирозин, метионин, серин, лизин, глицин, глутаминовая кислота и лейцин. Не усваивается дрожевой клеткой пролин. Кроме того, в результате метаболизма дрожжей из аминокислот путем дезаминирования и последующего декарбоксилирования образуются летучие соединения (высшие и ароматические спирты), создающие основу аромата продукта [21].

Данные по содержанию свободных аминокислот в разных видах фруктового сырья представлены в таблице 4. Установлено, что при общем близком суммарном содержании свободных аминокислот в образцах различных видов фруктов доля отдельных аминокислот варьируется. Доля аспарагиновой кислоты составляет от 7 (в плодах мандарина) до 22 % (в абрикосах) и от 5 до 11 % для шелковицы и вишни соответственно. Доля аспарагина, в зависимости от вида фруктов, составляла от 2 (малина) до 60 % (плоды алычи). Для образцов груши, кизила и черной смородины с минимальной массовой концентрацией свободных аминокислот выявлены преобладающие в составе аминокислоты – аспарагин, пролин и аланин (для кизила). В связи с низким содержанием свободных аминокислот в данных видах сырья на стадии сбраживания использовали дополнительные источники азотистого питания в виде активатора Шиха Спид Ферм. В его составе основными являются аспарагиновая и глутаминовая кислоты, а также аспарагин и глутамин [22].

Производство фруктовых дистиллятов предусматривает первичную переработку сырья, стадию

подготовки к дистилляции (сбраживание мезги, отделение и сбраживание сока, мацерация мезги с частичным подбраживанием) и непосредственно процесс дистилляции. Основные биохимические процессы, приводящие к трансформации компонентов фруктового сырья, происходят при брожении. Глубина изменений зависит от исходного биохимического состава плодов и способа подготовки сырья к дистилляции. На стадии сбраживания, помимо потребления сахаров дрожжами с образованием этилового спирта и диоксида углерода, протекают сопутствующие процессы, приводящие к образованию вторичных и побочных продуктов брожения. В процентном отношении среди последних преобладают высшие спирты. Основными высшими спиртами, составляющими основу аромата конечного продукта, являются 1-пропанол, изобутанол и изоамилол.

В настоящей работе впервые проведены исследования по выявлению взаимосвязи между видом используемого фруктового сырья и соотношением основных высших спиртов в дистилляте. Традиционно при подготовке фруктового сырья к дистилляции используют наиболее простой и экономичный способ, основанный на сбраживании мезги. Установлено, что массовая концентрация 1-пропанола, изобутанола и изоамилола, а также суммарное содержание высших спиртов не позволяют идентифицировать дистиллят по виду использованного сырья (табл. 5). Дистилляты из плодов кизила и черной смородины, характеризующиеся близкими значениями по суммарному содержанию органических кислот, свободных аминокислот, сахаров, сахаро-кислотному индексу и переработанных с использованием одинаковых технологических приемов (сбраживание мезги, разбавленной водой в присутствии активатора брожения), имели сопоставимые концентрации высших спиртов. При этом значения соотношения 1-пропанола и суммы изобутанола и изоамилола для данных видов сырья были минимальными

Таблица 4. Состав свободных аминокислот, выделенных из фруктового сырья*

Table 4. Composition of free amino acids isolated from fruit raw materials*

Наименование аминокислоты	Массовая концентрация, мг/дм ³									
	Абрикос	Алыча	Вишня	Груша	Кизил	Малина	Мандарин	Слива	Черная смородина	Шелковица
Аспарагиновая	350	180	240	20	65	20	90	480	35	105
Глутаминовая	40	15	25	40	–	45	75	50	45	10
Аспарагин	220	890	1200	200	180	25	145	1100	50	880
Гистидин	60	–	10	–	10	5	10	40	20	60
Серин	30	10	15	10	–	40	85	100	60	140
Глутамин	95	100	200	30	30	65	60	110	40	320
Пролин	250	210	350	170	150	350	260	120	80	190
Аргинин	25	15	–	–	–	–	370	40	10	35
Глицин	30	10	–	–	–	35	5	40	30	15
Треонин	25	15	30	–	–	45	20	45	–	20
Аланин	200	20	50	10	150	30	55	120	10	120
Тирозин	65	–	–	–	5	20	15	30	35	30
Валин	50	–	–	–	–	20	10	30	100	20
Метионин	5	–	–	–	–	45	0	40	–	10
Триптофан	50	–	–	–	–	25	0	40	35	15
Изолейцин	20	–	–	–	–	60	0	60	60	10
Фенилаланин	100	20	30	–	–	20	25	65	15	25
Лейцин	65	15	20	–	–	150	–	70	120	25
Лизин	20	10	20	–	–	10	15	30	15	10
Сумма	1700	1510	2190	480	590	1010	1240	2610	760	2040

* В таблице приведены средние значения.

* Mean values.

и существенно отличались между собой (в 2–4 раза). Выявленный факт связан с тем, что среди органических кислот в кизиле превалирует яблочная кислота, а в черной смородине – лимонная. Обе кислоты входят в цикл ди- и трикарбоновых кислот спиртового брожения и оказывают различное влияние на метаболизм дрожжевой клетки. Кроме того, кизил и черная смородина отличаются по составу свободных аминокислот. В кизиле основными аминокислотами являются аспарагин и аланин (без учета не используемого дрожжами пролина), а в плодах черной смородины преобладают валин и лейцин. Таким образом, по величине соотношения основных высших спиртов можно четко разделить дистилляты из данных видов сырья – кизил или черная смородина.

Плоды алычи характеризовались самым низким значением сахаро-кислотного индекса, а по содержанию свободных аминокислот занимали промежуточное положение. Дистилляты, полученные из сброженной алычевой мезги, отличались характерным соотношением высших спиртов – 0,32–0,35. Плоды малины, как и алычи, характеризовались пониженным значением сахаро-кислотного индекса и

довольно низким содержанием суммы аминокислот, что предусматривало проведение процесса брожения с внесением дополнительного азотистого питания. Значения показателя, характеризующего соотношение высших спиртов в дистилляте из сброженной малиновой мезги, находились в узких пределах (0,17–0,18). Однако они входят в пределы значений для дистиллятов из груши. Поэтому данный показатель не может рассматриваться как идентификационный для этих видов сырья.

Анализ концентрации и соотношения высших спиртов в дистиллятах из низкокислотного сырья (груша, шелковица) показал, что, несмотря на значительные отличия в абсолютных значениях концентрации сахаров и сахаро-кислотного индекса, не выявлено существенных отличий в величине соотношения высших спиртов. Это связано с тем, что в данных видах сырья качественный состав и концентрация органических кислот имеют близкие значения. Как в груше, так и в шелковице основной является яблочная кислота, концентрация которой варьируется в пределах 1,3–3,0 г/дм³. Существенная разница в качественном составе и концентрации свободных аминокислот в груше и шелковице была

Таблица 5. Содержание высших спиртов во фруктовых дистиллятах (способ 1)

Table 5. Content of higher alcohols in fruit distillates (method 1)

Наименование сырья	Массовая концентрация, мг/дм ³ б.с.				Соотношение 1-пропанол/изобутанол + изоамилол
	Всего высших спиртов	1-пропанол	Изобутанол	Изоамилол	
Абрикос	2530–4310	1180–1510	340–890	770–1810	0,71–0,91
Алыча	4170–5580	760–1420	870–1820	1500–2250	0,32–0,35
Вишня	2990–6100	830–2340	360–1300	1040–2350	0,59–0,64
Груша	2600–5150	430–660	760–1020	1360–3700	0,14–0,20
Кизил	6450–7250	240–350	1800–2100	4300–5100	0,02–0,04
Малина	3910–5680	550–770	1100–1640	1990–2990	0,17–0,18
Мандарин	3400–5140	600–730	730–880	1600–3230	0,18–0,26
Слива	3620–5750	1050–1870	550–1350	1620–2050	0,48 – 0,50
Черная смородина	5260–6280	410–510	1080–1280	3750–4560	0,08–0,10
Шелковица	3230–4700	600–920	960–1720	1300–2340	0,20–0,30

нивелирована тем, что при переработке первой дополнительно вносили активатор брожения.

Плоды мандарина относятся к группе цитрусовых и содержат, в отличие от традиционных видов фруктов, повышенное количество эфирных масел. Данный вид сырья характеризуется высоким сахаро-кислотным индексом и средним содержанием свободных аминокислот. В дистиллятах из сброженной мандариновой мезги диапазон величин соотношения высших спиртов близок к показателю, рассчитанному для дистиллятов из шелковицы.

Дистилляты из абрикосов, вишни и сливы характеризовались высокими значениями соотношения высших спиртов, причем максимальное – в дистиллятах из абрикосов. Данные виды дистиллятов получены с использованием одинаковых технологических параметров. Плоды имели сопоставимые значения по концентрации сахаров и титруемых кислот, а также по соотношению отдельных сахаров и органических кислот. Однако различались по величине сахаро-кислотного индекса. Кроме того, плоды абрикоса характеризовались пониженным содержанием свободных аминокислот – на 30–40 %. Анализ состава и концентрации отдельных аминокислот показал (табл. 4), что в плодах абрикоса суммарное содержание аспарагина и аспарагиновой кислоты составляет около 30 %, а в плодах вишни и сливы – на уровне 60–65 %. Данные различия могли быть одной из причин, повлиявших на величину соотношения высших спиртов в дистиллятах. Различия в величине соотношения высших спиртов в дистиллятах из косточкового сырья, относящегося к роду *Prunus*, позволяют провести их идентификацию.

Расчетные значения соотношения высших спиртов в дистиллятах из алычи отличались от данных для других видов сырья, что также позволяет считать их идентификационным критерием.

Несмотря на существенные различия в видах сырья, между малиной и мандарином не выявлено четкой границы в величине соотношения высших спиртов.

Дополнительно в работе исследовано влияние способов подготовки сырья к дистилляции на состав и соотношение высших спиртов. Установлено, что использование способов, предусматривающих отделение сока от мезги и его сбраживание (способ 2) или подбраживания мезги с последующей мацерацией (способ 3), является причиной снижения концентрации высших спиртов в дистилляте по сравнению с переработкой фруктового сырья по способу 1.

При сбраживании сока, по сравнению с переработкой мезги, снижается общее содержание высших спиртов в 1,2–1,5 раза (табл. 6). Это связано с неполным переходом экстрактивных компонентов сырья из мезги в сок, что ранее было отмечено в ряде работ [23, 24]. Кроме того, наличие твердых частиц в мезге препятствует оседанию дрожжей при сбраживании и способствует интенсификации процесса. При этом соответствие вида сырья и величины соотношения концентрации 1-пропанола и суммы изобутанола и изоамилола сохранилось. Выявлена лишь тенденция некоторого повышения численного значения данного показателя. Последнее может быть связано с изменением метаболизма дрожжевой клетки в условиях изменения реологических характеристик сбраживаемой среды, а также с возможностью изменения ее биохимического состава.

При получении дистиллята, включающего на стадии подготовки сырья подбраживание фруктовой мезги и ее мацерацию этанолом (способ 3), отмечено еще более существенное снижение концентрации высших спиртов – в 2,5–3 раза по сравнению со способом 1 (сбраживание мезги) (табл. 7).

Таблица 6. Содержание высших спиртов во фруктовых дистиллятах (способ 2)

Table 6. Content of higher alcohols in fruit distillates (method 2)

Наименование сырья	Массовая концентрация, мг/дм ³ б.с.				Соотношение 1-пропанол/изобутанол + изоамилол
	Всего высших спиртов	1-пропанол	Изобутанол	Изоамилол	
Абрикос	2110–3080	850–1430	410–610	730–950	0,74–0,92
Алыча	3210–3750	680–960	670–1020	1510–1750	0,31–0,35
Вишня	2300–4070	870–1770	350–930	940–1350	0,62–0,65
Груша	1860–3450	290–580	550–910	980–1850	0,15–0,22
Кизил	5180–5350	200–300	1050–1170	3510–3730	0,04–0,06
Малина	2610–4060	380–570	560–1080	1370–2270	0,19–0,20
Мандарин	2620–3430	510–790	590–950	1410–1720	0,20–0,30
Слива	2800–4100	910–1470	420–790	1320–1680	0,49–0,51
Черная смородина	3500–4490	260–450	870–1010	2160–2350	0,09–0,10
Шелковица	2480–3620	530–870	690–1200	940–1490	0,26–0,32

Таблица 7. Содержание высших спиртов во фруктовых дистиллятах (способ 3)

Table 7. Content of higher alcohols in fruit distillates (method 3)

Наименование сырья	Массовая концентрация, мг/дм ³ б.с.				Соотношение 1-пропанол/изобутанол + изоамилол
	Всего высших спиртов	1-пропанол	Изобутанол	Изоамилол	
Абрикос	1100–1970	350–520	110–380	360–1050	0,69–0,87
Алыча	2700–3450	650–910	870–1140	1150–1430	0,30–0,32
Вишня	2010–4330	760–1880	320–850	880–1530	0,55–0,60
Груша	2930–3670	460–570	560–710	1740–2970	0,14–0,20
Кизил	6180–6850	200–400	1530–2210	3820–4300	0,02–0,04
Малина	2400–4800	510–970	760–1300	1120–2400	0,19–0,20
Мандарин	1560–2820	340–550	350–560	700–1810	0,17–0,24
Слива	3000–4280	860–2100	440–1040	1290–1490	0,47–0,50
Черная смородина	4620–5830	370–480	910–980	3300–4020	0,08–0,10
Шелковица	1050–2100	360–730	200–450	290–850	0,16–0,22

Данный факт обусловлен разбавлением среды водно-спиртовым раствором. Также причиной является неполное сбраживание сахаров и сокращенная длительность процесса. В этом случае сохранялось соответствие вида сырья и величины соотношения концентрации 1-пропанола и суммы изобутанола и изоамилола. Абсолютные значения этого показателя для большинства образцов имеют тенденцию к снижению. Причиной может быть неравномерность синтеза дрожжами отдельных высших спиртов.

Выводы

В настоящей работе впервые проведены исследования по выявлению взаимосвязи между видом используемого фруктового сырья и соотношением основных высших спиртов в дистилляте. На основании исследования основных физико-химических показателей десяти видов фруктового сырья, качественного и количественного состава сахаров, органических кислот и свободных аминокислот, а

также концентрации основных высших спиртов в фруктовых дистиллятах выявлена определенная взаимосвязь вида сырья и величины соотношения высших спиртов. Установлены пределы варьирования показателя, характеризующего отношение массовой концентрации 1-пропанола к сумме концентраций изобутанола и изоамилола, позволяющие считать его в качестве идентификационного для дистиллятов из следующих видов фруктового сырья: кизил – 0,02–0,06; черная смородина – 0,08–0,10; алыча – 0,30–0,35; слива – 0,47–0,51; вишня – 0,55–0,65; абрикос – 0,69–0,92. Способ подготовки сырья к дистилляции не оказывает существенного влияния на дифференциацию величин предлагаемого идентификационного показателя.

Полученные результаты не позволяют рекомендовать данный показатель для идентификации дистиллятов из груши, малины, мандаринов и шелковицы, т. к. его значения находились в сопоставимых пределах и составляли 0,14–0,22, 0,17–0,20, 0,17–0,30 и 0,16–0,32 соответственно.

Считаем перспективным проведение дальнейших исследований в области поиска дополнительных идентификационных показателей на основе определения концентрации и соотношений других летучих компонентов фруктовых дистиллятов, в том числе содержащихся в незначительных количествах, которые являются индикатором данного вида сырья с использованием ГХ-МС анализа.

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. The effect of distillation conditions and alcohol content in “heart” fractions on the concentration of aroma volatiles and undesirable compounds in plum brandies / M. Balcerek [et al.] // Journal of the Institute of Brewing. 2017. Vol. 123. № 3. P. 452–463. <https://doi.org/10.1002/jib.441>.
2. Spirit distillation strategies for aroma improvement using column reflux / J. J. Rodríguez-Bencomo [et al.] // Food and Bioprocess Technology. 2016. Vol. 9. № 11. P. 1885–1892. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1776-0>.
3. Vyviurska O., Zvrškovcová H., Špánik I. Distribution of enantiomers of volatile organic compounds in selected fruit distillates // Chirality. 2017. Vol. 29. № 1. P. 14–18. <https://doi.org/10.1002/chir.22669>.
4. Agalarov R., Ragimov R., Gasanov R. Characterization of traditional fruit brandy produced in Azerbaijan // Advances in Biology and Earth Sciences. 2017. Vol. 2. № 3. P. 263–270.
5. Содержание пектинов в различных видах плодовых культур и их физико-химические свойства / Д. Р. Созаева [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. Т. 68. № 2. С. 170–174. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-2-170-174>.
6. Apricots: biochemistry and functional properties / F. Fratianni [et al.] // Current Opinion in Food Science. 2018. Vol. 19. P. 23–29. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.12.006>.
7. Chemical and technological characteristic of plum cultivars of *Prunus domestica* L. / S. Dimkova [et al.] // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2018. Vol. 24. P. 43–47.
8. Касумова А. А. Изучение химического состава дикорастущих плодов и ягод Гянджа-Газахской зоны // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 10. С. 34–36.
9. Горшков В. М., Абилюфазова Ю. С., Викулова Л. С. Биохимические показатели качества плодов мандарина, выращенных в субтропиках России в сравнении с плодами импортной продукции // Новые технологии. 2019. Т. 50. № 4. С. 125–135. <https://doi.org/10.24411/2072-0920-2019-10412>.
10. Koreňovská M., Suhaj M. Multivariate geographical characterisation of Slovak fruit distillates through mineral elements profile // Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2011. Vol. 5. № 4. P. 38–41. <https://doi.org/10.5219/164>.
11. Berghian-Grosan C., Magdas D. A. Application of Raman spectroscopy and Machine Learning algorithms for fruit distillates discrimination // Scientific Reports. 2020. Vol. 10. № 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78159-8>.
12. Plutowska B., Wardencki W. Application of gas chromatography-olfactometry (GC-O) in analysis and quality assessment of alcoholic beverages – A review // Food Chemistry. 2008. Vol. 107. № 1. P. 449–463. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2007.08.058>.
13. Дубинина Е. В., Алиева Г. А. Исследование корреляционной зависимости между органолептической оценкой и содержанием летучих компонентов плодовых водок // Виноделие и виноградарство. 2015. № 3. С. 29–34.
14. Research of technological parameters and criteria for evaluating distillate production from dried Jerusalem artichoke / L. A. Oganesyants [et al.] // Carpathian Journal of Food Science and Technology. 2019. Vol. 11. № 2. P. 185–196. <https://doi.org/10.34302/crpfjst/2019.11.2.15>.
15. Fermentation results and chemical composition of agricultural distillates obtained from rye and barley grains and the corresponding malts as a source of amylolytic enzymes and starch / M. Balcerek [et al.] // Molecules. 2016. Vol. 21. № 10. <https://doi.org/10.3390/molecules21101320>.
16. Influence of various yeast strains and selected starchy raw materials on production of higher alcohols during the alcoholic fermentation process / G. Kłosowski [et al.] // European Food Research and Technology. 2015. Vol. 240. № 1. P. 233–242. <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2323-8>.

17. Дубинина Е. В., Осипова В. П., Трофимченко В. А. Влияние способа подготовки сырья на состав летучих компонентов и выход дистиллятов из малины // Пиво и напитки. 2018. № 1. С. 30–34.
18. Влияние рас дрожжей рода *Saccharomyces* на процесс сбраживания кизиловой мезги / Л. А. Оганесянц [и др.] // Пищевая промышленность. 2021. № 1. С. 41–45. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2021-10008>.
19. Гребенникова И. В. Методы математической обработки экспериментальных данных. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2015. 124 с.
20. Оганесянц Л. А., Панасюк А. Л., Рейтблат Б. Б. Теория и практика плодового виноделия. М.: Развитие, 2011. 396 с.
21. Walker G. M., Stewart G. G. *Saccharomyces cerevisiae* in the production of fermented beverages // Beverages. 2016. Vol. 2. № 4. <https://doi.org/10.3390/beverages2040030>.
22. Оценка перспектив применения активаторов брожения в технологии дистиллятов из плодов кизила / Л. А. Оганесянц [и др.] // Ползуновский вестник. 2020. № 3. С. 24–30. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.004>.
23. Assessment of volatile organic compounds from banana *Terra* subjected to different alcoholic fermentation processes / M. Carobiango [et al.] // Food Science and Technology. 2016. Vol. 36. № 3. P. 510–519. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.02915>.
24. Макаров С. С., Макаров С. Ю., Панасюк А. Л. Влияние различных технологических факторов на состав антоцианов при производстве вина из черной смородины // Техника и технология пищевых производств. 2018. Т. 48. № 3. С. 72–80. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-72-80>.

References

1. Balcerek M, Pielech-Przybylska K, Patelski P, Dziekonska-Kubczak U, Strak E. The effect of distillation conditions and alcohol content in “heart” fractions on the concentration of aroma volatiles and undesirable compounds in plum brandies. *Journal of the Institute of Brewing*. 2017;123(3):452–463. <https://doi.org/10.1002/jib.441>.
2. Rodríguez-Bencomo JJ, Perez-Correa JR, Orriols I, Lopez F. Spirit distillation strategies for aroma improvement using column reflux. *Food and Bioprocess Technology*. 2016;9(11):1885–1892. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1776-0>.
3. Vyviurska O, Zvrškovcová H, Špánik I. Distribution of enantiomers of volatile organic compounds in selected fruit distillates. *Chirality*. 2017;29(1):14–18. <https://doi.org/10.1002/chir.22669>.
4. Agalarov R, Ragimov R, Gasanov R. Characterization of traditional fruit brandy produced in Azerbaijan. *Advances in Biology and Earth Sciences*. 2017;2(3):263–270.
5. Sozaeva DR, Dzhaboeva AS, Shaova LG, Tsagoeva OK. The pectin content in different types of fruit crops and their physicochemical characteristics. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2016;68(2):170–174. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-2-170-174>.
6. Fratianni F, Ombra MN, d’Acierno A, Cipriano L, Nazzaro F. Apricots: biochemistry and functional properties. *Current Opinion in Food Science*. 2018;19:23–29. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.12.006>.
7. Dimkova S, Ivanova D, Stefanova B, Marinova N, Todorova S. Chemical and technological characteristic of plum cultivars of *Prunus domestica* L. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2018;24:43–47.
8. Kasumova AA. Study of the chemical composition of wild fruits and berries in the Ganja-Gazakh zone. *Storage and Processing of Farm Products*. 2017;(10):34–36. (In Russ.).
9. Gorshkov VM, Abilfazova JS, Vikulova LS. Biochemical quality indicators of tangerine fruits grown in the subtropics of Russia compared with imported fruits. *New Technologies*. 2019;50(4):125–135. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2072-0920-2019-10412>.
10. Koreňovská M, Suhaj M. Multivariate geographical characterisation of Slovak fruit distillates through mineral elements profile. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2011;5(4):38–41. <https://doi.org/10.5219/164>.
11. Berghian-Grosan C, Magdas DA. Application of Raman spectroscopy and Machine Learning algorithms for fruit distillates discrimination. *Scientific Reports*. 2020;10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78159-8>.
12. Plutowska B, Wardencki W. Application of gas chromatography-olfactometry (GC-O) in analysis and quality assessment of alcoholic beverages – A review. *Food Chemistry*. 2008;107(1):449–463. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2007.08.058>.
13. Dubinina EV, Alieva GA. Correlation study between organoleptic evaluation and the content of volatile components of fruit vodkas. *Vinodelie i vinogradarstvo [Winemaking and Viticulture]*. 2015;(3):29–34. (In Russ.).
14. Oganesyants LA, Peschanskaya VA, Krikunova LN, Dubinina EV. Research of technological parameters and criteria for evaluating distillate production from dried Jerusalem artichoke. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*. 2019;11(2):185–196. <https://doi.org/10.34302/crpfjst/2019.11.2.15>.
15. Balcerek M, Pielech-Przybylska K, Dziekonska-Kubczak U, Patelski P, Strak E. Fermentation results and chemical composition of agricultural distillates obtained from rye and barley grains and the corresponding malts as a source of amylolytic enzymes and starch. *Molecules*. 2016;21(10). <https://doi.org/10.3390/molecules21101320>.

16. Kłosowski G, Mikulski D, Macko D, Miklaszewska B, Kotarska K, Czuprynski B. Influence of various yeast strains and selected starchy raw materials on production of higher alcohols during the alcoholic fermentation process. *European Food Research and Technology*. 2015;240(1):233–242. <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2323-8>.
17. Dubinina EV, Osipova VP, Trofimchenko VA. Influence of preparation method on volatile compounds content and output of distillates from raspberry. *Beer and beverages*. 2018;(1):30–34. (In Russ.).
18. Oganesyants LA, Peschanskaya VA, Dubinina EV, Krikunova LN. Influence of *Saccharomyces* yeast races on the fermentation process of the cornel pulp. *Food Industry*. 2021;(1):41–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2021-10008>.
19. Grebennikova IV. Metody matematicheskoy obrabotki ehksperimental'nykh dannyykh [Methods for mathematical processing of experimental data]. Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta; 2015. 124 p. (In Russ.).
20. Oganesyants LA, Panasyuk AL, Reytblat BB. Teoriya i praktika plodovogo vinodeliya [Theory and practice of fruit winemaking]. Moscow: Razvitie; 2011. 396 p. (In Russ.).
21. Walker GM, Stewart GG. *Saccharomyces cerevisiae* in the production of fermented beverages. *Beverages*. 2016;2(4). <https://doi.org/10.3390/beverages2040030>.
22. Oganesyants LA, Krikunova LN, Dubinina EV, Shvets SD. Otsenka perspektiv primeneniya aktivatorov brozheniya v tekhnologii distillyatov iz plodov kizila [Prospects for fermentation activators in distillates of Cornelian cherries]. *Polzunovskiy vestnik*. 2020;(3):24–30. (In Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.004>.
23. Carobiango M, Diniz IM, Andre LC, Oliveira ES, Cardeal ZL. Assessment of volatile organic compounds from banana *Terra* subjected to different alcoholic fermentation processes. *Food Science and Technology*. 2016;36(3):510–519. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.02915>.
24. Makarov SS, Makarov SYu, Panasyuk AL. Influence of various technological factors on the composition of anthocyanins in black currant wine production. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2018;48(3):72–80. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-72-80>.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-492-502>
УДК 613.292

Оригинальная статья
<http://fppt.ru>



Разработка и влияние добавки из лимфоидной ткани птицы на жизнеспособность клеток в культуре

Н. А. Кольберг^{id}, Н. В. Тихонова^{id}, С. Л. Тихонов*^{id}, С. А. Леонтьева^{id}

Уральский государственный экономический университет^{ROR}, Екатеринбург, Россия

Поступила в редакцию: 29.03.2021

Принята после рецензирования: 30.04.2021

Принята в печать: 15.07.2021



*e-mail: tihonov75@bk.ru

© Н. А. Кольберг, Н. В. Тихонова, С. Л. Тихонов, С. А. Леонтьева, 2021

Аннотация.

Введение. Биологически активные добавки (БАД) к пище широко используются в питании человека. В качестве сырья для их производства используют различные гидролизаты животного сырья. С учетом распространения иммунологических заболеваний одним из важных направлений развития пищевой биотехнологии является разработка и оценка биологически активных добавок иммуномодулирующего действия, для профилактики заболеваний. Цель исследования – разработка БАД из фабрициевой сумки цыплят-бройлеров и оценка ее влияния на жизнеспособность клеток в культуре.

Объекты и методы исследования. Биологически активная добавка, полученная ферментативным гидролизом фабрициевой сумки, незрелые стволовые клетки, зрелые дифференцированные клетки – дермальные фибробласты человека, культуры опухолевых клеток линий HeLa и MCF-7 и экстракт фабрициевой сумки.

Результаты и их обсуждение. Разработана технология БАД из фабрициевой сумки цыплят-бройлеров, включающая промывку сырья проточной водой, куттерование, гомогенизацию, ферментирование протеолитическим ферментом и ультрафильтрацию. При внесении БАД в культуру мезенхимальных стволовых клеток наблюдается незначительное снижение их жизнеспособности при концентрации препарата в 25 и 50 %, что свидетельствует о возможном цитотоксическом влиянии экстракта на мезенхимальные клетки. При внесении экстракта фабрициевой сумки в культуру фибробластов человека не наблюдается достоверного изменения жизнеспособности клеток. Это свидетельствует об отсутствии цитотоксического влияния, а также об отсутствии повышения жизнеспособности клеточной культуры. При внесении БАД в культуру MCF-7 выявлено дозозависимое цитотоксическое влияние БАД на культуру, что приводит к уменьшению их относительной жизнеспособности.

Выводы. Разработанная БАД оказывает цитотоксический эффект на культуры стволовых клеток и не оказывает выраженного влияния на жизнеспособность и не проявляет цитотоксического действия по отношению к дермальным фибробластам человека. Действие БАД оказалось различным в отношении культур клеток. В случае с HeLa БАД стимулирует пролиферативную активность, а в случае с MCF-7 оказывает цитотоксический эффект. БАД имеет перспективы использования в качестве действующего начала для различных биологически активных добавок и лекарственных препаратов иммуномодулирующего действия.

Ключевые слова. Биологически активная добавка, культуры клеток, жизнеспособность клеток, цыплята-бройлеры, фабрициева сумка, иммуномодулятор, пептиды

Для цитирования: Разработка и влияние добавки из лимфоидной ткани птицы на жизнеспособность клеток в культуре / Н. А. Кольберг [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 492–502. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-492-502>.

Original article

Available online at <http://fppt.ru/eng>

Effect of Dietary Supplement from Lymphoid Tissue of Chickens on Cell Viability

Natalia A. Kolberg^{id}, Natalia V. Tikhonova^{id},
Sergei L. Tikhonov*^{id}, Svetlana A. Leontieva^{id}

Ural State University of Economics^{ROR}, Yekaterinburg, Russia

Received: March 29, 2021

Accepted in revised form: April 30, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021



*e-mail: tihonov75@bk.ru

© N.A. Kolberg, N.V. Tikhonova, S.L. Tikhonov, S.A. Leontieva, 2021

Abstract.

Introduction. Today, dietary supplements are an integral part of human diet. Some of them are made of hydrolysates of animal origin. Biologically active additives of immunomodulatory action can prevent various diseases. The research objective was to develop a dietary supplement from the bursa of Fabricius obtained from broiler chickens and evaluate its effect on cell viability in culture.

Study objects and methods. The study featured biologically active supplement obtained by enzymatic hydrolysis of the bursa of Fabricius, immature stem cells, and adult differentiated cells of human dermal fibroblasts, HeLa and MCF-7 cancer cells, and extract of the bursa of Fabricius.

Results and discussion. The research resulted in a new technology of dietary supplement production from the bursa of Fabricius of broiler chickens. It included washing, cutting, homogenization, proteolytic enzyme fermentation, and ultrafiltration. When introduced into the culture of mesenchymal stem cells, the dietary supplement caused a slight decrease in the cell viability at concentrations of 25 and 50%, which indicated a possible cytotoxic effect of the extract on mesenchymal cells. The extract did not affect the viability of human fibroblast culture and caused no cytotoxic effect. In MCF-7 culture, the extract had a dose-dependent cytotoxic effect, which lowered the relative cell viability.

Conclusion. The new dietary supplement based on the bursa of Fabricius of broiler chickens had a cytotoxic effect on stem cell cultures. However, it did not affect the cell viability and had no cytotoxic effect on human dermal fibroblasts. The effect depended on the cell culture. In the case of HeLa, the supplement stimulated proliferative activity, and in the case of MCF-7, it had a cytotoxic effect. Therefore, the new dietary supplement demonstrated some prospects as an active ingredient for various biologically active additives and immunomodulatory drugs.

Keywords. Dietary supplement, cell cultures, cell viability, broiler chickens, fabricium bag, immunomodulator, peptides

For citation: Kolberg NA, Tikhonova NV, Tikhonov SL, Leontieva SA. Effect of Dietary Supplement from Lymphoid Tissue of Chickens on Cell Viability. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):492–502. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-492-502>.

Введение

На сегодняшний день биологически активные добавки к пище (БАД) широко используются в питании человека в России и еще в большем масштабе за рубежом. Все большую актуальность приобретает использование БАД в рационе лиц, ведущих активный образ жизни, и спортсменов для восстановления после интенсивных тренировок [1].

В качестве сырья для производства БАД используют различные гидролизаты растительного и животного сырья. БАД на основе водных экстрактов из сыра Коопех с белковыми ультрафильтрационными фракциями менее 2 кДа обладает антимикробной активностью в отношении *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus* и *Salmonella enterica*, а с фракциями более 2 кДа, в которых доминируют пептиды с молекулярными массами 3896,91, 3937,42, 3926,57, 3702,51 и 3692,87 Да, имеют антиоксидантную активность [2].

Гидролизат перьевого белка, полученный с помощью антарктической кератинолитической бактерии *Pedobacter* sp. 3.14.7, обладает высокой антиоксидантной активностью. Этот штамм бактерии разлагает сырое перо в белковый гидролизат при условиях 30 г пера/литр воды, pH 6,0 и температуре 20 °С. Разработанный ферментативный гидролизат предполагается использовать в качестве дополнительного источника белка и антиоксиданта [3].

Л. В. Федуловой и Э. Б. Кашиновой разработана биологически активная добавка в форме экстрактов

поджелудочной железы, слизистой оболочки желудка и двенадцатиперстной кишки свиней [4]. Такие экстракты имеют различную молекулярную массу от 50 до 2 кДа. Исследованиями *in vitro* доказано, что внесение БАД в количестве 100 нг/мл в питательную среду для эксплантатов желудка и кишечника 10-дневных куриных эмбрионов стимулирует их рост. При этом наибольшей активностью обладает низкомолекулярная фракция пептидов с молекулярной массой менее 5 кДа. Отмечено достоверное повышение индекса площади (ИП) эксплантатов тканей желудка и кишечника на 60 и 50 % относительно контроля с образованием монослоя эпителиоцитов, характеризующиеся высокой пролиферативной активностью.

К. Raja с соавторами разработан экстракт сырой кожи морского сома *Tachysurus dussumieri* и исследована его противоопухолевая эффективность на клеточной линии рака толстой кишки человека методом МТТ-анализа. Концентрацию ингибирования (IC_{50}) получали по 600 мкг/мл через 24 ч [5]. Фрагментация ДНК и результаты проточной цитометрии показали, что экстракт кожи морского сома индуцирует конденсацию хроматина, апоптотическую гибель клеток, а также нарушает клеточный цикл в фазе G_0/G_1 на линии клеток рака толстой кишки (рис. 1).

БАД, полученная ферментативным гидролизом мышечного белка *Oratosquilla woodmasoni* с использованием термолизина и пепсина с последующей ультрафильтрацией на мембранной



Рисунок 1. Схема получения и влияние экстракта кожи морского сома на клеточную линию рака толстой кишки человека

Figure 1. Sea catfish skin extract: production and effect on human colon cancer cells

установке, очисткой с помощью гель-фильтрационной хроматографии (GFC) и быстрой белковой жидкостной хроматографии (FPLC), состоит из 5 аминокислотных последовательностей (Asn-Gly-Val-Ala-Ala) с молекулярной массой 431 Да через LC-MS/MS TH1-A1 (рис. 2). Исследованиями доказано, что БАД-пептид не оказывает токсического действия на клетки MCF-7 и имеет высокую антиоксидантную активность при pH от 2 до 10. Пептид может быть лучшей альтернативой нутрицевтической и функциональной пище после дополнительных исследований [6].

F. Rivero-Pino и др. получены БАД биоактивные пептиды, выделенные из белка насекомых с помощью ультразвука [7]. Кратковременное действие ультразвуковых волн на сырье увеличивало последующее высвобождение биоактивных пептидов, но более длительное время ультразвуковой обработки ограничивало их производство. Гидролиз субтилизина не позволил высвободить ингибирующие α -глюкозидазу пептиды. Но он необходим для расщепления белка, до того как трипсин высвободит эти пептиды. Эти высокоактивные гидролизаты в

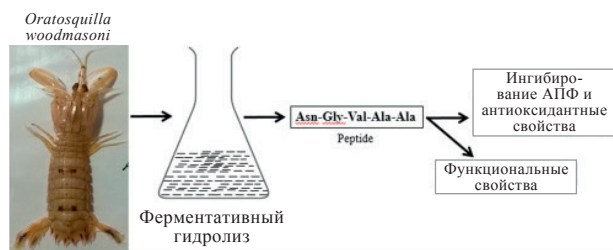


Рисунок 2. БАД, полученная ферментативным гидролизом мышечного белка *Oratosquilla woodmasoni*

Figure 2. Biologically active supplement obtained by enzymatic hydrolysis of *Oratosquilla woodmasoni* muscle protein

форме БАД, которые могут быть использованы в качестве ингредиента, регулирующего гликемический индекс в рецептуре пищевых продуктов.

Сегодня особую актуальность в биотехнологии приобретают методы оценки эффективности новых БАД животного происхождения *in vitro* («в пробирке»). Эксперименты проводятся вне живого организма с использованием культур живых клеток или бесклеточных моделей, применяющиеся в различных областях: молекулярной биологии, биохимии, фармакологии, медицине, генетике и др. За последние годы методы *in vitro* находят все большее применение в различных областях. Возможность использования клеточных культур в экспериментах в настоящее время широко используется с целью прогнозирования токсических и терапевтических эффектов биологически активных веществ животного происхождения. Это связано с возможностью оценить взаимодействие изучаемых веществ с клеткой в «чистом виде», выявлять изменения клеточных и субклеточных структур, которые в условиях целостного организма могут маскироваться или видоизменяться компенсаторными и регуляторными механизмами единой системы [8].

М. Taroncher и др. проведено исследование с целью определения цитотоксичности Токсин Т-2 (трихотекен типа А, продуцируемый видами *Fusarium*) на клетках гепатокарциномы человека (HepG2); оценки наличия адаптивного ответа клеток HepG2 при воздействии низких концентраций Т-2; идентификации метаболитов Т-2 с помощью LC-Q-TOF MS; нарушение Т-2 пролиферации клеток в клетках HepG2 [9]. IC_{50} полученные значения варьировались от $61,9 \pm 2,4$ нМ до $70,7 \pm 7,4$ нМ. Адаптивной реакции не наблюдалось. Не было никаких доказательств экстра- или внутриклеточного накопления Т-2 после 24 ч воздействия, как это определено LC-Q-TOF. Однако некоторые метаболиты Т-2, такие как токсин НТ-2, неосоланиол и триол Т-2, показали важное ($> 75\%$) внутриклеточное накопление. Распределение клеток было значительно увеличено в фазе SubG0/G1 (в 11,8 раза выше) и уменьшено (на 12 %) в фазе G2/M при 60 нМ Т-2 по сравнению с контролем. Одновременно в клетках HepG2, подвергнутых воздействию Т-2, наблюдался повышенный некроз (238 %) и апоптоз/некроз (до 35,5 %). Исследования авторов доказывают, что Т-2 приводит к потере жизнеспособности клеток без адаптивного ответа и что образующиеся метаболиты играют важную роль в цитотоксичности Т-2, увеличивая повреждение клеток HepG2.

Для использования биотехнологических методов при исследовании жизнеспособности культур клеток необходимо разработать биопроцессы, обеспечивающие соответствующие условия для роста стволовых клеток от низких начальных количеств до желательных значений. L. Shafiei Kaleybar с

соавторами был разработан и смоделирован простой и эффективный концептуальный биопроцесс на основе перемешиваемого резервуарного биореактора, содержащего внутреннюю трубку с секвенирующей системой порционной аэрации для прогнозирования производительности массового производства суспендированных стволовых клеток [10]. Исходя из конструктивных параметров биопроцесса, а также характеристик клеток и конечной плотности клеток, общий объем биореактора, необходимый как для жидкой, так и для газовой фаз, был выбран 400 мл, включая внутреннюю трубку диаметром и высотой 2 и 10 см соответственно. Система аэрации рассматривалась в зависимости от нормы расхода O_2 и нормы выработки CO_2 в качестве суточной замены общей газовой фазы (при положительном давлении 1 %). Обмен среды также рассматривался как замена половины жидкой фазы новой средой каждые три дня. После записи соответствующих балансов массы биопроцесс моделировался, а производительность системы прогнозировалась на 10-дневный период культивирования. Разработанная биореакторная система предсказала, что окончательное количество клеток может быть достигнуто в течение 10-дневного культивирования из небольшой биопсии без проблем, вызванных нехваткой или критическим накоплением каких-либо материалов. Концептуальное моделирование биопроцесса и прогнозирование производительности показали большой потенциал для изучения системы культивирования для производства суспендированных стволовых клеток.

Аутофагия – важный катаболический путь, играющий важную роль в физиологической функции печени. Результаты исследований [11] свидетельствуют о том, что воздействие 3-хлор-1,2-пропандиол (3-MCPD токсикант, образующийся при термической обработке некоторых пищевых продуктов) вызывает токсичность в печени, но механизм остается неизвестным. Также в данной работе авторы исследовали влияние 3-MCPD на аутофагический поток и проследили молекулярный механизм в клетках HepG2 [11]. Полученные данные показали, что воздействие 3-MCPD способствует накоплению аутофагосом в клетках HepG2. 3-MCPD может индуцировать блокировку аутофагического потока в клетках HepG2. Возможный механизм был обусловлен разрушением лизосомальной функции.

А. М. Abdel-Aty и др. проведено исследование методами биотехнологии цитотоксической активности БАД из латексных экстрактов растений *Ficus carica* (FCE), *Ficus sycomorus* (FSE) и *Euphorbia tirucalli* (ETE) [12]. Доказано, что БАД из латексных экстрактов ETE, FCE и FSE оказала мощное цитотоксическое действие совместно с доксорубицином, распространенным противоопухолевым препаратом, против острых миелоидных лейкозов HL-60, линий раковых

клеток молочной железы MCF-7 и печени HepG2 соответственно. Кроме того, все тестируемые экстракты не оказывали токсического воздействия на нормальные меланоциты человеческой клеточной линии HFB4 в концентрациях до 100 мкг/мл.

В работе [13] изучалась противоопухолевая эффективность БАД из трех тритерпеноидов, полученных из этилацетатного экстракта *Cassia fistula* L., против линии клеток рака толстой кишки человека (HT-29). Тритерпеноиды оказались нетоксичными для нормальных клеток VERO, но цитотоксичными для раковых клеток. Анализ RT-ПЦР показал, что тритерпеноиды продуцировали повышенную регуляцию экспрессии p53 и пониженную экспрессию ERK2. Скорость инвазии и метастазирования значительно снижалась при их воздействии. Кроме того, антиоксидантная активность проявлялась в разрушении раковых клеток. Результаты исследований показали стабильные взаимодействия между тритерпеноидами и мишенями рака (p53 и ERK2). Полученные данные свидетельствуют о том, что тритерпеноиды проявляют высокий антипролиферативный эффект в клетках HT-29 и перспективны в качестве альтернативной терапии онкологических заболеваний.

В результате исследований М. М. Farid и др. разработана БАД из растительного экстракта *Kermia aegyptiaca* [14]. Полученная БАД была исследована методами биотехнологии против двух линий опухолевых клеток человека: молочной железы (MCF-7) и толстой кишки (HCT-116). Установлен высокий процент цитотоксичности БАД при концентрации 100 мкг/мл с 91,1 и 37,9 против MCF-7 и HCT-116 соответственно.

Авторами [15] разработана БАД из гриба *Aspergillus oryzae* и доказана ее активность *in vitro* в отношении выбранной клеточной линии рака легких.

В работе А. Juan-García с соавторами доказано цитопротекторное действие БАД из экстракта чеснока *Allium sativum* L. на клетки гепатокарциномы HepG2. БАД оценивали против боверицина (BEA) и двух зеараленонов [16]. Метаболиты (α -зеараленол (α -ZEL) и β -зеараленол (β -ZEL)) индуцировали цитотоксичность на клетках HepG2 методом МТТ (3-4,5-диметилтиазол-2-ил)-2,5-дифенилтетразолий бромид) в течение 24 и 48 ч. При обработке клеток HepG2 БАД их жизнеспособность клеток была выше на 40–50 %.

Доказано, что БАД на основе рофлумиласта усиливает цитотоксические и апоптотические эффекты в клеточной линии PC3 [17].

Результаты исследований М. S. Rahaman и др. с помощью Вестерн-блот-анализа показали, что предварительная обработка куркумином и D-пинином и их комбинированная обработка мышьяком ингибировали индуцированную мышьяком гибель клеток путем активации белков про-выживания,

хотя экспрессия этих белков отрицательно регулировалась мышьяком [18]. Кроме того, эффект комбинированного лечения куркумином и D-пинитом был сильнее, чем при индивидуальном лечении.

Эпидемиологические данные способствуют включению БАД на основе флавонов в рацион питания из-за их ингибирующего действия на некоторые виды рака, особенно у женщин. Среди природных растительных флавоноидов апигенин 7-О-глюкозид (AGL) обладает противовоспалительной, антиоксидантной и противораковой активностью. Однако механизм его действия на рак шейки матки, четвертый по величине рак у женщин, до сих пор не выяснен. М.-М. Liu и др. установили влияние AGL на клетки рака шейки матки человека и изучили его молекулярный механизм против рака шейки матки [19]. Результаты показали, что AGL ингибирует пролиферацию клеток HeLa (IC_{50} составлял 47,26 мкм через 48 ч), индуцируя апоптоз. В то же время в клетках HeLa, обработанных AGL, путь PTEN/PI3K/АКТ ингибировался концентрационно-зависимым образом. Миграция клеток также была затруднена через матриксную металлопротеиназу 2 и 9 соответственно.

Следует отметить, что БАД, имеющие в своем составе пептиды, иммуномодулирующего действия оказывают влияние не только на иммунциты, опухолевые клетки, но и на все клетки организма. Поэтому целью исследования стала разработка БАД из фабрициевой сумки цыплят-бройлеров и оценка ее влияния на жизнеспособность клеток в культуре.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются биологически активная добавка, полученная ферментативным гидролизом фабрициевой сумки, а также клетки.

Эксперименты проводили на нескольких типах клеточных культур:

- на культуре незрелых стволовых клеток;
- на культуре зрелых дифференцированных клеток – дермальные фибробласты человека;
- на культуре опухолевых клеток линий HeLa и MCF-7.

Данные группы клеток отличаются по степени зрелости, возможности дифференцировки, функциональным способностям, пролиферативной активности и чувствительности к внешним факторам.

Культура мезенхимальных клеток (МСК) выделена из берцовой кости крысы. МСК представляют собой нормальные фибробластоподобные веретеновидные клетки, характеризующиеся высокой пластичностью и способностью дифференцироваться в другие типы клеток (рис. 3). Выделение мезенхимальных клеток проводили с отделением эпифизов берцовой кости в стерильных условиях и последующим вымыванием костного мозга из костномозгового канала. Полученные клетки осаждали путем

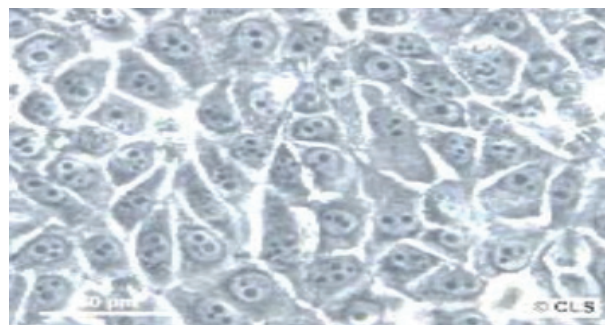


Рисунок 3. Клеточная культура мезенхимальных стволовых клеток крысы (окраска по Романовскому-Гимзе; ув. ×400)

Figure 3. Cell culture of rat mesenchymal stem cells (Romanovsky-Giemsa stain; magnification ×400)

центрифугирования и культивировали в пластиковых флаконах на питательной среде.

Культура фибробластов человека получена из материала биопсии кожи в Институте медицинских клеточных технологий (Екатеринбург, Россия). Фибробласты представляют собой нормальные клетки соединительной ткани (рис. 4). Данный тип клеток удобен для проведения исследования, поскольку при длительном пассировании сохраняется кариотип клеток и их нормальные свойства. Это позволяет видеть точные и неискаженные результаты. Выделение фибробластов проводили из биопатов кожи путем ферментативной обработки и последующего инкубирования в питательной среде с соблюдением всех необходимых условий (температура, состав газа).

Клеточная культура карциномы шейки матки человека HeLa получена из Российской коллекции клеточных культур Института цитологии РАН, г. Санкт-Петербург (рис. 5). Это культура опухолевых

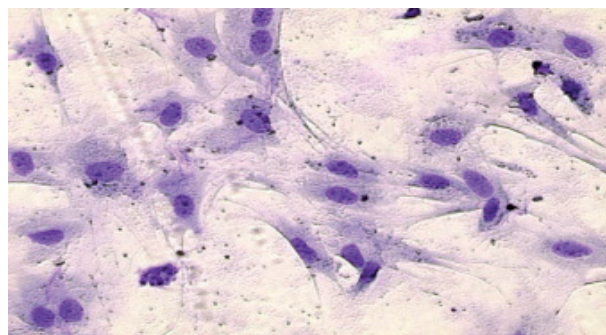


Рисунок 4. Культура дермальных фибробластов человека (окраска по Романовскому-Гимзе, ув. ×400)

Figure 4. Human dermal fibroblasts cells (Romanovsky-Giemsa stain, magnification ×400)

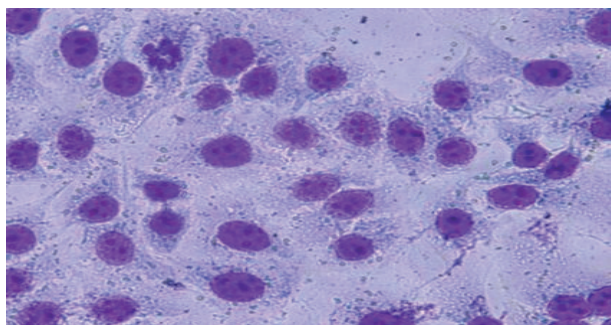


Рисунок 5. Культура карциномы шейки матки человека HeLa (окраска по Романовскому-Гимзе; ув. $\times 400$)

Figure 5. Human cervical carcinoma cells of HeLa line (Romanovsky-Giemsa stain; magnification $\times 400$)

клеток, способная неопределенно долго расти *in vitro* за счет наличия фермента теломеразы. Использование препарата на данном типе клеток позволяет определить его цитостатический эффект.

Клеточная культура аденокарциномы молочной железы MCF-7 также получена из Российской коллекции клеточных культур Института цитологии РАН [6]. Простота использования клеточных линий позволяет проводить доклинические исследования лекарственных средств с целью расширения фундаментальных знаний о природе опухолевых клеток.

Все подготовительные этапы работы, связанные с инкубированием клеток и приготовлением растворов, проводили в стерильных условиях в ламинарном боксе БАВнп-01-«Ламинар-С»-1,2 LORICA. Культивировали клетки в питательной среде DMEM (Биоолот, Россия) с добавлением 10 % эмбриональной телячьей сыворотки и гентамицина в дозе 50 мкг/мл до образования монослоя. Культивирование проводили в CO_2 инкубаторе Sanyo (Panasonic) MCO-18AC при температуре 37 °C в атмосфере с 5 % CO_2 .

Микроскопический контроль среды проводили с помощью инвертированного микроскопа Eclipse TS100 (Nikon). В зависимости от достижения клетками монослоя меняли культуральную среду каждые 3 дня.

Пересев клеточной культуры проводили один раз в 3–4 дня путем дезагригирования клеточного монослоя с использованием трипсина.

Исследование разработанной БАД проводили на культурах клеток в следующих концентрациях 0,05, 0,1, 0,5, 1, 5, 10, 20, 25, 40 и 50 %. Каждую концентрацию вносили в культуру клеток в количестве 6-ти повторений. Минимальное количество БАД, которое можно внести в культуру, – 1 мкл. БАД в данном количестве вносили на 100 мкл, что позволило получить концентрацию равную 0,5 %.

При разведении в 5 раз концентрация равна 10 %. Также БАД вносили в количестве 1 мкл на 100 мкл для получения концентрации 0,1 %. Разведение в 10 раз с аналогичным внесением в лунки дало концентрацию 0,05 %.

Исследования влияния БАД начинали с подготовки клеточных культур. Для этого клетки переводили из монослоя в суспензию. Подготовленную суспензию клеток в 10 мл питательной среды помещали в 96-луночные планшеты в количестве 100 мкл суспензии на одну лунку. Культивирование проводилось в течение 24-х ч. После чего в лунки добавляли исследуемый препарат в разных объемах. Через 48 ч после введения препарата проводилась оценка жизнеспособности клеток в клеточной культуре. Полученные данные сопоставляли с контролем и анализировали статистическим способом. Для оценки жизнеспособности клеток использовали МТТ-тест. В каждую лунку планшета, в котором предварительно были культивированы клетки и внесен препарат, добавляли МТТ-краситель (тетразолиевый краситель 3-(4,5-диметилтиазол-2-ил)-2,5- дифенил–тетразолиум бромид) по 20 мкл. Затем планшет ставили в термостат на 2 ч. МТТ-краситель под действием живых клеток превращается в пурпурно-синие клеточные кристаллы МТТ-формаза, количество которого эквивалентно количеству живых клеток. После инкубации культуральную среду и краситель осторожно сливали и в каждую лунку вносили по 100 мкл DMSO для растворения образовавшихся кристаллов формазана. После 5–7 мин детектировали фиолетовое окрашивание с помощью спектрофотометрического сканера Tecan Infinite M200 PRO при длине волны 570 нм.

На основе полученных данных определяли индекс цитотоксичности для каждой концентрации испытуемого экстракта. Затем определяли индекс пролиферации для каждой концентрации исследуемого экстракта.

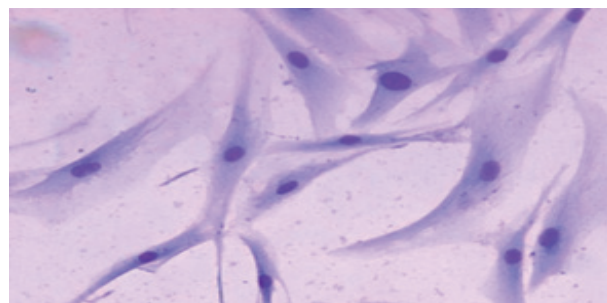


Рисунок 6. Культура аденокарциномы молочной железы MCF-7 (окраска по Романовскому-Гимзе; ув. $\times 400$)

Figure 6. MCF-7 breast adenocarcinoma cells (Romanovsky-Giemsa stain; magnification $\times 400$)

Степень гидролиза белка определяли по разнице между общим и аминным азотом. Аминный азот – по ГОСТ Р 55479-2013; общий азот и белок – методом Кьельдаля. Анализ молекулярно-массового распределения белково-пептидных фракций в составе биологически активной добавки проводили методом эксклюзионной жидкостной хроматографии среднего давления на ВЭЖХ Agilent 1260 Infinity II.

Статистическую обработку результатов проводили, используя компьютерную программу «Microsoft Excel». Вычисляли среднее и стандартное отклонение. Результаты экспериментов представлены в виде диаграммы как среднее значение $\pm$ ошибка среднего.

Для оценки значимости различий между группой контроля и группой с использованием экстракта применяли непараметрический критерий Манна-Уитни. При вероятности ошибки $P \leq 0,05$ различия между средними значениями считались достоверными.

Результаты и их обсуждение

Разработана технология производства БАД из лимфоидной ткани птицы (фабрициева сумка цыплят-бройлеров), состоящая из промывки проточной водой сырья, куттерования, гомогенизации, ферментирования, ультрафильтрации и упаковки.

Целесообразно рассмотреть более подробно технологию БАД. Для производства БАД отбирают фабрициеву сумку после убоя цыплят-бройлеров в возрасте 35 дней. Затем сырье помещают в емкость и промывают проточной водой в течение 10 мин при температуре воды 16–18 °С.

Следующим этапом производства БАД является куттерование сырья в течение 3 мин при частоте вращения ножей 2400 об/мин с последующей гомогенизацией. Сырье загружают в емкость гомогенизатора, оборудованного рубашкой, наполненной дистиллированной водой и имеющей встроенный нагревательный элемент, гомогенизируют при скорости вращения насадки L5M компании Сильверсон (МВ) 6000 об/мин при температуре 4 °С.

Указанную температуру задавали с помощью насоса и компрессора холодильной установки, имеющих в гомогенизаторе. Затем полученную массу нагревали до температуры оптимума активности фермента папаина (40 °С), вносили фермент Рараин (КФ 3.4.22.2), растворенный в фосфатно-буферном растворе с рН 6,0 из расчета 0,15 % к основному сырью (фабрициева сумка), и выдерживали в течение 8 ч. Оценку степени гидролиза белка проводили по аминному азоту. В таблице 1 представлена зависимость степени гидролиза белка фабрициевой сумки от времени ферментации.

Установлено, что гидролиз белка происходит в первые часы ферментации сырья папаином. Через 4 ч ферментации степень гидролиза составила 27,4 %, через 8 ч – 31,3 %. Следовательно,

Таблица 1. Зависимость степени гидролиза белка фабрициевой сумки от времени ферментации

Table 1. Effect of fermentation time on the protein hydrolysis degree of the bursa of Fabricius

Время гидролиза, ч	Степень гидролиза белка, %
0	0
1	11,3
2	16,5
3	19,8
4	27,4
5	29,1
6	30,2
7	30,7
8	31,3

целесообразно ферментировать фабрициеву сумку в течение 4 ч.

Затем ферментированное сырье пропускали через ультрафильтрационную лабораторную установку.

Все металлические детали установки, контактирующие с сырьем, выполнены из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Основным рабочим элементом установки является ультрафильтрационная ячейка, которая представляет собой цилиндр длиной 900 мм с керамическими мембранами КУФЭ длиной 800 мм с размером пор 10 кДа, изготовленные из диоксида титана анатазной модификации с напыленным селективным слоем α -оксида алюминия.

Ультрафильтрацию сырья проводили при следующих технологических параметрах: $u \geq 1,5$ м/с; $P = 0,3$ МПа; $t = 20 \pm 5$ °С.

По внешнему виду полученная БАД из фабрициевой сумки представляет собой непрозрачную



Рисунок 7. Образцы полученной БАД из фабрициевой сумки

Figure 7. Samples of the dietary supplement obtained from the bursa of Fabricius of broiler chickens

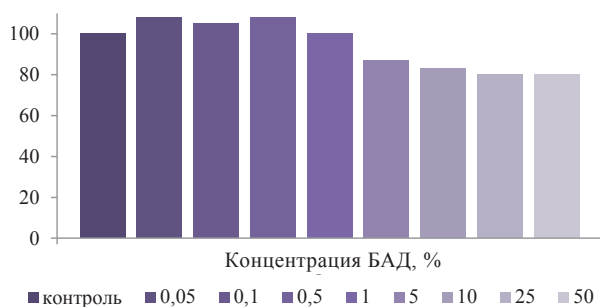


Рисунок 8. Влияние БАД на жизнеспособность культуры мезенхимальных стволовых клеток

Figure 8. Effect of the dietary supplement on the viability of mesenchymal stem cells

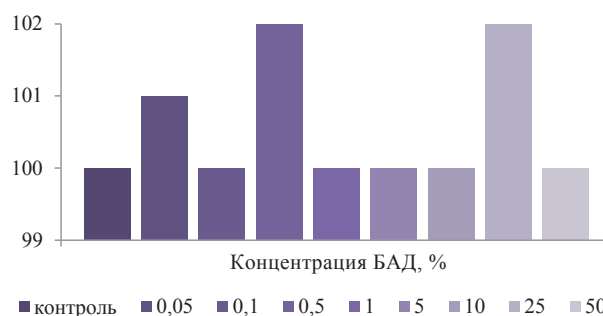


Рисунок 9. Влияние БАД на жизнеспособность культуры фибробластов человека

Figure 9. Effect of the dietary supplement on the viability of human fibroblast cells

водную суспензию кремowego цвета со слабым специфическим запахом (рис. 7).

При исследовании химического состава полученной БАД установлено, что содержание белка в ней было на уровне 18,3 % при наибольшем количестве белков (74,5 %) с молекулярной массой менее 4 кДа.

Таким образом, разработана технология БАД из фабрициевой сумки, включающая промывку фабрициевой сумки цыплят-бройлеров проточной водой, куттерование, гомогенизацию, ферментирование и ультрафильтрацию.

Проведена оценка влияния разработанной БАД на жизнеспособность стволовых клеток.

При внесении БАД в культуру мезенхимальных стволовых клеток наблюдается незначительное снижение жизнеспособности клеток при концентрации препарата в 25 и 50 %. Это свидетельствует о возможном цитотоксическом влиянии экстракта на мезенхимальные клетки, поскольку понижение жизнеспособности, по сравнению с контролем, составило 20 % (рис. 8).

Установлено, что для концентрации препарата в 25 % индекс цитотоксичности равен $20,30 \pm 2,49$ %, а для концентрации в 50 % индекс цитотоксичности составил $19,40 \pm 2,45$ %. Между влиянием эффективных концентраций достоверных различий не обнаружено.

При внесении БАД в культуру фибробластов человека не наблюдается достоверного изменения жизнеспособности клеток. Это свидетельствует об отсутствии цитотоксического влияния, а также об отсутствии повышения жизнеспособности клеточной культуры (рис. 9).

При внесении иммуномодулирующего препарата БАД в культуру HeLa наблюдается увеличение жизнеспособность клеток при концентрации препарата в 20, 10 и 5 %. В сравнении с контролем жизнеспособность клеток повысилась на 48 % при

концентрации препарата в 20 % и на 44 % при концентрациях 10 и 5 % соответственно. Однако при концентрациях в 40 и 1 % нет достоверности отличий от контроля (рис. 10).

Поскольку БАД стимулирует пролиферацию опухолевых клеток, то для концентраций с эффективным действием на культуру посчитан индекс пролиферации по приведенной в методике формуле. Для концентрации в 5 % индекс пролиферации равен $45,50 \pm 9,24$ %; для концентрации 10 % он равен $45,94 \pm 9,11$ % и для концентрации 25 % индекс пролиферации составил $49,24 \pm 5,58$ %. Достоверных различий между эффективными концентрациями (5, 10 и 25 % не выявлено).

Таким образом, иммуномодулирующая БАД усиливает пролиферативную активность исследуемых линий клеточных культур и увеличивает их жизнеспособность. Такой эффект может быть связан с высоким содержанием белков в препарате. Для исследуемых культур клеток БАД служила ростовым фактором или митогеном, стимулирующим клетки

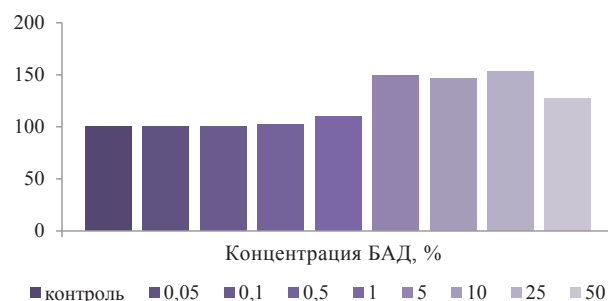


Рисунок 10. Воздействие БАД на жизнеспособность культуры клеток HeLa

Figure 10. Effect of the dietary supplement on the viability of HeLa cells

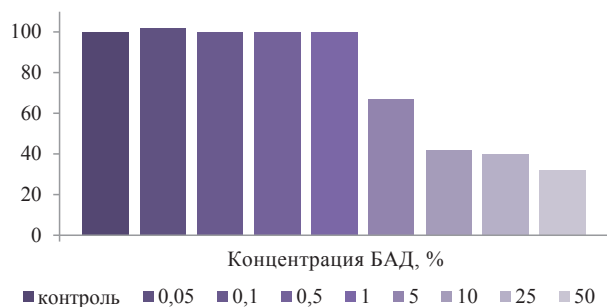


Рисунок 11. Воздействие БАД на жизнеспособность культуры клеток MCF

Figure 11. Effect of the dietary supplement on the viability of MCF cells

к делению. Пептиды препарата взаимодействуют со специфическими рецепторами мембраны клетки, инициируя клеточные сигнальные пути, приводящие к делению. Одной из причин митотического деления клеток могло стать включение MAP-киназного каскада в ответ на внеклеточный стимул. Активированная MAP-киназная система регулирует процессы митоза, дифференцировки и выживания клеток. Определенные группы MAP-киназ регулируются экзогенными сигналами (белками), что позволяет говорить о достоверности данного предположения.

При внесении БАД в культуру MCF-7 выявлено дозозависимое цитотоксическое влияние экстракта на культуру, что приводит к уменьшению относительной жизнеспособности (рис. 11).

Для концентрации 10 % индекс цитотоксичности равен $57,02 \pm 3,95$ %; для концентрации в 25 % это значение равно $59,95 \pm 4,94$ %; для концентрации в 50 % индекс цитотоксичности равен $69,74 \pm 2,0$ %. Для концентраций, оказывающих выраженный цитотоксический эффект, выявлены достоверные различия между концентрациями 10 и 40 %. Это указывает на дозозависимое влияние БАД.

Таким образом, исследуемая БАД проявила цитотоксическое действие на культуру клеток MCF-7. Поскольку пептиды БАД обладают физиологической активностью, то воздействие на опухолевые клетки индуцировалось ферментами апоптоза, что вызывает гибель клеток MCF. Рецепторы опухолевых клеток передают внеклеточный сигнал, что приводит к запуску протеолиза. Механизм апоптоза индуцируется комплексом белков, совместное действие которых ведет к множеству внутриклеточных изменений, приводящих к гибели клетки, что отмечается в наших исследованиях.

БАД проявила цитотоксические свойства и в отношении культуры клеток аденокарциномы молочной железы, и в отношении культуры мезенхимальных стволовых клеток. Сравнение

показателей цитотоксичности позволяет сделать вывод о том, что наиболее выраженный цитотоксический эффект проявляется в отношении клеток MCF-7. Он заключается в уменьшении количества опухолевых клеток, что согласуется с исследованиям [13]. В нем установлено, что вещества иммуномодулирующего действия влияют не только на клетки иммунной системы, но и на непосредственно злокачественные клетки либо опосредованно через незлокачественные клетки, поддерживающие опухолевое образование.

Выводы

Разработана технология БАД из фабрициевой сумки цыплят-бройлеров, включающая промывку сырья проточной водой, куттерование, гомогенизацию, ферментирование протеолитическим ферментом и ультрафильтрацию. Проанализировано влияние БАД на жизнеспособность и пролиферативную активность культуры стволовых клеток. БАД оказывает цитотоксический эффект на данный тип клеточной культуры. Изучено влияние БАД на жизнеспособность и пролиферативную активность культуры дифференцированных соматических клеток. Экстракт не оказывает выраженного влияния на жизнеспособность и не проявляет цитотоксического действия по отношению к дермальным фибробластам человека. Исследовано влияние БАД на жизнеспособность и пролиферативную активность опухолевых клеток. Действие БАД оказалось различным в отношении культур клеток. В случае с HeLa БАД стимулирует пролиферативную активность, а в случае с MCF-7 оказывает цитотоксический эффект.

Следовательно, БАД-ферментативный гидролизат фабрициевой сумки цыплят-бройлеров имеет перспективы использования в качестве действующего начала в составе различных биологически активных добавок к пище или отдельно в качестве специализированного пищевого продукта иммуномодулирующего действия, в частности БАД функциональной направленности.

Критерии авторства

Авторы в равной степени принимали участие в исследованиях и оформлении рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors contributed equally involved in the research and design 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. International society of sports nutrition position stand: Nutrient timing / C. M. Kerksick [et al.] // Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2017. Vol. 14. № 1. <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0189-4>.
2. Bioactive peptides fractions from traditional Iranian Koopeh cheese; lactic fermentation products / S. A. Banihashemi [et al.] // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2020. Vol. 29. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101798>.
3. Revalorization of chicken feather waste into a high antioxidant activity feather protein hydrolysate using a novel psychrotolerant bacterium / B. Bezus [et al.] // Biocatalysis and Agricultural. 2021. Vol. 32. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101925>.
4. Федулова Л. В., Кашинова Э. Б. Исследование *in vitro* биологически активных веществ животного происхождения // Все о мясе. 2016. № 4. С. 30–33.
5. Anti-proliferative and apoptotic effects of by-product (skin extract) from marine catfish *Tachysurus dussumieri* / K. Raja [et al.] // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2020. Vol. 29. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101816>.
6. Isolation and characterization of angiotensin I-converting enzyme (ACE-I) inhibition and antioxidant peptide from by-catch shrimp (*Oratosquilla woodmasoni*) waste / I. Joshi [et al.] // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2020. Vol. 29. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101770>.
7. Effect of ultrasound pretreatment and sequential hydrolysis on the production of *Tenebrio molitor* antidiabetic peptides / F. Rivero-Pino [et al.] // Food and Bioproducts Processing. 2020. Vol. 123. P. 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.07.003>.
8. Использование моноклональных антител для терапии аутоиммунных заболеваний / Е. М. Мерзляк [и др.] // Вестник Российского государственного медицинского университета. 2018. № 6. С. 164–169. <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2018.094>.
9. Taroncher M., Rodriguez-Carrasco Y., Ruiz M.-J. T-2 toxin and its metabolites: Characterization, cytotoxic mechanisms and adaptive cellular response in human hepatocarcinoma (HepG2) cells // Food and Chemical Toxicology. 2020. Vol. 145. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111654>.
10. Shafiei Kaleybar L., Khoshfetrat A. B., Nozad Charoudeh H. Modeling and performance prediction of a conceptual bioprocess for mass production of suspended stem cells // Food and Bioproducts Processing. 2020. Vol. 122. P. 254–268. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.04.012>.
11. 3-Chloro-1, 2-propanediol inhibits autophagic flux by impairment of lysosomal function in HepG2 cells / J. Lu [et al.] // Food and Chemical Toxicology. 2020. Vol. 144. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111575>.
12. Ficus carica, Ficus sycomorus and Euphorbia tirucalli latex extracts: Phytochemical screening, antioxidant and cytotoxic properties / A. M. Abdel-Aty [et al.] // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2019. Vol. 20. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101199>.
13. Triterpenoids from *Cassia fistula* L. regulate p53 & ERK2 genes to induce apoptosis in HT-29 colon cancer cells / R. M. Kumar [et al.] // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2019. Vol. 21. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101286>.
14. Isoscutellarein 8, 4'-Dimethyl ether glycosides as cytotoxic agents and chemotaxonomic markers in *Kickxia aegyptiaca* / M. M. Farid [et al.] // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2019. Vol. 22. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101431>.
15. Mycosynthesis of anticancer drug taxol by *Aspergillus oryzae*, an endophyte of *Tarenna asiatica*, characterization, and its activity against a human lung cancer cell line / G. Suresh [et al.] // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2020. Vol. 24. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101525>.
16. Cytoprotection assessment against mycotoxins on HepG2 cells by extracts from *Allium sativum* L / A. Juan-García [et al.] // Food and Chemical Toxicology. 2021. Vol. 151. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112129>.
17. Roflumilast protects from cisplatin-induced testicular toxicity in male rats and enhances its cytotoxicity in prostate cancer cell line. Role of NF-κB-p65, cAMP/PKA and Nrf2/HO-1, NQO1 signaling / B. A. Abdel-Wahab [et al.] // Food and Chemical Toxicology. 2021. Vol. 151. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112133>.
18. Effects of curcumin, D-pinitol alone or in combination in cytotoxicity induced by arsenic in PC12 cells / M. S. Rahaman [et al.] // Food and Chemical Toxicology. 2020. Vol. 144. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111577>.
19. Apigenin 7-O-glucoside promotes cell apoptosis through the PTEN/PI3K/AKT pathway and inhibits cell migration in cervical cancer HeLa cells / M.-M. Liu [et al.] // Food and Chemical Toxicology. 2020. Vol. 146. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111843>.
20. Кушлинский Н. Е., Немцова М. В. Молекулярные механизмы опухолевого роста // Медицинские новости. 2014. № 9. С. 29–37.

References

1. Kerksick CM, Arent S, Schoenfeld BJ, Stout JR, Campbell B, Wilborn CD, et al. International society of sports nutrition position stand: Nutrient timing. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2017;14(1). <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0189-4>.

2. Banihashemi SA, Nikoo M, Ghasempour Z, Ehsani A. Bioactive peptides fractions from traditional Iranian Koopeh cheese; lactic fermentation products. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2020;29. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101798>.
3. Bezus B, Ruscasso F, Garmendia G, Vero S, Cavello I, Cavalitto S. Revalorization of chicken feather waste into a high antioxidant activity feather protein hydrolysate using a novel psychrotolerant bacterium. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2021;32. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101925>.
4. Fedulova LV, Kashinova EB. *In vitro* study of the biologically active substances of animal origin. *Vsyo o Myase*. 2016;(4):30–33. (In Russ.).
5. Raja K, Martin LC, Bose L, Sahayanathan GJ, Padmanaban D, Chinnasamy A. Anti-proliferative and apoptotic effects of by-product (skin extract) from marine catfish *Tachysurus dussumieri*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2020;29. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101816>.
6. Joshi I, Janagaraj K, Noorani KPM, Nazeer RA. Isolation and characterization of angiotensin I-converting enzyme (ACE-I) inhibition and antioxidant peptide from by-catch shrimp (*Oratosquilla woodmasoni*) waste. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2020;29. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101770>.
7. Rivero-Pino F, Espejo-Carpio FJ, Perez-Galvez R, Guadix A, Guadix EM. Effect of ultrasound pretreatment and sequential hydrolysis on the production of *Tenebrio molitor* antidiabetic peptides. *Food and Bioprocess Processing*. 2020;123:217–224. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.07.003>.
8. Merzlyak EM, Syrko DS, Musatkina EA, Israelson MA. The use of monoclonal antibodies in autoimmunity treatment. *Bulletin of Russian State Medical University*. 2018;(6):164–169. (In Russ.). <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2018.094>.
9. Taroncher M, Rodriguez-Carrasco Y, Ruiz M-J. T-2 toxin and its metabolites: Characterization, cytotoxic mechanisms and adaptive cellular response in human hepatocarcinoma (HepG2) cells. *Food and Chemical Toxicology*. 2020;145. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111654>.
10. Shafiei Kaleybar L, Khoshfetrat AB, Nozad Charoudeh H. Modeling and performance prediction of a conceptual bioprocess for mass production of suspended stem cells. *Food and Bioprocess Processing*. 2020;122:254–268. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.04.012>.
11. Lu J, Lu J, Chen Y, Feng Z, Liu S, Guan S. 3-Chloro-1, 2-propanediol inhibits autophagic flux by impairment of lysosomal function in HepG2 cells. *Food and Chemical Toxicology*. 2020;144. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111575>.
12. Abdel-Aty AM, Hamed MB, Salama WH, Ali MM, Fahmy AS, Mohamed SA. Ficus carica, Ficus sycomorus and Euphorbia tirucalli latex extracts: Phytochemical screening, antioxidant and cytotoxic properties. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2019;20. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101199>.
13. Kumar RM, Jeyapriyadarshini S, Roy AA, Antony L, Indu S, Manikkam R. Triterpenoids from *Cassia fistula* L. regulate p53 & ERK2 genes to induce apoptosis in HT-29 colon cancer cells. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2019;21. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101286>.
14. Farid MM, Marzouk MM, El-Shabrawy M, Salem MA, Mounier MM, Hussein SR. Isoscutellarein 8, 4'-Dimethyl ether glycosides as cytotoxic agents and chemotaxonomic markers in *Kickxia aegyptiaca*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2019;22. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101431>.
15. Suresh G, Kokila D, Suresh TC, Kumaran S, Velmurugan P, Vedhanayakisri KA, et al. Mycosynthesis of anticancer drug taxol by *Aspergillus oryzae*, an endophyte of *Tarenna asiatica*, characterization, and its activity against a human lung cancer cell line. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2020;24. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101525>.
16. Juan-García A, Agahi F, Drakonaki M, Tedeschi P, Font G, Juan C. Cytoprotection assessment against mycotoxins on HepG2 cells by extracts from *Allium sativum* L. *Food and Chemical Toxicology*. 2021;151. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112129>.
17. Abdel-Wahab BA, Walbi IA, Albarqi HA, Ali FEM, Hassanein EHM. Roflumilast protects from cisplatin-induced testicular toxicity in male rats and enhances its cytotoxicity in prostate cancer cell line. Role of NF-κB-p65, cAMP/PKA and Nrf2/HO-1, NQO1 signaling. *Food and Chemical Toxicology*. 2021;151. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112133>.
18. Rahaman MS, Yamasaki S, Binte Hossain KF, Hosokawa T, Saito T, Kurasaki M. Effects of curcumin, D-pinitol alone or in combination in cytotoxicity induced by arsenic in PC12 cells. *Food and Chemical Toxicology*. 2020;144. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111577>.
19. Liu M-M, Ma R-H, Ni Z-J, Thakur K, Cespedes-Acuna C, Jiang L, et al. Apigenin 7-O-glucoside promotes cell apoptosis through the PTEN/PI3K/AKT pathway and inhibits cell migration in cervical cancer HeLa cells. *Food and Chemical Toxicology*. 2020;146. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111843>.
20. Kushlinsky NE, Nemtsova MV. Molecular mechanisms of tumor growth. *Meditinskiiye novosti*, 2014;(9):29–37. (In Russ.).

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-503-519>
УДК 637.136/637.143

Обзорная статья
<http://fptt.ru>



Методы оценки свертываемости белков молока в системе прогнозирования технологических свойств

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

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 25.02.2021

Принята после рецензирования: 01.04.2021

Принята в печать: 15.07.2021



*e-mail: e_illarionova@vniimi.org

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

Аннотация.

Введение. Значимым этапом комплексного мониторинга качества молочного сырья является всестороннее изучение его технологических свойств. В связи с этим совершенствование методов исследований, характеризующих способность молока к сычужному свертыванию, представляется актуальным направлением. Цель работы – систематизация и анализ базовых критериев и способов оценки молочных систем в аспекте их восприимчивости к образованию сычужно-индуцированных белковых гелей.

Объекты и методы исследования. Научные статьи российских и зарубежных ученых за последние 10 лет, размещенные в базах данных Web of Science, Scopus и Elibrary, а также нормативные документы, регламентирующие методологические подходы по исследуемой теме. В работе использовали методы анализа, систематизации и обобщения тематических публикаций современных баз данных.

Результаты и их обсуждение. Наряду с контролем физико-химических и микробиологических показателей молока для сыроделия как в РФ, так и за рубежом, проводят обязательную проверку его коагуляционных характеристик. Отечественные сыродельи используют различные модификации сычужно-бродильной и сычужной проб, базирующихся на субъективной органолептической оценке. Международные научные тенденции в этой области направлены на разработку и совершенствование инструментальных методов с использованием комплексного показателя MCP, характеризующего параметры сычужного свертывания посредством приборов Formagraph, Lattodinamografo, Optigraph и др. Сенсорные и инструментальные методы имеют свои достоинства и недостатки. Однако для оперативного прогнозирования сыропригодности молока, выхода и качества сыра наиболее значимыми критериями являются скорость выполнения анализа, сопоставимость и воспроизводимость результатов, что позволяет обеспечить современную инструментальную базу.

Выводы. Для усовершенствования методик определения сыропригодности молока в нашей стране необходимо использовать международный опыт, предлагающий стандартизованные оценочные критерии в совокупности с применением разнообразных инструментальных подходов к определению данного показателя. Однако наиболее перспективным является не только внедрение в российский исследовательский регламент зарубежных стандартов, но и совершенствование и разработка отечественных инструментальных методов оценки свертываемости белков молока.

Ключевые слова. Молоко, сыропригодность, коагуляция, сычужный сгусток, вязкость, реологические методы, оптические методы, инфракрасная спектроскопия

Для цитирования: Методы оценки свертываемости белков молока в системе прогнозирования технологических свойств / Е. Е. Илларионова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 503–519. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-503-519>.

Review article

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

Methods of Assessing Milk Proteins Coagulation as a Part of the Forecasting System of Technological Properties

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

All-Russian Dairy Research Institute, Moscow, Russia

Received: February 25, 2021

Accepted in revised form: April 01, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021



Abstract.

Introduction. An integrated monitoring of raw milk's contents, quality, and security is a key factor that guarantees the high-quality dairy production. As a result, new research methods of rennet clotting are a topical and urgent area of study. The research objective was to systemize and analyze the basic criteria and assessment methods of rennet-induced protein gels in milk systems.

Study objects and methods. The authors reviewed the official Russian criteria and methods of raw milk assessment by its rennet coagulation properties. The research also featured the most widespread instrumental approaches used in best practices from around the world.

Results and discussion. In Russian and foreign cheese production, milk is always tested for its physicochemical and microbiological indicators, with a mandatory check of its coagulation characteristics. Russian cheese-makers use different modifications of rennet and rennet-fermenting tests based on subjective sensory evaluation, while international scientific trends in this area aim at developing and improving instrumental methods by using a complex indicator MCP. This indicator characterizes the parameters of rennet coagulation with the help of such devices as Formagraph, Lattodinamografo, Optigraph, etc. Formagraph is a simple instrument for measuring rheological properties of milk clotting. It was popular in the late XX century. The recent years saw the development of other methods of instrumental control, including those based on optical measurements. For instance, Ortigraph is one such instrument that receives unified data on coagulation properties of raw milk by using near-infrared waves. Sensory and instrumental methods have their advantages and disadvantages. However, the most significant criteria for a quick test of cheeseability, yield, and quality are the speed of analysis and the comparability and reproducibility of results.

Conclusion. To improve cheeseability testing, Russian cheese-makers need to use the international experience, which offers standardized evaluation criteria in combination with various instrumental approaches. However, the integration of foreign regulations and methods into Russian studies is not the only option. The improvement and development of national instrumental methods of evaluating milk protein coagulation is also crucial.

Keywords. Milk, cheeseability, coagulation, rennet coagulation, viscosity, rheological methods, optical methods, infrared, infrared spectroscopy

For citation: Illarionova EE, Kruchinin AG, Turovskaya SN, Bigaeva AV. Methods of Assessing Milk Proteins Coagulation as a Part of the Forecasting System of Technological Properties. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):503–519. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-503-519>.

Введение

В мировом научном сообществе неуклонно возрастает интерес к инновационным подходам в технологиях пищевых производств. Они нацелены на повышение конкурентоспособности готовых продуктов, а также на интенсификацию технологических процессов и совершенствование систем контроля.

Расширение ассортимента молочной продукции и увеличение производственных объемов без потери качества возможно осуществить лишь посредством принципиально новых решений, сочетающих внедрение в агропромышленный комплекс актуальных научно-технических разработок и современных методов биотехнологического и молекулярно-генетического анализа [1–3].

Важным фактором, обеспечивающим создание конкурентоспособного молочного ассортимента, является постоянный системный мониторинг состава, квалитативности и безопасности молочного сырья, заключающийся в формировании комплексного подхода к определению уровня соответствия его технологических свойств применяемым оценочным критериям [4, 5].

Качество молока как динамично меняющейся биосистемы напрямую связано не только с обменными, окислительно-восстановительными и ферментативными процессами в организме животного, но и во многом предопределено его (животного) возрастными, породными и генетическими особенностями. Поэтому прижизненное формирование и оценка наиболее значимых сырьевых показателей предполагает широкое использование принципов молекулярно-генетического прогнозирования [6, 7].

Такая концепция обуславливает необходимость всестороннего изучения связи между технологическими параметрами молочного сырья и генетическими особенностями отдельных пород крупного рогатого скота. Неотъемлемой частью исследований, направленных на создание биомолекулярного прогнозирования молочной продуктивности животных, является интеграция математически апробированных алгоритмов формирования критериев оценки соотношения относительных долей аллелей генов молочных белков с составом и технологическими свойствами молочного сырья [8].

Ключевым этапом проведения комплексного мониторинга качественных характеристик молока

должно стать обстоятельное изучение таких его технологических свойств, как термоустойчивость и сычужная свертываемость [9–11].

Термоустойчивость белковых фракций признана определяющим отборочным критерием при высокотемпературной обработке молока, регламентированной в производстве молочных продуктов длительного хранения. Способность к сычужному свертыванию – это важный показатель соответствия сырья, характеризующий его сыропригодность [12, 13].

Под сыропригодностью понимают комплекс качественных и количественных характеристик, технологических и гигиенических свойств молока. Такой комплекс при совокупном воздействии сычужного препарата и молочнокислых бактерий способствует интенсивному протеканию сложных биохимических процессов, сопровождающихся структурно-механическими изменениями белковой фазы (образование геля, синерезис и т. д.). Объективная оценка этой технологической характеристики является значимым этапом в обеспечении отрасли высокотехнологичным и безопасным сырьем для получения конкурентоспособных молочных продуктов.

В связи с этим совершенствование методов исследований, характеризующих способность молока к сычужному свертыванию, представляется актуальным направлением.

Цель работы – систематизация и анализ базовых критериев и способов оценки молочных систем в аспекте их восприимчивости к образованию сычужно-индуцированных белковых гелей.

Задачи исследования: проанализировать достоинства и недостатки российских и международных методов изучения сыропригодности молока; систематизировать данные о практическом использовании инструментальных способов для совершенствования и разработки новых отечественных методов оценки свертываемости белков молока.

Объекты и методы исследования

Выполнен аналитический обзор 55 научных литературных источников на русском и английском языках с систематизацией и обобщением данных по физико-химическим и микробиологическим параметрам, определяющим качество, технологические свойства и сыропригодность молока. Также проведен сравнительный анализ сенсорных и инструментальных методов оценки реологических характеристик сычужного сгустка, применяемых в нашей стране и в мировой практике. Использованы источники, представленные в электронных базах данных Web of Science, Scopus и Elibrary.

Поиск был ограничен рецензируемыми статьями в академических журналах. Он включал исследовательские, концептуальные и обзорные

публикации, соответствующие тематике запроса, исключая главы из книг, материалы конференций, сборники трудов и прочие публикации. Поиск в базах данных Web of Science, Scopus и Elibrary был проведен на английском языке с использованием поисковых запросов «raw milk» и «cheese making» для первой ступени поиска и запросов «milk coagulation properties» и «rennet coagulation» для второй ступени. Общие термины, такие как «raw milk» или «cheese making», использованы для более широкого поиска и выявления большего количества статей. Однако, учитывая тему обзора, среди найденных ресурсов для выбора наиболее релевантных источников проводили поиск с более узкоспециальными запросами. Поиск в базе данных Elibrary осуществляли также и на русском языке с использованием терминов: «сыропригодность», «сычужная свертываемость», «сычужная коагуляция». Поисковые запросы применяли как для названий, так и для ключевых слов публикаций. Глубина поиска составляла 10 лет: с 2011 по 2021. При этом предпочтение было отдано наиболее поздним публикациям.

По общему количеству идентифицированная библиография содержала 112 наименований. В них были проанализированы названия, аннотации и ключевые слова. Для дальнейшей работы выбраны 55 источников, которые рассмотрены и подробно изучены, включая имеющиеся в них ссылки на более ранние публикации, для составления ретроспективной картины по изучаемому вопросу.

Результаты и их обсуждение

Сыропригодными свойствами обладает биологически полноценное молочное сырье, которое содержит определенное количество белковых веществ, аминокислот, пептидов, ферментов, жиров, витаминов и микроэлементов, представляя собой благоприятную среду, стимулирующую развитие микроорганизмов и предопределяющую качественные характеристики вырабатываемой продукции [13]. В то же время недопустимо присутствие компонентов, способных ингибировать развитие полезной молочнокислой флоры и представленных нежелательными бакпрепаратами, антибиотиками, остаточными количествами дезинфектантов и моющих средств. Отмечаемые различия в идентификационных показателях по сычужной свертываемости обусловлены влиянием физико-химических факторов: активной и титруемой кислотностью, СОМО, соотношением сывороточных белков и казеиновых фракций [14–16].

Для оценки сыропригодных свойств молока, помимо регламентированных в Российской Федерации основных требований по качеству и безопасности, учеными института маслodelения и сыроделения (ВНИИМС) создана специализированная техническая документация (ТУ 9811-153-04612009-

2004 и СТО ВНИИМС 019-2019). В ней установлены специфические требования к сырью для сыроделия по физико-химическим и микробиологическим показателям в совокупности с результатами технологических проб. Наряду с контролем органолептических характеристик и параметров безопасности, значения плотности молока-сырья нормированы не ниже 10,27 °А, общего белка – не менее 2,8 %, жира – не менее 3,1 %, а группа чистоты – не ниже I. Величина титруемой кислотности регламентирована в пределах от 16 до 19 °Т, поскольку данный показатель существенно влияет на продолжительность свертывания и реологические свойства получаемого сгустка. Массовая доля сухих веществ молока и состояние белковой фазы, а именно состав и соотношение казеиновых фракций, являются наиболее важными критериями, определяющими эффективность сычужной коагуляции. Увеличение количества казеина в молоке интенсифицирует сычужное свертывание, повышает плотность сгустка и выход продукта [17, 18].

Для оценки сыропригодности важным является мониторинг первичной микробиологической обсемененности. Особенно наличие газообразующих форм, таких как бактерии группы кишечной палочки и маслянокислые бактерии, провоцирующие возникновение пороков сыра в процессе созревания. Поэтому при определении пригодности молока в сыроделии осуществляют контроль показателей, характеризующих микробиологическое состояние сырья [19, 20].

Количественный уровень микрофлоры по редуктазной пробе определяют по степени восстановления резазурина ферментами микроорганизмов молока. Положительная корреляция между содержанием редуктаз и количеством мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) в молоке позволяет производить относительную оценку бактериальной нагрузки. Помимо этого, контроль сырья осуществляют не только по показателям КМАФАнМ, но и по количеству спор мезофильных анаэробных лактатсбраживающих бактерий [21].

Обязательной и наиболее важной комплексной характеристикой сыропригодности молока является содержание соматических клеток. К их числу относят эпителиальные клетки, лимфоциты, гранулоциты, макрофаги и пр. Данный показатель обусловлен как здоровьем животных, так и примесью молозива или стародойного молока в сборном. Превышение нормируемых значений по содержанию соматических клеток связано с наличием патогенной микрофлоры. В совокупности эти показатели оказывают ингибирующее воздействие на заквасочные микроорганизмы, снижая продолжительность коагуляции белков и качество сгустка.

Несмотря на то, что микробиологический контроль является значимой частью комплексной оценки сырого молока для получения качественного сычужного сгустка, на практике определение коагуляционной способности молочного сырья осуществляют по ряду технологических характеристик, фиксируя динамику свертываемости и синерезиса, а также реологические показатели (изменение вязкости, плотности и эластичности) казеинового геля [16, 20].

Сычужную свертываемость определяют посредством давно апробированных бродильной, сычужно-бродильной или сычужной проб [22]. Описание двух последних методик включено в межгосударственный стандарт ГОСТ 32901-2014.

Постановка бродильной пробы позволяет оценивать качество сгустка, полученного в результате развития нативной молочнокислой микрофлоры, в течение 12 и 24 ч при температуре 38 ± 1 °С. Нормальный бактериальный профиль обеспечивает получение ровного и плотного сгустка. Присутствие нежелательной газообразующей флоры приводит к образованию вспученного и хлопьевидного казеинового геля с отделением непрозрачной сыворотки.

Сычужно-бродильная проба характеризует способность сырого молока к коагуляции под действием сычужного фермента и микроорганизмов сырого молока. Пробирки с заданным количеством молока и молокосвертывающего фермента помещают в термостат или водяную баню при температуре 38 ± 1 °С и выдерживают 12 ч. Затем проводят визуальную оценку получившегося сгустка. Сыропригодное молоко образует однородный плотный и гладкий сгусток с отделением прозрачной сыворотки.

Для оценки молока, прошедшего предварительную температурную обработку, используют сычужную пробу, при которой коагуляция проходит под воздействием только сычужного фермента. Пастеризованное молоко с температурой 38 ± 1 °С разливают в 4 пробирки по 30 мл. В две из них вносят по 0,5 мл, а в другие две по 1 мл унифицированного раствора молокосвертывающего фермента и хорошо перемешивают. Качество сгустка оценивают после 60 мин выдержки при температуре 38 ± 1 °С. Упругий и гладкий сгусток без глазков свидетельствует о хорошей сыропригодности молока.

Любой из описанных выше методов предусматривает визуальную оценку способности исследуемого молочного сырья к образованию сычужно-индуцированных гелей с последующим его отнесением к одному из трех или четырех классов, где молоко первых двух классов считается хорошим или удовлетворительным, а третьего или четвертого класса – сычужно-вялым, образующим непрочный сгусток и непригодным для выработки сыра.

Следует также отметить, что сычужная проба, в отличие сычужно-бродильной, считается менее

достоверной и рекомендована для оперативной оценки в производственных условиях.

Помимо стандартизованных методов определения сыропригодности, многие производители сыров используют внутренние методики по оценке входящего сырья. Они основаны на вышеописанных способах с незначительными модификациями, адаптированными под конкретное производство. Такие методики применяют также и для оценки сычужной свертываемости восстановленного молока, которое, учитывая дефицит сырого молока, географическое положение и сезонность в некоторых регионах, используют в производстве творожных и сырных продуктов [23, 24]. Как правило, все разработанные внутренние методики также базируются на визуальных и/или органолептически фиксируемых характеристиках получаемого сгустка.

Несовершенство вышеописанных методов и их различных модификаций обусловлено значительной продолжительностью исполнения и недостаточной унификацией. Они снижают оперативность определения и сопоставимость результатов анализов, поскольку визуальная оценка в этих случаях является субъективным показателем и во многом зависит от опыта специалиста, проводящего исследование [25].

Инструментальные методики измерений. Для усовершенствования существующих приемов выявления способности молока к сычужной коагуляции без потери эффективности и простоты исполнения специалистами ВНИИМС разрабатываются методики с привлечением инструментального контроля по некоторым показателям.

Для унификации продолжительности сычужной коагуляции, а также оперативного определения количества молокосвертывающего препарата и сыропригодности молока в производственных условиях скорость образования сычужно-индуцированных гелей определяют с использованием прибора ВНИИМС, исполненного в форме конусообразного цилиндра емкостью 1 л. Измерение происходит в соответствии с законом сычужного свертывания, где продолжительность коагуляции является обратно пропорциональной величиной количеству добавленного фермента. В прибор помещают анализируемую пробу с заданной температурой и предварительно внесенными заквасочными культурами. Затем по установленной методике вводят молокосвертывающий фермент, перемешивают и открывают ниппель в нижней части цилиндра для свободного вытекания получаемого геля до момента образования плотной структуры. По отметкам шкалы у верхней границы коагулята рассчитывают необходимое количество сычужного фермента для исследуемого молока, обеспечивающего образование сычужного сгустка в течение определенного времени.

С целью установления способности к сычужной коагуляции сухого обезжиренного молока разработан метод (ГОСТ Р 54074-2010), основанный на соотношении степени разрушения (под воздействием гармонических колебаний определенной частоты) сгустка, полученного из восстановленного молока, с контрольными сгустками из натурального молока, демонстрирующими дифференциацию разрушения при воздействии температур 70 ± 1 , 80 ± 1 и 90 ± 1 °C продолжительностью 20 ± 5 с. При соответствии степени разрушения анализируемой пробы первому или второму образцу, сухое обезжиренное молоко признают сыропригодным.

Другой инструментальный метод, регламентированный ГОСТ Р 54074-2010 для сухого обезжиренного молока, основан на измерении оптической плотности бесказеинового фильтрата, полученного в результате осаждения восстановленного молока раствором хлористого натрия, посредством фотокolorиметрирования. На основании полученных результатов и с использованием градуировочных графиков устанавливают массу неденатурированных сывороточных белков в восстановленном продукте и/или параметры тепловой обработки молока. Возможность использования исследуемого образца сухого обезжиренного молока в производстве сыра определяют соотношением массы неденатурированных сывороточных белков и/или температуры тепловой обработки с приведенными таблицами дифференциации.

Изучение динамики синерезиса позволяет судить о структурных и гидрофильных свойствах молочного сгустка. Синеретические свойства определяются количеством сыворотки, выделившейся в заданное время из определенного количества коагулирующего молока.

Величина скорости отделения сыворотки имеет прямую корреляцию с синеретическим давлением, степенью проницаемости сгустка, а также обратную – с вязкостью и длиной прохождения пути сыворотки. Интенсивность синерезиса характеризуют изменением толщины тонкого среза сгустка в общем количестве сыворотки, объемом выделяющейся сыворотки при самопрессовании или путем центрифугирования неразрушенного сгустка. Использование последнего метода рекомендовано для определения окончания синерезиса. Оценка динамики синерезиса может быть представлена различными способами с соблюдением вышеуказанных принципов.

Изменение реологических параметров сычужного сгустка на практике оценивают визуально, руководствуясь описанием качеств получаемого коагулята, приведенных в нормативной и технической документации. Лишь некоторые исследователи используют для этих целей инструментальное определение реологических характеристик.

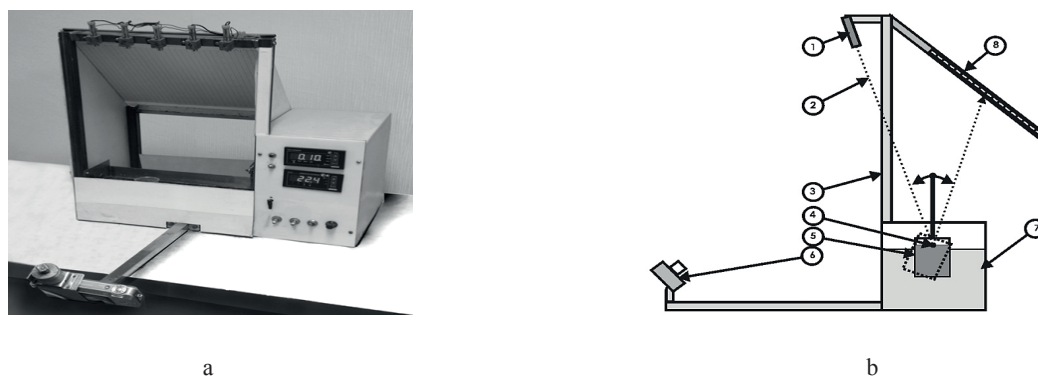


Рисунок 1. Прибор для исследования процесса коагуляции молока: (а) внешний вид прибора; (б) 1 – лазер; 2 – луч лазера; 3 – стойка; 4 – подвижный штатив для стакана; 5 – стакан со смесью; 6 – видеокамера; 7 – жидкостный термостат; 8 – экран [29]

Figure 1. Device for coagulation testing: (a) appearance; (b) 1 – laser; 2 – laser beam; 3 – stand; 4 – movable stand for the glass; 5 – glass with the mix; 6 – video camera; 7 – liquid thermostat; 8 – screen [29]

Сычужный сгусток имеет вязкоэластичные свойства, показывая текучесть и эластичную деформацию при механическом воздействии. Его сопротивление влиянию сторонних напряжений характеризуется модулем сдвига, соответствующим отношению напряжения к деформации сдвига. Модуль эластичности зависит от количества и типа связей в сгустке при воздействии напряжений. Для характеристики реологических свойств сычужных сгустков применяют такие показатели вязкости, как модуль потерь (G''), модуль запаса (G') и тангенс потерь ($\tan \delta = G''/G'$). Деформации, возникающие под действием внешней нагрузки и напряжения в продукте, зависят от состава и структуры экспериментальных объектов, являясь мерой сил их внутреннего взаимодействия [26].

Исследования этих показателей распространены с использованием цилиндрического измерительного устройства ротационного вискозиметра Реотест-2. Результаты измерений позволяют устанавливать эффективную вязкость продукта (Па·с) и её корреляцию с продолжительностью сквашивания пробы [27, 28].

Описаны испытания по определению структурно-механических параметров сычужных сгустков при помощи пенетрометров (типа Koehler K95500). В процессе пенетрации устанавливают сопротивление образцов проникновению индентора (конусообразного, шарообразного или цилиндрического) со строго определенными значениями массы, размеров и материала при заданной температуре за определенный промежуток времени. Расчетным показателем является величина предельного напряжения сдвига, характеризующая прочность структуры исследуемого сгустка.

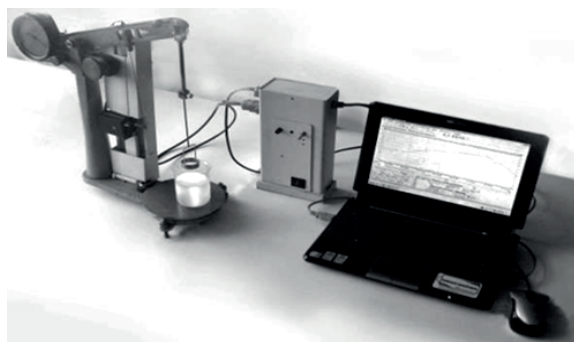
Также отмечен опыт определения динамической вязкости сычужного сгустка посредством измерения

предельного напряжения сдвига на ротационном вискозиметре типа Brookfield DV-III Ultra.

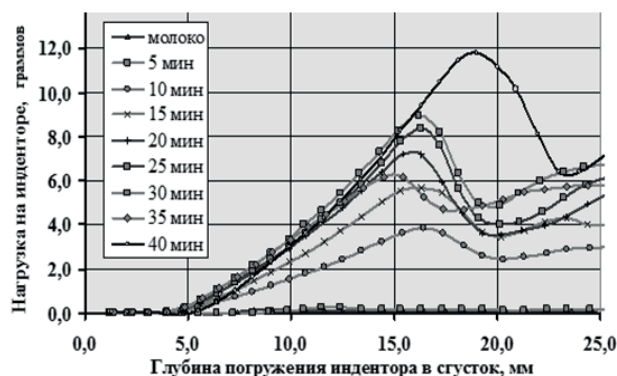
Недостатками подобных исследований являются сложность и отсутствие единой методики измерений. Это практически исключает возможность соотнесения экспериментальных результатов, полученных разными научными группами, и их воспроизводимости.

Следует отметить, что российскими учеными предпринимаются попытки создания приборов по определению сыропригодности с учетом изменения реологических характеристик сгустков. Например, разработан прибор для исследования интенсивности коагуляции, представленный термостатируемой емкостью, в которую помещен цилиндр, заполненный исследуемым молоком до заданного уровня (рис. 1). Установка цилиндра произведена с возможностью осуществления его наклона на заданный угол относительно уровня исследуемой смеси с определенной периодичностью. Цилиндр с пробой молока, нагретой до температуры коагуляции, и с внесенным ферментным препаратом закрепляют в термостате и запускают качающий механизм. На поверхность образца молока направляют луч лазера, который, отражаясь от поверхности, попадает на градуированный экран с нанесенной шкалой. В исходном состоянии положение луча на экране не изменяется. С повышением вязкости пробы перемещение качающегося цилиндра приводит к изменению угла наклона поверхности сгустка. При этом фиксируется смещение отражаемого от поверхности луча. Увеличение плотности коагулята прямо пропорционально величине отклонения луча, динамика которого фиксируется графически. В сформированных сгустках устанавливают реологические показатели [29].

Для измерения прочностных характеристик сычужных гелей разработана и опробована



a



b

Рисунок 2. Прибор для измерения предела прочности сгустка: (а) внешний вид прибора; (б) кривые нагрузки, получаемые при измерении предела прочности [29]

Figure 2. Device for measuring the ultimate clot strength: (a) appearance; (b) load curves obtained from tensile strength measurements [29]

установка на базе реовискозиметра Гепплера, где прибор, определяющий прочность, сопряжен с потенциометром (рис. 2а). Принцип действия построен на деструктурировании сгустков различными типами инденторов при создаваемой нагрузке. Результаты измерений отображаются в графической форме на потенциометре (рис. 2б). Основываясь на полученном графике, производят расчет предела прочности сгустка [29].

Несмотря на удовлетворительные результаты измерений, данные приборы по определению характеристик процесса коагуляции не нашли широкого применения, оставаясь в единичных стендовых вариантах. Большинство методов оценки сыропригодности, используемых российскими сыроделами, по-прежнему базируется на органолептически определяемых параметрах сычужных сгустков в совокупности с установлением микробиологических показателей молока-сырья. В то время как реологические характеристики, представленные в исследованиях разных авторов, практически не подлежат сравнению ввиду значительных отличий методик и единиц измерения.

Измерение сыропригодности: мировой опыт. В мировой практике для молока, используемого в производстве сыров, наряду с общими требованиями по качеству и безопасности, установленными Codex Alimentarius, существуют и специфические рекомендации по кислотности, количеству соматических клеток, содержанию жира, общего белка и казеиновых фракций. Эти рекомендации могут варьироваться ввиду различий по регионам производства, типам вырабатываемых сыров, породам и видам молочных животных (коровы, козы, овцы, буйволы). Кроме того, для сырого

молока, используемого без пастеризации, в Codex Alimentarius регламентированы особые требования по безопасности и гигиене производства. Однако, наряду с этим, в большинстве стран всегда существовала четкая тенденция по развитию инструментальных методов, позволяющих экспрессно получать унифицированные измерительные параметры, описывающие реологические коагуляционные способности молочного сырья.

На ранних этапах изучения сычужной свертываемости использовался прибор по определению динамической вязкости. Блэр и Бернетт (1963 г.) разработали метод «падающего столба», при котором начало коагуляции фиксировалось как замедление скорости потока жидкости, «падающей» через вертикальный капилляр диаметром 0,4 мм. Описанный способ демонстрировал обратную зависимость времени коагуляции с концентрацией сычужного фермента, подтверждая закон сычужного свертывания. Принцип данного метода применен и в приборе ВНИИМС.

Шарма, Хилл, Гофф и Яда (1989 г.), используя датчик вискозиметра крутильных колебаний Nametre при исследовании восстановленного обезжиренного молока, выявили возможность обнаружения ранней стадии его коагуляции до образования видимых сгустков. Крутильные колебания характеризуют одновременно вязкость и плотность продукта. Ученые обнаружили, что совокупность этих параметров уменьшается в течение 10–20 мин (в начальной стадии гидролиза κ-казеина), а затем постепенно нарастает, позволяя оценивать скорость коагуляции [26].

Термический онлайн-метод, использующий датчик с нагретой проволокой, погруженный в молоко с внесенным сычужным ферментом, показал хорошую

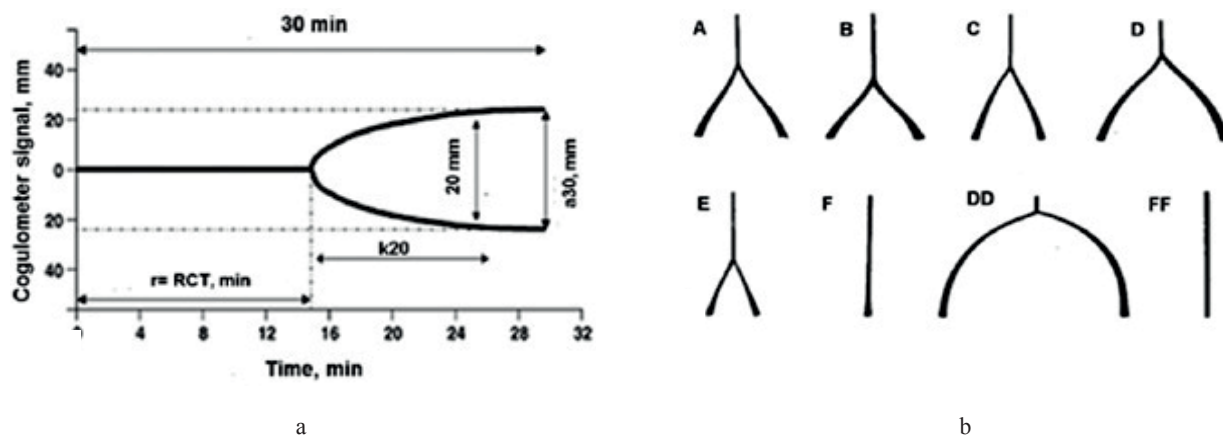


Рисунок 3. Диаграмма сычужного свертывания (а) и типы лактодинамических диаграмм (б) [34]

Figure 3. Diagram of rennet coagulation (a) and types of lactodynamic diagrams (b) [34]

эффективность для прогнозирования времени структурообразования. Однако он не приспособлен для характеристики плотности сгустка [30].

Наибольшее распространение во всем мире с 1984 г. получил достаточно простой прибор – Formagraph (Foss Electric, Дания). Он предусматривает непосредственное наблюдение и фиксацию изменений реологических характеристик гелеобразования молока [31, 32]. Formagraph производит регистрацию перемещения петлеvidного маятника в кювете с коагулирующей жидкостью, совершающей возвратно-поступательные движения. С увеличением вязкости исследуемого образца возрастает амплитуда колебаний маятника. В течение 30-ти или 60-ти мин исследования амплитуда колебаний записывается, формируя диаграмму сычужного свертывания (рис. 3а).

В результате технической эволюции конструкция приборов типа Formagraph претерпела модернизацию, объединив механический принцип с компьютеризированными измерителями коагуляции в приборах Lattodinamografo (Foss-Italy) и Renneting Meter (Polo Trade, Италия) [33, 34]. Технология компьютеризированных счетчиков (CRM) основана на амплитудных колебаниях маятника под действием электромагнитного поля. В процессе коагуляции молока прибор регистрирует изменения электромагнитного поля и при сохранении основных принципов измерения непрерывно фиксирует результаты в памяти компьютера, формируя традиционную диаграмму стандартизованных показателей (рис. 3а) [35, 36].

Измеряемыми параметрами являются: RCT (r) – время от начала теста до первых признаков фиксируемой коагуляции, мин; k_{20} – время от окончания RCT до получения ширины 20 мм на

графике, мин; a_{30} (a_{60}) – ширина графика через 30 или 60 мин, мм [37, 38]. Анализ графических результатов (рис. 3а) предоставляет возможность оценить исследуемое молоко по ряду унифицированных показателей, таких как продолжительность сычужного свертывания, кинетика образования (k_{20}) и плотность сгустка (a_{30}). Такой формат мониторинга процессов сычужной и кислотной коагуляции широко применяется исследователями многих стран, являясь образцовым для интерпретации данных, полученных с использованием и других средств измерения [39, 40].

В мировой практике в последние десятилетия повсеместно применяют комплексный реологический оценочный стандарт для сыропригодного молока – MCP (Milk coagulation properties). Данный параметр, признанный наилучшим общим критерием способности к образованию кислотно- и сычужно-индуцированных гелей, определяют совокупностью трех показателей RCT, k_{20} и a_{30} . На основании этих данных рядом исследователей разработаны модели плотностей сгустка (рис. 3б), представляющие собой сформированные диаграммы, соответствующие разным типам исследуемого молока с определенными характеристиками по сыропригодности (табл. 1) [34]. Помимо этого, полученные данные позволяют рассчитать индекс способности молока к свертыванию (параметры CF) посредством специально разработанного математического алгоритма [32].

Благодаря своей простоте и надежности, приборы Formagraph, Lattodinamografo и Renneting Meter широко используют во многих странах, несмотря на появление новых средств измерений, а также применяют в качестве эталонного метода во многих работах [41, 42].

В последние десятилетия отмечен интерес исследователей к принципиально иным подходам

Таблица 1. Характеристика сыропригодности молока по лактодинамической диаграмме [34]

Table 1. Lactodynamic diagram of cheeseability [34]

Тип диаграммы	Характеристика процесса коагуляции	Классификация сыропригодности молока	Возможная причина
A	Наилучшая способность к коагуляции	Отличное	—
B	Замедленная первая фаза коагуляции RCT с хорошей скоростью второй фазы k_{20} и высокой плотностью получаемого сгустка	Хорошее	Поздний период лактации, высокое содержание казеина
C	Быстрая первая фаза коагуляции RCT с замедлением на второй фазе k_{20} и недостаточно плотным сгустком	Хорошее	Ранний период лактации, низкое содержание казеина
D	Очень быстрая коагуляция с высокой плотностью сгустка	Хорошее	Повышенная кислотность и/или высокое содержание казеина в молоке
E	Длительное время RCT и недостаточно плотная консистенция сгустка	С дефектами	Повышенное количество соматических клеток в молоке
F	Очень продолжительное время RCT, слабая консистенция сгустка	С дефектами	Очень высокое содержание соматических клеток, повышенный показатель pH
DD	Более выраженные параметры коагуляции по типу D	С дефектами	Молоко с повышенной кислотностью, стародойное молоко
FF	Молоко, не коагулирующее в течение 30 мин	Некоагулирующее	—

в контроле сычужной коагуляции, основанным на оптических технологиях [43]. Одна из таких работ описывает контроль процесса свертывания молока при помощи компьютерной обработки последовательности цифровых цветных изображений, сделанных посредством оптической микроскопии со скоростью одно изображение в секунду. Оптический микроскоп с проходящим светом (Biolux AL, 20×–1280×, 220–5,5 VS, 200 MA, Meade Instruments Europe, Германия), оснащенный цифровой фотокамерой (разрешение 640×480 пикселей), подключен к компьютеру типа HP для наблюдения за агрегацией молока в процессе коагуляции. Пробу молока с сычужным препаратом в количестве 20 мкл помещают на предметное стекло и закрывают покровным. Затем производят запись последовательности изображений в течение определенного времени при одинаковом увеличении (40×) для каждого образца и анализируют посредством определения пиков цветовых гистограмм с использованием алгоритмов, реализованных в программном обеспечении Matlab 7.7. Используемые алгоритмы успешно продемонстрировали фиксацию изменений оптических свойств при коагуляции молока по серии микроскопических снимков [30].

К оптическим методам контроля относятся также исследования с применением инфракрасного излучения, проводимые по двум направлениям. В первом направлении используют средние инфракрасные спектры (MIRS) для испытаний молока без сычужного свертывания. Средняя инфракрасная спектроскопия – это быстрый

(порядка 2,5 мин) и экономически эффективный лабораторный метод, который позволяет косвенно прогнозировать технологические параметры образцов молока, задействуя соответствующие алгоритмы калибровки и без необходимости проводить коагуляцию. Исследования могут быть выполнены с использованием приборов, сканирующих среднюю инфракрасную область от 4000 до 900 см⁻¹ и оснащенных интерферометром (MilkoScan FT120, Foss Electric, Дания). Спектры генерируются из полученной интерферограммы посредством быстрых преобразований Фурье и автоматически фиксируются в базе данных. Полученные спектральные данные сохраняются в виде $\log(1/R)$, где R – значения коэффициента отражения. Корреляции между показателями, полученными с помощью традиционных методов и MIRS, невысоки. Этот анализ не может быть использован в исследовательских целях. Однако, учитывая его быстроту и экономическую эффективность, MIRS представляет собой надежный инструмент для диагностики популяций животных или массовой оценки проб молока в производственных условиях [44–49].

Суть второго направления инфракрасных методов исследований состоит в том, что детектор, погруженный в неподвижный образец молока в процессе сычужной коагуляции, регистрирует поглощение на одной длине волны ближнего инфракрасного диапазона (NIR) [17]. Этот принцип реализован в приборе Optigraph (OPT, Ysebaert SA, Франция). OPT измеряет затухание оптического

Таблица 2. Методы определения сыропригодности молока

Table 2. Methods for determining the cheeseability of milk

№	Принцип метода	Используемые приборы	Измеряемые параметры	Достоинства	Недостатки
1	Измерение динамической вязкости капиллярным вискозиметром	Прибор Блэра и Бернетта, кружка Маршалла, прибор ВНИИМС	Зависимость скорости потока жидкости от концентрации сычужного фермента	Простота, дешевизна, скорость выполнения	Недостаточная точность, невозможность оценить характеристики сгустка
2	Проведение сычужной коагуляции в пробе сырого или пастеризованного молока [22]	Сычужно-бродильная и сычужная пробы, а также их модификации	Продолжительность коагуляции, мин; органолептическая оценка сгустка	Простота, дешевизна	Недостаточная точность, субъективность оценки, продолжительность, невысокая воспроизводимость и сопоставимость
3	Ротационная вискозиметрия [26–28]	Реотест, Реотест-2, Brookfield, и их аналоги	Эффективная вязкость сгустка, Па·с	Высокая точность, воспроизводимость, сопоставимость	Измерение только одного параметра, сложность выполнения
4	Механическое измерение амплитуды возвратно-поступательных движений маятника [31, 32]	Formagraph	RCT (r), мин; k_{20} , мин; a_{30} (a_{60}), мм	Оценка коагуляции по нескольким параметрам, стандартизация результатов, сопоставимость, воспроизводимость	Относительная сложность и продолжительность выполнения
5	Измерение амплитудных колебаний маятника под действием электромагнитного поля [33–35]	Lattodina-mografo, Renneting Meter	RCT (r), мин; k_{20} , мин; a_{30} (a_{60}), мм	Оценка коагуляции по нескольким параметрам, стандартизация результатов, сопоставимость, воспроизводимость	Относительная сложность и продолжительность выполнения
6	Средняя инфракрасная спектроскопия (MIRS) в области от 4000 до 900 см^{-1} [44–49]	MilkoScan FT120, FT Milko-Scan 6000	Генерирование спектров из интерферограммы посредством быстрых преобразований Фурье; $\log(1/R)$, где R – значения коэффициента отражения	Не требует коагуляции молока, простота, высокая скорость выполнения, хорошая сходимость по RCT (r)	Невысокая сходимость по k_{20} и a_{30} , воспроизводимость
7	Ближняя инфракрасная спектроскопия (NIR) в области 820 нм [17, 50–55]	Optigraph	Преобразование изменений оптической плотности в: RCT (r), мин; k_{20} , мин; a_{30} (a_{60}), мм	Оценка коагуляции по нескольким параметрам, стандартизация результатов, сопоставимость	Относительная сложность выполнения, продолжительность, невысокая воспроизводимость

инфракрасного сигнала сквозь образец молока во время свертывания и показывает время коагуляции и плотность сгустка. Измерение оптического сигнала происходит непрерывно в ближней инфракрасной (NIR) области (820 нм). Изменения в оптической плотности, зафиксированные ОПТ, преобразуются с использованием соответствующего калибровочного уравнения и воспроизводятся в формате традиционного графика (рис. 1а). В процессе испытаний ОПТ показал хорошую сходимость результатов по показателю RCT (r) и не слишком

высокую корреляцию значений k_{20} и a_{30} по сравнению с Formagraph [50–55].

Сравнительная характеристика наиболее широко применяемых методов по оценке динамики процесса коагуляции молока и прочности получаемых сгустков представлена в таблице 2.

Как следует из таблицы 2, недостаток всех описанных выше экспрессных инструментальных методов (1–7) состоит в том, что они характеризуют плотность сгустка посредством эмпирических значений, в то время как наиболее точные показатели

в технических единицах можно получить только непосредственным измерением вязких и упругих свойств при помощи реологических устройств. Например, динамические реометры с низкой амплитудой (3). Однако эти устройства плохо подходят для массовых исследований ввиду сложности их применения, длительности анализа и слабой унифицированности показателей, поэтому используются в качестве эталонных [41, 54]. Сычужно-бродильная и сычужная пробы, связанные с органолептической оценкой сгустка, недостаточно объективны (2), а в совокупности с измерением дополнительных характеристик сыворотки усложняются и также требуют специального оборудования. Наиболее приемлемыми в части скорости, воспроизводимости и сходимости результатов представляются повсеместно применяемые в мировой практике методы оценки сычужных свойств с критериальными характеристиками, адаптированными к показателям Formagraph: продолжительность сычужной коагуляции – RCT (г), кинетика гелеобразования – k_{20} , прочность сгустка через 30 или 60 мин – a_{30} или a_{60} соответственно [28]. По совокупности этих показателей (MCP) уже на этапе лабораторных исследований можно получить отличный прогноз по ферментной обработке молока, выходу и качеству сыра.

Выводы

В России и за рубежом при выборе сырья для производства сыров первоочередное внимание уделяют его физико-химическим и микробиологическим показателям: титруемой и активной кислотности, плотности, массовой доле жировой и белковой фракций, содержанию соматических клеток и микробиологической обсемененности.

В РФ, наряду с регламентированными общими требованиями по качеству и безопасности, разработаны ТУ 9811-153-04612009-2004 и СТО ВНИИМС 019-2019, где по всем вышеуказанным параметрам установлены специальные показатели молока для сыроделия. В зарубежных странах, помимо нормативов Codex Alimentarius на молоко-сырье, устанавливают специальные требования по физико-химическим и микробиологическим показателям в зависимости от региона производства, вида вырабатываемых сыров и типа молочного сырья (молоко коров, коз, овец, буйволов). Однако, наряду с этими показателями, основным стандартом в оценке сыропригодности в мировой практике считают именно способность молока к коагуляции (Milk coagulation properties), отражающую реологические характеристики получаемых кислотно- и сычужно-индуцированных гелей. Качество определения MCP существенно продвинулось в последние

десятилетия, благодаря широкому использованию разнообразных инструментальных методов оценки, сокративших время проведения испытаний от нескольких часов до 30 мин, а в ряде случаев и до 2,5 мин без потери достоверности и сходимости результатов. При этом практически повсеместно используют унифицированные показатели коагуляции, позволяющие проводить идентификацию молока по сыропригодности, а также соотнесение результатов работ ученых из исследовательских центров разных стран.

Система оценки коагуляционной способности молочного сырья посредством сычужно-бродильной и сычужной проб, а также их модификаций, широко применяемая на сегодняшний день в нашей стране, базируется на субъективных органолептических показателях, требует значительных временных затрат и имеет недостаточную сопоставимость результатов. Инструментальное определение реологических характеристик с использованием ротационных вискозиметров не получило широкого применения ввиду сложности, отсутствия единых методик измерений и трудностей в воспроизводимости экспериментов.

В условиях ориентированности агропромышленного комплекса на интенсификацию технологических процессов и совершенствование систем контроля состава, качества и безопасности пищевых продуктов необходимо внедрение в российский исследовательский регламент модернизированных инструментальных методов, позволяющих в лабораторных условиях проводить оценку коагуляции по нескольким параметрам с получением стандартизованных и воспроизводимых результатов по обработке молока, выходу и качеству сыра. Приоритетным и наиболее перспективным направлением является не только внедрение в российский исследовательский регламент зарубежных стандартов, но и совершенствование и разработка отечественных инструментальных методов оценки свертываемости белков молока.

Формирование системы биоинформационного прогнозирования комплементарности технологических характеристик молочного сырья невозможно осуществить без современной аналитической базы, способной обеспечить экономическую эффективность, быстроту и надежность исследований, а также интеграцию в международную систему измерений.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в подготовке и написании статьи.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors contributed equally involved in the research and design 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. Modern approaches to storage and effective processing of agricultural products for obtaining high quality food products / A. G. Galstyan [et al.] // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2019. Vol. 89. № 2. P. 211–213. <https://doi.org/10.1134/S1019331619020059>.
2. Elements of DNA-technology forming quality and safe raw materials / Kh. Kh. Gilmanov [et al.] // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. 2020. Vol. 5. № 443. P. 54–62.
3. Genes and eating preferences, their roles in personalized nutrition / A. Vesnina [et al.] // Genes. 2020. Vol. 11. № 4. <https://doi.org/10.3390/genes11040357>.
4. Юрова Е. А., Кобзева Т. В., Фильчакова С. А. Стандартизация методик измерений показателей качества и безопасности молока и продуктов его переработки // Переработка молока. 2019. Т. 241. № 11. С. 6–11.
5. Лисицын А. Б., Чернуха И. М., Никитина М. А. Конструирование многокомпонентных продуктов питания. М.: Московский государственный университет пищевых производств, 2021. 176 с.
6. DNA authentication of brewery products: basic principles and methodological approaches / L. Oganesyants [et al.] // Foods and Raw Materials. 2019. Vol. 7. № 2. P. 364–374. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-364-374>.
7. Разработка способа определения в сухом молоке соотношения относительных долей аллелей гена κ-казеина / Х. Х. Гильманов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50. № 3. С. 525–535. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-525-535>.
8. Technological properties of milk of cows with different genotypes of kappa-casein and beta-lactoglobulin / S. V. Tyulkin [et al.] // Foods and Raw Materials. 2018. Vol. 6. № 1. P. 154–162. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-154-162>.
9. Regarding the biopolymers heat stability formation / A. G. Kruchinin [et al.] // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. 2020. Vol. 4. № 442. P. 77–85.
10. Renhe I. R. T., Zhao Z., Corredig M. A comparison of the heat stability of fresh milk protein concentrates obtained by microfiltration, ultrafiltration and diafiltration // Journal of Dairy Research. 2019. Vol. 86. № 3. P. 347–353. <https://doi.org/10.1017/S0022029919000426>.
11. Влияние полиморфных вариантов гена CSN3 на технологические свойства молока / А. В. Бигаева [и др.] // Молочная промышленность. 2020. № 4. С. 54–55. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-04-54-55>.
12. Estimation of composition, technological properties, and factor of allergenicity of cow's, goat's and camel's milk / A. S. Shuvarikov [et al.] // Bulletin of the National academy of sciences of Republic of Kazakhstan. 2019. Vol. 6. № 382. P. 64–74.
13. Мироненко И. М. Функции ионного кальция и нативных протеаз молока в процессе сычужного свертывания // Сыроделие и маслоделие. 2021. № 1. С. 25–28.
14. Юрова Е. А., Жижин Н. А., Денисов Е. Ю. Особенность применения методов контроля показателей качества и безопасности в молочной продукции // Переработка молока. 2019. Т. 235. № 5. С. 6–9. <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2019-5-6-8>.
15. Technical note: Development and validation of a new method for the quantification of soluble and micellar calcium, magnesium, and potassium in milk / M. Franzoi [et al.] // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101. № 3. P. 1883–1888. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13419>.
16. Phenotypic analysis of milk coagulation properties and mineral content of Pinzgauer cattle breed / C. L. Manuelian [et al.] // Archives Animal Breeding. 2018. Vol. 61. № 2. P. 215–220. <https://doi.org/10.5194/aab-61-215-2018>.
17. Effect of physicochemical factors and use of milk powder on milk rennet-coagulation: Process understanding by near infrared spectroscopy and chemometrics / L. Strani [et al.] // Food Control. 2021. Vol. 119. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107494>.
18. Юрова Е. А., Фильчакова С. А., Козловцева Д. В. Эффективные приемы обеспечения качества молока-сырья // Молочная промышленность. 2019. № 9. С. 44–47.
19. Свириденко Г. М., Захаров М. Б., Оносовская Н. Н. Система контроля показателей микробиологической безопасности молока и молочной продукции // Переработка молока. 2019. Т. 241. № 11. С. 14–19.
20. Влияние микробиологических и технологических факторов на качество творога / В. Ф. Семенихина [и др.] // Контроль качества продукции. 2018. № 5. С. 53–57.

21. Свириденко Г. М., Захарова М. Б. Система контроля микробиологических показателей безопасности и качества молока и молочных продуктов в соответствии с действующими нормативными документами // *Молочная промышленность*. 2020. № 4. С. 22–26. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-04-22-26>.
22. Инихов Г. С., Брио Н. П. Методы анализа молока и молочных продуктов. М.: Пищевая промышленность. 1971. 423 с.
23. Indicators of quality of canned milk: Russian and international priorities / A. N. Petrov [et al.] // *Foods and Raw Materials*. 2017. Vol. 5. № 2. P. 151–161. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-151-161>.
24. Physicochemical properties of whole milk powder derived from cows fed pasture or total mixed ration diets / J. B. Magan [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102. № 11. P. 9611–9621. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16415>.
25. Monitoring of sensory attributes used in the quality payment system of Trentingrana cheese / G. Bittante [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2011. Vol. 94. № 11. P. 5699–5709. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4319>.
26. O’Callaghan D. J., O’Donnell C. P., Payne F. A. A comparison of on-line techniques for determination of curd setting time using cheesemilks under different rates of coagulation // *Journal of Food Engineering*. 1999. Vol. 41. № 1. P. 43–54. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00072-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00072-2).
27. Бобракова Л. А., Мамаев А. В. Исследование реологических параметров при производстве обогащенного зерненого творога // *Вестник Орловского государственного аграрного университета*. 2013. Т. 40. № 1. С. 172–176.
28. Effect of freezing temperatures and time on mineral balance, particle size, rennet and acid coagulation of casein concentrates produced by microfiltration / S. M. Gaber [et al.] // *International Dairy Journal*. 2020. Vol. 101. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104563>.
29. Майоров А. А., Сиденко Ю. А., Мусина О. Н. Новые наукоемкие приемы оценки реологических свойств в сыроделии: изучение процессов свертывания молока и формирования структуры сгустка // *Техника и технология пищевых производств*. 2017. Т. 45. № 2. С. 55–61. <https://doi.org/10.21179/2074-9414-2017-2-55-61>.
30. Measurement of the rennet clotting time of milk by digital image sequences (2D + t) processing / G. Djaowé [et al.] // *Journal of Food Engineering*. 2013. Vol. 114. № 2. P. 235–241. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.07.024>.
31. McMahon D. J., Brown R. J. Evaluation of Formagraph for comparing rennet solutions // *Journal of Dairy Science*. 1982. Vol. 65. № 8. P. 1639–1642. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82390-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82390-4).
32. Milk composition, but not cheese properties, are impaired the day after transhumance to alpine pastures / M. Koczura [et al.] // *International Dairy Journal*. 2019. Vol. 99. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104540>.
33. Variation in caprine milk composition and coagulation as affected by udder health indicators / G. Stocco [et al.] // *International Dairy Journal*. 2019. Vol. 98. P. 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.06.005>.
34. Milk coagulation properties and methods of detection / S. Beux [et al.] // *Ciência Rural*. 2017. Vol. 47. № 10. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20161042>.
35. Protein composition affects variation in coagulation properties of buffalo milk / V. Bonfatti [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2013. Vol. 96. № 7. P. 4182–4190. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6333>.
36. Italian local goat breeds have better milk coagulation properties than cosmopolitan breed / S. Currò [et al.] // *Italian Journal of Animal Science*. 2020. Vol. 19. № 1. P. 593–601. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1772130>.
37. Genetic relationships of lactose and freezing point with minerals and coagulation traits predicted from milk mid-infrared spectra in Holstein cows / A. Costa [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102. № 8. P. 7217–7225. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15378>.
38. Pazzola M. Coagulation traits of sheep and goat milk // *Animals*. 2019. Vol. 9. № 8. <https://doi.org/10.3390/ani9080540>.
39. Goat cheese yield and recovery of fat, protein, and total solids in curd are affected by milk coagulation properties / G. M. Vacca [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103. № 2. P. 1352–1365. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16424>.
40. Genetic analysis of rennet coagulation time, curd-firming rate, and curd firmness assessed over an extended testing period using mechanical and near-infrared instruments / A. Cecchinato [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2013. Vol. 96. № 1. P. 50–62. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5784>.
41. Modelling of buffalo milk coagulation kinetics after addition of enzymes at different concentrations by means of mechanical lactodynamography / Y. Karacheviev [et al.] // *International Journal of Current Research and Academic Review*. 2018. Vol. 6. № 9. P. 1–11.
42. Genetic and non-genetic variation of milk total antioxidant activity predicted from mid-infrared spectra in holstein cows / G. Niero [et al.] // *Animals*. 2020. Vol. 10. № 12. <https://doi.org/10.3390/ani10122372>.
43. Cow and environmental factors associated with protein fractions and free amino acids predicted using mid-infrared spectroscopy in bovine milk / A. McDermott [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100. № 8. P. 6272–6284. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12410>.
44. Processing characteristics of dairy cow milk are moderately heritable / G. Visentin [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100. № 8. P. 6343–6355. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12642>.

45. Effects of somatic cell score on milk yield and mid-infrared predicted composition and technological traits of Brown Swiss, Holstein Friesian, and Simmental cattle breeds / M. Franzoi [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103. № 1. P. 791–804. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16916>.
46. Variation of detailed protein composition of cow milk predicted from a large database of mid-infrared spectra / M. Franzoi [et al.] // *Animals*. 2019. Vol. 9. № 4. <https://doi.org/10.3390/ani9040176>.
47. Prediction of coagulating and noncoagulating milk samples using mid-infrared spectroscopy / M. De Marchi [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2013. Vol. 96. № 7. P. 4707–4715. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6506>.
48. *Short communication*: Prediction of milk coagulation and acidity traits in Mediterranean buffalo milk using Fourier-transform mid-infrared spectroscopy / C. L. Manuelian [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100. № 9. P. 7083–7087. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12707>.
49. Factors associated with milk processing characteristics predicted by mid-infrared spectroscopy in a large database of dairy cows / G. Visentin [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100. № 4. P. 3293–3304. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12028>.
50. Comparison between mechanical and near-infrared methods for assessing coagulation properties of bovine milk / C. Cipolat-Gotet [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2012. Vol. 95. № 11. P. 6806–6819. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5551>.
51. Rennet coagulation of sheep milk processed by ultrafiltration at low concentration factors / I. Catarino [et al.] // *Journal of Food Engineering*. 2013. Vol. 114. № 2. P. 249–254. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.08.013>.
52. Composition, coagulation characteristics, and cheese making capacity of yak milk / J. Zhang [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103. № 2. P. 1276–1288. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17231>.
53. Characterization of *Cynara cardunculus* L. flower from Alentejo as a coagulant agent for cheesemaking / S. Gomes [et al.] // *International Dairy Journal*. 2019. Vol. 91. P. 178–184. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.09.010>.
54. Tribo-rheology and kinetics of soymilk gelation with different types of milk proteins / Z. Pang [et al.] // *Food Chemistry*. 2020. Vol. 311. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125961>.
55. Minor acidification of diafiltration water using various acidification agents affects the composition and rennet coagulation properties of the resulting microfiltration casein concentrate / S. M. Gaber [et al.] // *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103. № 9. P. 7927–7938. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18237>.

References

1. Galstyan AG, Aksonova LM, Lisitsyn AB, Oganesyants LA, Petrov AN. Modern approaches to storage and effective processing of agricultural products for obtaining high quality food products. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2019;89(2):211–213. <https://doi.org/10.1134/S1019331619020059>.
2. Gilmanov KhKh, Tyulkin SV, Vafin RR, Galstyan AG, Ryabova AE, Semipyatny VK, et al. Elements of DNA-technology forming quality and safe raw materials / [et al.] // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2020. Vol. 5. № 443. P. 54–62.
3. Vesnina A, Prosekov A, Kozlova O, Atuchin V. Genes and eating preferences, their roles in personalized nutrition. *Genes*. 2020;11(4). <https://doi.org/10.3390/genes11040357>.
4. Yurova EA, Kobzeva TV, Fil'chakova SA. Standartizatsiya metodik izmereniy pokazateley kachestva i bezopasnosti moloka i produktov ego pererabotki [Standardization of methods for measuring quality and safety indicators of milk and milk processing products]. *Milk Processing*. 2019;241(11):6–11. (In Russ.).
5. Lisitsyn AB, Chernukha IM, Nikitina MA. Konstruirovaniye mnogokomponentnykh produktov pitaniya [Design of multi-component food products]. Moscow: Moscow State University of Food Production; 2021. 176 p. (In Russ.).
6. Oganesyants LA, Vafin RR, Galstyan AG, Ryabova AE, Khurshudyan SA, Semipyatny VK. DNA authentication of brewery products: basic principles and methodological approaches. *Foods and Raw Materials*. 2019;7(2):364–374. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-364-374>.
7. Gilmanov KhKh, Semipyatny VK, Bigaeva AV, Vafin RR, Turovskaya SN. New determination method for the ratio of the relative proportions of κ -casein alleles in milk powder. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(3):525–535. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-525-535>.
8. Tyulkin SV, Vafin RR, Zagidullin LR, Akhmetov TM, Petrov AN, Diel F. Technological properties of milk of cows with different genotypes of kappa-casein and beta-lactoglobulin. *Foods and Raw Materials*. 2018;6(1):154–162. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-154-162>.
9. Kruchinin AG, Vafin RR, Radaeva IA, Illarionova EE, Bigaeva AV, Turovskaya SN, et al. Regarding the biopolymers heat stability formation. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2020;4(442):77–85.
10. Renhe IRT, Zhao Z, Corredig M. A comparison of the heat stability of fresh milk protein concentrates obtained by microfiltration, ultrafiltration and diafiltration. *Journal of Dairy Research*. 2019;86(3):347–353. <https://doi.org/10.1017/S0022029919000426>.

11. Bigaeva AV, Kruchinin AG, Radaeva IA, Gilmanov KhKh, Illarionova EE. Influence of polymorphic CSN3 gene types on technological traits of milk. Dairy Industry. 2020;(4):54–55. (In Russ.). <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-04-54-55>.
12. Shuvarikov AS, Baimukanov DA, Dunin MI, Pastukh ON, Zhukova EV, Yurova EA, et al. Estimation of composition, technological properties, and factor of allergenicity of cow's, goat's and camel's milk. Bulletin of the National academy of sciences of Republic of Kazakhstan. 2019;6(382):64–74.
13. Mironenko IM. Functions of ionic calcium and native milk proteases in the process of rennet clotting. Cheesemaking and Buttermaking. 2021;(1):25–28. (In Russ.).
14. Yurova EA, Zhizhin NA, Denisovich EYu. Osobennost' primeneniya metodov kontrolya pokazateley kachestva i bezopasnosti v molochnoy produktzii [Control methods for quality and safety of dairy products]. Milk Processing. 2019;235(5):6–9. (In Russ.). <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2019-5-6-8>.
15. Franzoi M, Niero G, Penasa M, Cassandro M, De Marchi M. *Technical note*: Development and validation of a new method for the quantification of soluble and micellar calcium, magnesium, and potassium in milk. Journal of Dairy Science. 2018;101(3):1883–1888. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13419>.
16. Manuelian CL, Penasa M, Visentin G, Cassandro M, De Marchi M. Phenotypic analysis of milk coagulation properties and mineral content of Pinzgauer cattle breed. Archives Animal Breeding. 2018;61(2):215–220. <https://doi.org/10.5194/aab-61-215-2018>.
17. Strani L, Grassi S, Alamprese C, Casiraghi E, Ghiglietti R, Locci F, et al. Effect of physicochemical factors and use of milk powder on milk rennet-coagulation: Process understanding by near infrared spectroscopy and chemometrics. Food Control. 2021;119. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107494>.
18. Yurova EA, Fil'chakova SA, Kozlovtsseva DV. Efficient ways to ensure raw milk quality. Dairy Industry. 2019;(9):44–47. (In Russ.).
19. Sviridenko GM, Zakharov MB, Onosovskaya NN. Sistema kontrolya pokazateley mikrobiologicheskoy bezopasnosti moloka i molochnoy produktzii [Monitoring system of indicators of microbiological safety of milk and dairy products]. Milk Processing. 2019;241(11):14–19. (In Russ.).
20. Semenikhina VF, Rozhkova IV, Begunova AV, Raskosnaya TA, Shirshova TI. Influence of microbiological and technological factors on the quality of cottage cheese. Production Quality Control. 2018;(5):53–57. (In Russ.).
21. Sviridenko GM, Zaharova MB. Microbiological safety indicators monitoring system and quality of milk and dairy products in accordance with current regulatory documents. Dairy Industry. 2020;(4):22–26. (In Russ.). <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-04-22-26>.
22. Inikhov GS, Brijo NP. Metody analiza moloka i molochnykh produktov [Methods for the analysis of milk and dairy products]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost'; 1971. 423 p. (In Russ.).
23. Petrov AN, Galstyan AG, Radaeva IA, Turovskaya SN, Illarionova EE, Semipyatniy VK, et al. Indicators of quality of canned milk: Russian and international priorities. Foods and Raw Materials. 2017;5(2):151–161. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-151-161>.
24. Magan JB, Tobin JT, O'Callaghan TF, Kelly AL, Fenelon MA, Hennessy D, et al. Physicochemical properties of whole milk powder derived from cows fed pasture or total mixed ration diets. Journal of Dairy Science. 2019;102(11):9611–9621. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16415>.
25. Bittante G, Cologna N, Cecchinato A, De Marchi M, Penasa M, Tiezzi F, et al. Monitoring of sensory attributes used in the quality payment system of Trentingrana cheese. Journal of Dairy Science. 2011;94(11):5699–5709. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4319>.
26. O'Callaghan DJ, O'Donnell CP, Payne FA. A comparison of on-line techniques for determination of curd setting time using cheesemilks under different rates of coagulation. Journal of Food Engineering. 1999;41(1):43–54. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00072-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00072-2).
27. Bobrakova LA, Mamaev AV. Issledovanie reologicheskikh parametrov pri proizvodstve obogashchennogo zernenogo tvoroga [Rheological parameters in the production of fortified cottage cheese]. Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Oryol State Agrarian University]. 2013;40(1):172–176. (In Russ.).
28. Gaber SM, Johansen A-G, Schuller RB, Devold TG, Rukke E-O, Skeie SB. Effect of freezing temperatures and time on mineral balance, particle size, rennet and acid coagulation of casein concentrates produced by microfiltration. International Dairy Journal. 2020;101. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104563>.
29. Mayorov AA, Sidenko YuA, Musina ON. New high-tech methods of rheological properties evaluation in cheesemaking: Study of milk coagulation and formation of cheese curd structure. Food Processing: Techniques and Technology. 2017;45(2):55–61. (In Russ.). <https://doi.org/10.21179/2074-9414-2017-2-55-61>.
30. Djaowé G, Bitjoka L, Boukar O, Libouga DG, Waldogo B. Measurement of the rennet clotting time of milk by digital image sequences (2D + t) processing. Journal of Food Engineering. 2013;114(2):235–241. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.07.024>.
31. McMahon DJ, Brown RJ. Evaluation of Formagraph for comparing rennet solutions. Journal of Dairy Science. 1982;65(8):1639–1642. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82390-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82390-4).

32. Koczura M, Martin B, Turille G, De Marchi M, Kreuzer M, Berard J. Milk composition, but not cheese properties, are impaired the day after transhumance to alpine pastures. *International Dairy Journal*. 2019;99. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104540>.
33. Stocco G, Pazzola M, Dettori ML, Cipolat-Gotet C, Summer A, Vacca GM. Variation in caprine milk composition and coagulation as affected by udder health indicators. *International Dairy Journal*. 2019;98:9–16. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.06.005>.
34. Beux S, Waszczyński N, Pereira EA, Cassandro M, Nogueira A. Milk coagulation properties and methods of detection. *Ciência Rural*. 2017;47(10). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20161042>.
35. Bonfatti V, Gervaso M, Rostellato R, Coletta A, Carnier P. Protein composition affects variation in coagulation properties of buffalo milk. *Journal of Dairy Science*. 2013;96(7):4182–4190. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6333>.
36. Currò S, Manuelian CL, De Marchi M, Goi A, Claps S, Esposito L, et al. Italian local goat breeds have better milk coagulation properties than cosmopolitan breed. *Italian Journal of Animal Science*. 2020;19(1):593–601. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1772130>.
37. Costa A, Visentin G, De Marchi M, Cassandro M, Penasa M. Genetic relationships of lactose and freezing point with minerals and coagulation traits predicted from milk mid-infrared spectra in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(8):7217–7225. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15378>.
38. Pazzola M. Coagulation traits of sheep and goat milk. *Animals*. 2019;9(8). <https://doi.org/10.3390/ani9080540>.
39. Vacca GM, Stocco G, Dettori ML, Bittante G, Pazzola M. Goat cheese yield and recovery of fat, protein, and total solids in curd are affected by milk coagulation properties. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(2):1352–1365. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16424>.
40. Cecchinato A, Cipolat-Gotet C, Casellas J, Penasa M, Rossoni A, Bittante G. Genetic analysis of rennet coagulation time, curd-firming rate, and curd firmness assessed over an extended testing period using mechanical and near-infrared instruments. *Journal of Dairy Science*. 2013;96(1):50–62. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5784>.
41. Karacheviev Y, Angelova T, Yordanova D, Karabashev V. Modelling of buffalo milk coagulation kinetics after addition of enzymes at different concentrations by means of mechanical lactodynamography. *International Journal of Current Research and Academic Review*. 2018;6(9):1–11.
42. Niero G, Costa A, Franzoi M, Visentin G, Cassandro M, De Marchi M, et al. Genetic and non-genetic variation of milk total antioxidant activity predicted from mid-infrared spectra in holstein cows. *Animals*. 2020;10(12). <https://doi.org/10.3390/ani10122372>.
43. McDermott A, De Marchi M, Berry DP, Visentin G, Fenelon MA, Lopez-Villalobos N, et al. Cow and environmental factors associated with protein fractions and free amino acids predicted using mid-infrared spectroscopy in bovine milk. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(8):6272–6284. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12410>.
44. Visentin G, McParland S, De Marchi M, McDermott A, Fenelon MA, Penasa M. Processing characteristics of dairy cow milk are moderately heritable. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(8):6343–6355. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12642>.
45. Franzoi M, Manuelian CL, Penasa M, De Marchi M. Effects of somatic cell score on milk yield and mid-infrared predicted composition and technological traits of Brown Swiss, Holstein Friesian, and Simmental cattle breeds. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(1):791–804. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16916>.
46. Franzoi M, Niero G, Visentin G, Penasa M, Cassandro M, de Marchi M. Variation of detailed protein composition of cow milk predicted from a large database of mid-infrared spectra. *Animals*. 2019;9(4). <https://doi.org/10.3390/ani9040176>.
47. De Marchi M, Toffanin V, Cassandro M, Penasa M. Prediction of coagulating and noncoagulating milk samples using mid-infrared spectroscopy. *Journal of Dairy Science*. 2013;96(7):4707–4715. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6506>.
48. Manuelian CL, Visentin G, Boselli C, Giangolini G, Cassandro M, De Marchi M. *Short communication*: Prediction of milk coagulation and acidity traits in Mediterranean buffalo milk using Fourier-transform mid-infrared spectroscopy. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(9):7083–7087. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12707>.
49. Visentin G, De Marchi M, Berry DP, McDermott A, Fenelon MA, Penasa M, et al. Factors associated with milk processing characteristics predicted by mid-infrared spectroscopy in a large database of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(4):3293–3304. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12028>.
50. Cipolat-Gotet C, Cecchinato A, De Marchi M, Penasa M, Bittante G. Comparison between mechanical and near-infrared methods for assessing coagulation properties of bovine milk. *Journal of Dairy Science*. 2012;95(11):6806–6819. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5551>.
51. Catarino I, Martins APL, Duarte E, Prudencio ES, De Pinho MN. Rennet coagulation of sheep milk processed by ultrafiltration at low concentration factors. *Journal of Food Engineering*. 2013;114(2):249–254. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.08.013>.
52. Zhang J, Yang M, Cai D, Hao Y, Zhao X, Zhu Y, et al. Composition, coagulation characteristics, and cheese making capacity of yak milk. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(2):1276–1288. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17231>.
53. Gomes S, Belo AT, Alvarenga N, Dias J, Lage P, inheiro C, et al. Characterization of *Cynara cardunculus* L. flower from Alentejo as a coagulant agent for cheesemaking. *International Dairy Journal*. 2019;91:178–184. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.09.010>.

54. Pang Z, Xu R, Zhu Y, Bansal N, Liu X. Tribo-rheology and kinetics of soymilk gelation with different types of milk proteins. Food Chemistry. 2020;311. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125961>.

55. Gaber SM, Johansen A-G, Devold TG, Rukke E-O, Skeie SB. Minor acidification of diafiltration water using various acidification agents affects the composition and rennet coagulation properties of the resulting microfiltration casein concentrate. Journal of Dairy Science. 2020;103(9):7927–7938. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18237>.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-520-528>
УДК 57.082.261:634.7

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Влияние освещения на ризогенез ягодных растений при клональном микроразмножении

С. С. Макаров^{1,*}, С. А. Родин¹, И. Б. Кузнецова²,
А. И. Чудецкий¹, С. Ю. Цареградская¹



¹ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства
и механизации лесного хозяйства , Пушкино, Россия

² Костромская государственная сельскохозяйственная академия , Караваново, Россия

Поступила в редакцию: 28.04.2021

Принята после рецензирования: 20.05.2021

Принята в печать: 15.07.2021



*e-mail: makarov_serg44@mail.ru

© С. С. Макаров, С. А. Родин, И. Б. Кузнецова, А. И. Чудецкий, С. Ю. Цареградская, 2021

Аннотация.

Введение. Спрос на продукцию лесных ягодных растений с высокой пищевой и лекарственной ценностью, которые активно используются в пищевой промышленности и медицине, возрастает. Клональное микроразмножение является наиболее эффективным методом для получения большого количества высококачественного посадочного материала. Использование светодиодов для освещения растений при клональном микроразмножении является наиболее актуальным. Цель – изучить влияние освещения различного спектрального диапазона на процесс корнеобразования лесных ягодных растений в культуре *in vitro*.

Объекты и методы исследования. Растения-регенеранты различных сортов и перспективных форм голубики полувысокорослой, княженики арктической, клюквы крупноплодной, клюквы болотной, брусники обыкновенной и красники. На этапе «укоренение *in vitro*» изучалось влияние типа освещения на рост и развитие корневой системы лесных ягодных растений *in vitro* при использовании белых люминесцентных ламп, светодиодных ламп белого спектра и светодиодных ламп с комбинацией белого, красного и синего спектров.

Результаты и их обсуждение. Наибольшее количество (3,4–14,6 шт.) и максимальная суммарная длина (10,0–156,9 см) корней растений голубики, княженики, клюквы, брусники и красники на этапе укоренения *in vitro* отмечены при освещении надземной части растений светодиодными лампами с комбинацией белого, красного и синего спектров. Это в 1,1–2,8 и 2,0–4,5 раза больше, чем при освещении светодиодными лампами белого спектра; в 2,3–7,0 и 3,3–14,9 раза больше, чем при освещении люминесцентными лампами. Существенных различий между биометрическими показателями, в зависимости от сорта или формы, не отмечено.

Выводы. Использование светодиодных ламп положительно воздействует на процесс ризогенеза лесных ягодных растений при клональном микроразмножении в сравнении с люминесцентными лампами, а применение комбинации белого, синего и красного спектров способствует значительному увеличению биометрических показателей растений на этапе укоренения *in vitro*.

Ключевые слова. Клональное микроразмножение, *in vitro*, корнеобразование, голубика, княженика, клюква, брусника, красника, светодиодные лампы, спектр

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания «Проведение прикладных научных исследований» Федерального агентства лесного хозяйства Российской Федерации (Приказ Рослесхоза от 25.12.2018 №1061).

Для цитирования: Влияние освещения на ризогенез ягодных растений при клональном микроразмножении / С. С. Макаров [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 520–528. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-520-528>.

Original article

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

Effect of Light on Rhizogenesis of Forest Berry Plants during Clonal Micropropagation

Sergey S. Makarov^{1,*}, Sergey A. Rodin¹, Irina B. Kuznetsova²,
Anton I. Chudetsky¹, Svetlana Yu. Tsaregradskaya¹

¹ All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry^{ROR}, Pushkino, Russia

² Kostroma State Agricultural Academy^{ROR}, Karavaevo, Russia

Received: April 28, 2021

Accepted in revised form: May 20, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021



*e-mail: makarov_serg44@mail.ru

© S.S. Makarov, S.A. Rodin, I.B. Kuznetsova, A.I. Chudetsky, S.Yu. Tsaregradskaya, 2021

Abstract.

Introduction. Forest berry plants are popular on the food market and in pharmacy for their high nutritional and medicinal value. Plantations of forest berry plants can proliferate on unused lands, including depleted peatlands. Clonal micropropagation is the most effective method for obtaining large quantities of high quality planting material. Light-emitting diodes are highly effective for clonal micropropagation. The research objective was to study the effect of different spectral ranges on the process of root formation of forest berry plants *in vitro*.

Study objects and methods. The research featured regenerant plants of half-highbush blueberry, arctic bramble, American cranberry, European cranberry, lingonberry, and Kamchatka bilberry of different cultivars. A set of experiments made it possible to study the effect of lighting type on the growth and development of the root system of forest berry plants *in vitro* using white fluorescent lamps, white spectrum LED lamps, and LED lamps with a combination of white, red, and blue spectra at the *in vitro* rooting stage of clonal micropropagation.

Results and its discussion. The largest number (3.4–14.6 pcs.) and the maximum total length (10.0–156.9 cm) of roots were observed under LED lamps with a combination of white, red, and blue spectra. The effect was by 1.1–2.8 and 2.0–4.5 times higher than in the case of white-spectrum LED lamps, and by 2.3–7.0 and 3.3–14.9 times than in the case of fluorescent lamps. Variety and shape proved to have no significant effect on biometric indicators.

Conclusion. LED lamps had a positive effect on the process of rhizogenesis of forest berry plants during clonal micropropagation. They appeared to be more effective than fluorescent lamps. The combination of white, blue, and red spectra increased the biometric parameters of plants at the stage of *in vitro* rooting.

Keywords. Clonal micropropagation, *in vitro*, root formation blueberry, arctic bramble, cranberry, lingonberry, Kamchatka bilberry, LED lamps, range

Funding. The research was part of the State Task for Applied Scientific Research, Order of the Federal Forestry Agency of the Russian Federation No. 1061 (December 25, 2018).

For citation: Makarov SS, Rodin SA, Kuznetsova IB, Chudetsky AI, Tsaregradskaya SYu. Effect of Light on Rhizogenesis of Forest Berry Plants during Clonal Micropropagation. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):520–528. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-520-528>.

Введение

В настоящее время во всем мире возрастает спрос на продукцию лесных ягодных растений, обладающих высокой пищевой и лекарственной ценностью, таких как клюква, голубика, брусника, черника, княженика, морошка, красника и др. Ягоды активно используются в пищевой промышленности и могут употребляться как в свежем, так и в переработанном виде (соки, компоты, морсы, сиропы, чай, варенья, джемы, добавки к мучным, кондитерским, консервированным изделиям и т. д.). Плоды и листья большинства лесных ягодных растений содержат целый ряд витаминов (А, В₁, В₂, В₅, В₆, С, РР, К₁), а также микро- и микроэлементы, сахара, антоцианы, лейкоантоцианы, катехины, пектины, дубильные вещества, органические кислоты и другие соединения.

Голубика особенно богата веществами Р-витаминного действия, участвующими в окислительно-восстановительных процессах, регулирующими работу желез внутренней секреции, обладающими противовоспалительным и противоопухолевым

действием. В ягодах княженики содержится большое количество эллагитанина, препятствующего развитию вредных кишечных бактерий. Экстракты плодов клюквы оказывают антисептическое, гипотензивное и противогрибковое действие и обеспечивают проявление гемостатического эффекта, повышают уровень гемоглобина, поддерживают работу сердечно-сосудистой системы. Брусника содержит арбутин, урсоловую кислоту и широкий спектр других биологически активных веществ, повышающих ее лекарственную ценность. В плодах красники обнаружены вещества, обладающие гепатопротекторным действием.

Обладая антиоксидантным, антибактериальным действием и другими лечебными свойствами, данные ягодные растения могут широко применяться в медицине при лечении множества заболеваний (атеросклероз, авитаминоз, гипертония, ревматизм, почечнокаменная болезнь, анемия, острые респираторные и простудные заболевания, бронхиальная астма, стоматиты, различные

заболевания печени, желудка, мочеполовой системы, кожные болезни и др.). Кроме того, экстракты данных растений применяют в косметологии, народной медицине, а декоративные посадки некоторых ягодных культур успешно используются в ландшафтном дизайне [1–12].

В связи с усилением антропогенного влияния естественные запасы данных видов, особенно имеющих ограниченный ареал произрастания (а в некоторых районах являющихся редкими и исчезающими), резко снижаются. Особое значение приобретает выращивание посадочного материала хозяйственно ценных лесных ягодных растений для культивирования их в промышленных масштабах. Создание плантаций востребованных видов ягодников позволит не только существенно восполнить их ресурсы, увеличить биологическое разнообразие природной среды и удовлетворить спрос потребителей, но также предотвратить разрушение экосистем при рекультивации данными посадками неиспользуемых, вышедших из промышленного оборота земель. В том числе выработанных торфяных месторождений, которые имеют наиболее подходящие условия для произрастания многих таежных и болотных видов [13].

Для получения большого количества высококачественного посадочного материала ягодных растений наиболее целесообразным является использование современных биотехнологических методов размножения с помощью культуры клеток и тканей. Например, клональное микроразмножение. Данный метод позволяет в короткие сроки и круглогодично получать значительное количество оздоровленных растений (включая виды, плохо размножаемые с помощью традиционных способов), а также является менее трудозатратным и экономически эффективным [14].

Выращиванием перспективных сортов и форм хозяйственно ценных лесных ягодных растений (голубика узколистная (*Vaccinium angustifolium* Ait.), голубика полувисокорослая (*Vaccinium corymbosum* L. × *Vaccinium angustifolium* Ait.), княженика арктическая (*Rubus arcticus* L.), клюква крупноплодная (*Oxycoccus macrocarpus* Pers.), клюква болотная (*Oxycoccus palustris* Pers.), брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), красника (*Vaccinium praestans* Lamb.), жимолость съедобная (*Lonicera edulis* Turcz.), морошка приземистая (*Rubus chamaemorus* L.) и др.) в культуре *in vitro* с 2015 г. занимаются в филиале ФБУ ВНИИЛМ «Центрально-европейская лесная опытная станция» [15–18].

Свет является важнейшим условием для жизнедеятельности растений, дающим энергию для процесса фотосинтеза. При подборе оптимальных источников освещения для растений как в научных исследованиях, так и при

работе на сельскохозяйственных предприятиях предпочтительнее становится использование белых светодиодов с излучением, содержащим компоненты всех основных полос в диапазоне фотосинтетически активной радиации (ФАР). При этом спектральный состав по-разному оказывает влияние на рост и развитие растений, а различные участки спектрального диапазона имеют разное воздействие на регуляцию морфогенетических и физиологических процессов в растениях. Кроме того, применение белых светодиодов не ограничивается только белым спектром. Их можно использовать в комбинациях с узкополосными красными и синими светодиодами [19–21]. В связи с тем, что на сегодняшний день не так много исследований, посвященных изучению влияния типа освещения на органогенез лесных ягодных растений в культуре *in vitro*, эксперименты в данном направлении представляют как теоретическую, так и практическую ценность.

Цель исследования – изучение влияния типа освещения на процесс ризогенеза лесных ягодных растений при клональном микроразмножении.

Объекты и методы исследования

Исследования по выращиванию лесных ягодных растений в культуре *in vitro* проводили в лаборатории клонального микроразмножения растений на базе филиала ФБУ ВНИИЛМ «Центрально-европейская лесная опытная станция» в 2016–2020 гг.

В качестве объектов исследования использовали растения голубики полувисокорослой (сорт «Нортблю» и гибридная форма 23-1-11), княженики арктической (сорт «Анна» и гибридная форма К-1), клюквы крупноплодной (сорт «Бен Лир» и гибридная форма 1-23-3), клюквы болотной (сорт «Дар Костромы» и гибридная форма 1-15-635), брусники обыкновенной (сорта «Рубин» и «Костромская розовая»), красники (Курильская и Сахалинская формы).

Растения голубики, клюквы и красники культивировали на питательной среде WPM (Wood Plant Medium), княженики – на питательной среде MS (Мурасиге-Скуга), брусники – на питательной среде Андерсона в условиях световой комнаты при температуре от +23 до +25 °С, влажности 75–80 % и фотопериоде 16/8 ч. На этапе «собственно микроразмножение» применяли регуляторы роста цитокининовой группы: при выращивании голубики, клюквы, брусники и красники – 2-изопенталаденин (2ip) в концентрациях 1,0–5,0 мл/л; при выращивании княженики – 6-бензиламинопурил (6-БАП) в концентрации 0,5 мл/л. На этапе укоренения *in vitro* использовали регуляторы роста ауксиновой группы. При выращивании голубики, клюквы, брусники и красники – индолилуксусная кислота (ИУК) в концентрации 0,5–1,0 мл/л; при выращивании княженики – индолилмасляная кислота (ИМК) в концентрации 0,5 мл/л.



Рисунок 1. Освещение регенерантов лесных ягодных растений светодиодными лампами:
а – белого спектра; б – с комбинацией белого, красного и синего спектров

Figure 1. Forest berry plant regenerants under LED lamps: a – white spectrum; b – combination of white, red, and blue spectra

При изучении влияния света на рост и развитие размножаемых растений использовали лампы различного спектрального состава: 1) ЛБ – люминесцентные лампы белого цвета ($\lambda = 600$ нм); 2) СД-Б – светодиодные лампы белого спектра ($\lambda = 653$ нм); 3) СД-Б+К+С – светодиодные лампы с комбинацией белого ($\lambda = 653$ нм), красного ($\lambda = 670$ нм) и синего ($\lambda = 455$ нм) спектров (рис. 1). Пробирки с растениями-регенерантами размещали в штативах из пенопласта, закрывающих от света корневую систему, и подвергали постоянному освещению. Учитывали количество, среднюю и суммарную длину корней в расчете на одно растение. Опыты проводили в 10-кратной биологической и 2-кратной аналитической повторностях.

Статистическую обработку данных проводили при помощи программного обеспечения Microsoft Office 2016 и AGROS v.2.11. Применяли дисперсионный двухфакторный анализ, где фактор А – сорт или форма, фактор В – тип освещения. Достоверность различий между средними данными вариантов опыта оценивали с помощью наименьшей существенной разности для 5 %-го уровня значимости ($НСП_{05}$).

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных экспериментальных исследований выявлено, что при клональном

микроразмножении на этапе укоренения *in vitro* наибольшее количество корней (в среднем 9,9 шт.) голубики полувывсокорослой формировалось при освещении надземной части лампами СД-Б+К+С. Оно было в 2,8 раза больше, чем при освещении лампами СД-Б, и в 4,5 раза больше, чем при освещении ЛБ (табл. 1).

Наибольшая суммарная длина (в среднем 114,8 см) корней голубики была отмечена также при освещении надземной части лампами СД-Б+К+С и была в 7 раз больше, чем при освещении СД-Б, и в 14,9 раза больше, чем при освещении лампами ЛБ (табл. 2). Существенных различий биометрических показателей по сортам не выявлено.

Наибольшее количество корней (в среднем 13,4 шт.) растений-регенерантов княженики арктической было отмечено при использовании ламп СД-Б+К+С. Оно было в 2,2 раза больше, чем в варианте освещения лампами СД-Б, и в 4,5 раза больше, чем при освещении ЛБ (табл. 3). Количество корней, в зависимости от сорта, не имело значительных различий.

Суммарная длина корней растений княженики также была максимальной (в среднем 163,8 см) при использовании ламп СД-Б+К+С, что в 3,3 и 10,1 раза больше, чем при освещении лампами СД-Б и ЛБ соответственно (табл. 4).

Таблица 1. Количество корней голубики полувывсокорослой в зависимости от сорта и условий освещения надземной части

Table 1. Number of roots of *Vaccinium corymbosum* L. × *Vaccinium angustifolium* Ait., depending on variety and light

Сорт	Освещение			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
«Нортблю», шт	2,1	3,4	9,7	5,1
Гибридная форма 23-1-11, шт	2,2	3,7	10,0	5,3
Среднее, шт	2,2	3,6	9,9	–
НСР ₀₅ фактор А = 1,20, фактор В = 1,03, общ. = 2,02				

Таблица 2. Суммарная длина корней голубики полувывсокорослой в зависимости от сорта и условий освещения надземной части

Table 2. Total length of roots of *Vaccinium corymbosum* L. × *Vaccinium angustifolium* Ait., depending on variety and light

Сорт	Освещение			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
«Нортблю», см	8,1	16,3	115,5	46,6
Гибридная форма 23-1-11, см	7,3	16,4	114,1	45,9
Среднее, см	7,7	16,4	114,8	–
НСР ₀₅ фактор А = 3,85, фактор В = 4,10, общ. = 3,91				

Таблица 3. Количество корней княженики арктической в зависимости от сорта и типа освещения надземной части

Table 3. Number of roots of *Rubus arcticus* L., depending on variety and light

Сорт	Освещение			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
«Анна», шт	2,8	6,5	12,7	7,3
Гибридная форма К-1, шт	3,2	5,7	14,0	7,6
Среднее, шт	3,0	6,1	13,4	–
НСР ₀₅ фактор А = 1,40, фактор В = 1,13, общ. = 2,10				

Таблица 4. Суммарная длина корней княженики арктической в зависимости от сорта и типа освещения надземной части

Table 4. Total length of the roots of *Rubus arcticus* L., depending on variety and light

Сорт	Освещение			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
«Анна», см	13,6	52,6	139,7	68,6
Гибридная форма К-1, см	17,1	48,2	187,9	84,4
Среднее, см	15,4	50,4	163,8	–
НСР ₀₅ фактор А = 3,95, фактор В = 4,30, общ. = 6,81				

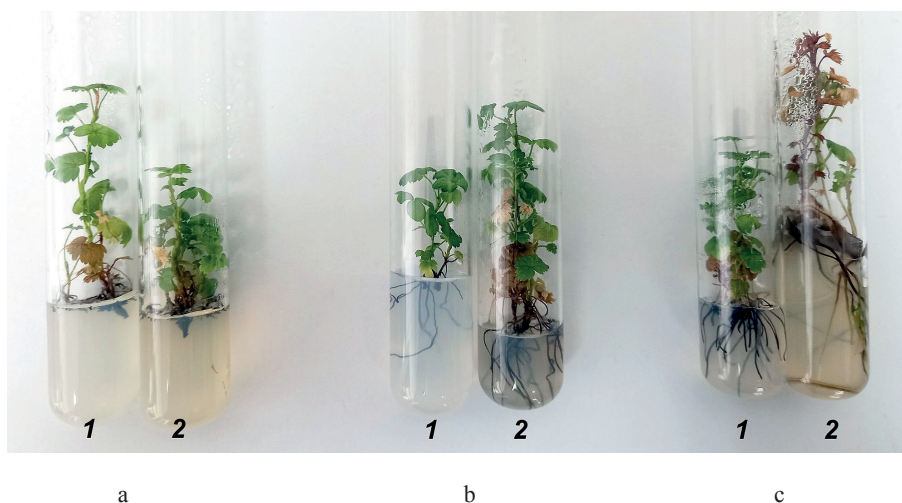


Рисунок 2. Корнеобразование *in vitro* растений княженики арктической сорта «Анна» (1) и гибридной формы К-1 (2) при освещении лампами: а – ЛБ; б – СД-Б; в – СД-Б+К+С

Figure 2. Root formation in vitro of *Rubus arcticus* L. cultivar Anna (1) and hybrid K-1 (2) under a – white fluorescent lamps; b – white spectrum LED lamps; c – LED lamps with a combination of white, red, and blue spectra

При этом суммарная длина корней у растений гибридной формы К-1 имела в 1,2 раза больше значение, чем у сорта «Анна» (рис. 2).

При укоренении растений-регенерантов клюквы крупноплодной и клюквы болотной формирование

наибольшего количества корней (в среднем 13,9–14,6 шт.) наблюдалось при освещении лампами СД-Б+К+С. Это в 2,1–2,3 больше, чем при освещении СД-Б, и в 2,4–2,6 раза больше, чем при освещении ЛБ (табл. 5). Различия по количеству корней, в

Таблица 5. Количество корней клюквы в зависимости от сорта и спектрального диапазона освещения надземной части

Table 5. Number of roots of *Oxycoccus*, depending on variety and spectrum

Сорт	Освещение			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
Клюква крупноплодная				
«Бен Лир», шт	6,0	7,1	13,1	8,7
Гибридная форма 1-23-3, шт	6,3	6,9	16,0	9,7
Среднее, шт	6,2	7,0	14,6	–
НСР ₀₅ фактор А = 1,91, фактор В = 1,72, общ. = 2,53				
Клюква болотная				
«Дар Костромы», шт	5,9	6,5	12,3	8,2
Гибридная форма 1-15-635, шт	4,8	5,7	15,4	8,6
Среднее, шт	5,4	6,1	13,9	–
НСР ₀₅ фактор А = 1,49, фактор В = 1,31, общ. = 2,21				

Таблица 6. Суммарная длина корней клюквы в зависимости от сорта и спектрального диапазона освещения надземной части

Table 6. Total length of roots of *Oxycoccus*, depending on variety and spectrum

Сорт	Освещение			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
Клюква крупноплодная				
«Бен Лир», см	39,9	50,8	122,1	70,9
Гибридная форма 1-23-3, см	40,3	52,3	145,0	79,2
Среднее, см	40,1	51,6	133,6	—
НСР ₀₅ фактор А = 4,73, фактор В = 5,11, общ. = 3,62				
Клюква болотная				
«Дар Костромы», см	46,6	55,2	141,2	81,0
Гибридная форма 1-15-635, см	36,5	46,7	172,6	85,3
Среднее, см	41,6	51,0	156,9	—
НСР ₀₅ фактор А = 4,89, фактор В = 5,42, общ. = 3,91				

Таблица 7. Количество корней брусники обыкновенной в зависимости от сорта и типа освещения надземной части

Table 7. Number of roots of *Vaccinium vitis-idaea* L., depending on variety and light

Сорт	Освещение			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
«Костромская розовая», шт	1,8	2,5	4,5	2,9
«Рубин», шт	1,3	2,3	3,2	2,3
Среднее, шт	1,6	2,4	3,9	–
НСР ₀₅ фактор А = 1,67 фактор, В = 1,44, общ. = 2,33				

Таблица 8. Суммарная длина корней брусники обыкновенной в зависимости от сорта и типа освещения надземной части

Table 8. Total length of roots of *Vaccinium vitis-idaea* L., depending on variety and light

Сорт	Освещение			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
«Костромская розовая», см	2,6	4,6	18,5	8,6
«Рубин», см	1,0	4,2	12,5	5,9
Среднее, см	1,8	4,4	15,5	–
НСР ₀₅ фактор А = 1,97, фактор В = 1,65, общ. = 2,41				

зависимости от сорта, у обоих видов клюквы были незначительны.

Максимальная суммарная длина корней клюквы крупноплодной и клюквы болотной (в среднем 133,6–156,9 см) отмечена при освещении надземной части лампами СД-Б+К+С и была в 2,6–3,1 раза больше, чем в варианте освещения СД-Б, и в 3,3–3,8 раза больше, чем при освещении лампами ЛБ (табл. 6). При этом при освещении лампами СД-Б+К+С суммарная длина корней клюквы крупноплодной и клюквы болотной гибридных форм была в 1,2–1,3 раза больше, чем у растений сортов «Бен Лир» и «Дар Костромы» соответственно.

При укоренении растений-регенерантов брусники обыкновенной освещение надземной части лампами СД-Б+К+С способствовало формированию наибольшего количества корней (в среднем 3,9 шт.), что в 1,6 и 2,4 раза больше, чем при освещении лампами СД-Б и ЛБ соответственно (табл. 7). В зависимости от сорта существенных различий по количеству корней не отмечено.

Суммарная длина корней брусники была максимальной (в среднем 15,5 см) при освещении надземной части лампами СД-Б+К+С и была 3,5 и 8,6 раза больше, чем при использовании освещения СД-Б и ЛБ соответственно (табл. 8). При этом у растений сорта «Костромская розовая» суммарная длина корней в 1,5 раза превышала показатель сорта «Рубин».

Наибольшее количество корней у растений красники (в среднем 3,4 шт.) наблюдалось при освещении наземной части лампами СД-Б+К+С и было в 1,1 и 2,0 раза больше, чем в вариантах освещения лампами СД-Б и ЛБ соответственно (табл. 9).

Суммарная длина корней красники была также максимальной (в среднем 10,0 см) при освещении надземной части растений лампами СД-Б+К+С, что в 2,3 раза больше, чем при освещении лампами СД-Б, и в 4,6 раза больше, чем при освещении ЛБ (табл. 10).

Существенных различий биометрических показателей растений красники по количеству и

Таблица 9. Количество корней красники в зависимости от формы и типа освещения надземной части

Table 9. Number of roots of *Vaccinium praestans* Lamb., depending on shape and light

Форма	Вариант освещения			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
Сахалинская, шт	1,5	2,7	3,2	2,5
Курильская, шт	1,8	3,3	3,5	2,7
Среднее, шт	1,7	3,0	3,4	–
НСР ₀₅ фактор А = 0,87, фактор В = 0,64, общ. = 1,03				

суммарной длине корней, в зависимости от формы, не выявлено.

Выводы

По результатам проведенных экспериментальных исследований установлено, что при клональном микроразмножении лесных ягодных растений (голубика полувысокорослая, княженика арктическая, клюква крупноплодная, клюква болотная, брусника обыкновенная, красника) перспективных сортов и форм наибольшее количество корней (3,4–14,6 шт.) максимальной длины (10,0–156,9 см) формировалось при освещении надземной части растений-регенерантов светодиодными лампами с комбинацией белого, красного и синего спектров. При этом в большинстве вариантов не наблюдалось существенных различий по биометрическим показателям в зависимости от сорта или формы. Однако суммарная длина корней растений княженики арктической, клюквы крупноплодной и клюквы болотной гибридных форм имела показатели в 1,2–1,3 больше, чем у растений сравниваемых сортов.

Таким образом, при клональном микроразмножении целесообразно применение светодиодных ламп. Это способствует лучшему протеканию процесса ризогенеза лесных ягодных растений по сравнению с освещением люминесцентными лампами. При использовании комбинации белого, синего и красного спектров на этапе укоренения растений в культуре *in vitro* биометрические показатели значительно увеличиваются.

Критерии авторства

С. С. Макаров руководил проектом, проводил закладку лабораторного опыта на всех этапах клонального микроразмножения, проводил анализ литературных источников по вопросу использования биотехнологических способов размножения лесных ягодных растений. С. А. Родин и С. Ю. Цареградская

Таблица 10. Суммарная длина корней красники в зависимости от формы и типа освещения надземной части

Table 10. Total length of roots of *Vaccinium praestans* Lamb., depending on shape and light

Форма	Вариант освещения			Среднее
	ЛБ	СД-Б	СД-Б+К+С	
Сахалинская, см	1,8	4,1	9,3	5,1
Курильская, см	2,5	4,6	10,8	6,0
Среднее, см	2,2	4,4	10,0	–
НСР ₀₅ фактор А = 1,75, фактор В = 1,35, общ. = 2,31				

проводили анализ литературных источников по вопросу актуальности использования и хозяйственной ценности лесных ягодных растений. И. Б. Кузнецова проводила закладку лабораторного опыта на этапе укоренения растений *in vitro*, проводила статистическую обработку данных. А. И. Чудецкий проводил статистическую обработку данных.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Выражаем благодарность канд. биол. наук Г. В. Тяк, канд. биол. наук Г. Ю. Макеевой, канд. с.-х. наук И. А. Кореневу, канд. биол. наук Л. Е. Курлович, А. В. Тяку, В. А. Макееву.

Contribution

S.S. Makarov supervised the project, conducted the initial stage of laboratory experiments, and reviewed the literature on biotechnological methods of propagation of forest berry plants. S.A. Rodin and S.Yu. Tsaregradskaya reviewed publications on the relevance and economic value of forest berry plants. I.B. Kuznetsova performed laboratory experiments at the stage of plant rooting and processed statistical data. A.I. Chudetsky was responsible for statistical data processing.

Conflict of interest

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

Acknowledgments

The authors express our gratitude to G.V. Tyak, Cand.Sci.(Biol.), G.Yu. Makeeva, Cand.Sci.(Biol.), I.A. Korenev, Cand.Sci.(Agri.), L.E. Kurlovich, Cand.Sci.(Biol.), A.V. Tyak, Cand.Sci.(Biol.), and V.A. Makeev, Cand.Sci.(Biol.).

Список литературы

1. Тяк Г. В. Выращиваем княженику // Питомник и частный сад. 2016. № 1. С. 18–22.
2. Drózd P., Šežienė V., Pyrzynska K. Phytochemical properties and antioxidant activities of extracts from wild blueberries and lingonberries // Plant Foods for Human Nutrition. 2017. Vol. 72. № 4. P. 360–364. <https://doi.org/10.1007/s11130-017-0640-3>.
3. Cranberry reduces the risk of urinary tract infection recurrence in otherwise healthy women: A systematic review and meta-analysis / Z. Fu [et al.] // Journal of Nutrition. 2017. Vol. 147. № 12. P. 2282–2288. <https://doi.org/10.3945/jn.117.254961>.
4. Polyphenols, anthocyanins, and flavonoids contents and the antioxidant capacity of various cultivars of highbush and half-high blueberries / D. Li [et al.] // Journal of Food Composition and Analysis. 2017. Vol. 62. P. 84–93. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.03.006>.
5. 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 [et al.] // Fitoterapia. 2017. Vol. 122. P. 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2017.08.014>.
6. Ragnar M. Åkerbär. Black Island Books, 2017. 176 p.
7. *Vaccinium vitis-idaea* L., origin from Bulgaria indicate in vitro antitumor effect on human cervical and breast cancer cells / S. G. Angelova [et al.] // American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences. 2019. Vol. 56. № 1. P. 104–112.
8. Debnath S. C., An D. Antioxidant properties and structured biodiversity in a diverse set of wild cranberry clones // Heliyon. 2019. Vol. 5. № 4. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01493>.
9. Philip N., Walsh L. J. Cranberry polyphenols: Natural weapons against dental caries // Dentistry Journal. 2019. Vol. 7. № 1. <https://doi.org/10.3390/dj7010020>.
10. Effects of blueberry and cranberry consumption on type 2 diabetes glycemic control: A systematic review / D. M. U. P. Rocha [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2019. Vol. 59. № 11. P. 1816–1828. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1430019>.
11. Coleman C. M., Ferreira D. Oligosaccharides and complex carbohydrates: A new paradigm for cranberry bioactivity // Molecules. 2020. Vol. 25. № 4. <https://doi.org/10.3390/molecules25040881>.
12. Recent research on the health benefits of blueberries and their anthocyanins / W. Kalt [et al.] // Advances in Nutrition. 2020. Vol. 11. № 2. P. 224–236. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz065>.
13. Тяк Г. В., Курлович Л. Е., Тяк А. В. Биологическая рекультивация выработанных торфяников путем создания посадок лесных ягодных растений // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. Т. 11. № 2. С. 43–46. <https://doi.org/10.12737/20633>.
14. Мацнева О. В., Ташматова Л. В. Клональное микроразмножение земляники – перспективный метод современного питомниководства (обзор) // Современное садоводство. 2019. № 4. С. 113–119. <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2019-10411>.
15. Макаров С. С., Кузнецова И. Б., Смирнов В. С. Совершенствование технологии клонального микроразмножения княженики арктической (*Rubus arcticus* L.) // Лесохозяйственная информация. 2018. № 4. С. 91–97. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2018.4.09>.
16. Коренев И. А., Тяк Г. В., Макаров С. С. Создание новых сортов лесных ягодных растений и перспективы их интенсивного размножения (*in vitro*) // Лесохозяйственная информация. 2019. № 3. С. 180–189. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.3.15>.
17. Особенности клонального микроразмножения клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.) / С. С. Макаров [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>.
18. Obtaining high-quality planting material of forest berry plants by clonal micropropagation for restoration of cutover peatlands / S. S. Makarov [et al.] // Lesnoy zhurnal. 2021. Т. 380. № 2. P. 21–29.
19. Тихомиров А. А., Ушакова С. А. Научные и технологические основы формирования фототрофного звена биолого-технических систем жизнеобеспечения. Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, 2016. 200 с.
20. LED light for in vitro and ex vitro efficient growth of economically important highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) / C. D. Hung [et al.] // Acta Physiologiae Plantarum. 2016. Vol. 38. № 6. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2164-0>.
21. Application of light-emitting diodes for improving the nutritional quality and bioactive compound levels of some crops and medicinal plants / W.-S. Jung [et al.] // Molecules. 2021. Vol. 26. № 5. <https://doi.org/10.3390/molecules26051477>.

References

1. Tyak GV. Vyrashchivaem knyazheniku [Arctic bramble and how to grow it]. Pitomnik i chastnyy sad [Nursery and Garden]. 2016;(1):18–22. (In Russ.).
2. Drózd P, Šežienė V, Pyrzynska K. Phytochemical properties and antioxidant activities of extracts from wild blueberries and lingonberries. Plant Foods for Human Nutrition. 2017;72(4):360–364. <https://doi.org/10.1007/s11130-017-0640-3>.
3. Fu Z, Liska D, Talan D, Chung M. Cranberry reduces the risk of urinary tract infection recurrence in otherwise healthy women: A systematic review and meta-analysis. Journal of Nutrition. 2017;147(12):2282–2288. <https://doi.org/10.3945/jn.117.254961>.
4. Li D, Li B, Ma Y, Sun X, Lin Y, Meng X. Polyphenols, anthocyanins, and flavonoids contents and the antioxidant capacity of various cultivars of highbush and half-high blueberries. Journal of Food Composition and Analysis. 2017;62:84–93. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.03.006>.
5. 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>.
6. Ragnar M. Åkerbär. Black Island Books; 2017. 176 p.
7. Angelova SG, Ivanova SKr, Trifonova I, Voleva S, Georgieva I, Stoyanova A, et al. Vaccinium vitis-idaea L., origin from Bulgaria indicate in vitro antitumor effect on human cervical and breast cancer cells. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences. 2019;56(1):104–112.
8. 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>.
9. Philip N, Walsh LJ. Cranberry polyphenols: Natural weapons against dental caries. Dentistry Journal. 2019;7(1). <https://doi.org/10.3390/dj7010020>.
10. 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>.
11. Coleman CM, Ferreira D. Oligosaccharides and complex carbohydrates: A new paradigm for cranberry bioactivity. Molecules. 2020;25(4). <https://doi.org/10.3390/molecules25040881>.
12. Kalt W, Cassidy A, Howard LR, Krikorian R, Stull AJ, Tremblay F, et al. Recent research on the health benefits of blueberries and their anthocyanins. Advances in Nutrition. 2020;11(2):224–236. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz065>.
13. Tyak GV, Kurlovich LE, Tyak AV. Biological recultivation of degraded peatlands by creating forest berry plants. Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2016;11(2):43–46. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/20633>.
14. 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>.
15. Makarov SS, Kuznetsova IB, Smirnov VS. Improving technology of clonal micropropagation of arctic bramble (*Rubus arcticus* L.). Forestry Information. 2018;4:91–97. (In Russ.). <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2018.4.09>.
16. Korenev IA, Tyak GV, Makarov SS. Creation of new varieties of forest berry plants and 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>.
17. 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>.
18. Makarov SS, Kuznetsova IB, Chudetsky AI, Rodin SA. Obtaining high-quality planting material of forest berry plants by clonal micropropagation for restoration of cutover peatlands. Lesnoy zhurnal. 2021;380(2):21–29.
19. Tikhomirov AA, Ushakova SA. Nauchnye i tekhnologicheskie osnovy formirovaniya fototrofnogo zvena biologo-tekhnicheskikh sistem zhizneobespecheniya [Scientific and technological foundations of the phototrophic link of biological and technical life support systems]. Krasnoyarsk: Reshetnev Siberian State University of Science and Technology; 2016. 200 p. (In Russ.).
20. Hung CD, Hong C-H, Kim S-K, Lee K-H, Park J-Y, Nam M-W, et al. LED light for in vitro and ex vitro efficient growth of economically important highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). Acta Physiologiae Plantarum. 2016;38(6). <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2164-0>.
21. Jung W-S, Chung I-M, Hwang MH, Kim S-H, Yu CY, Ghimire BK. Application of light-emitting diodes for improving the nutritional quality and bioactive compound levels of some crops and medicinal plants. Molecules. 2021;26(5). <https://doi.org/10.3390/molecules26051477>.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-529-537>
УДК 331.1:664

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Формирование индикаторов оценки эффективности использования человеческого капитала в пищевой промышленности



И. В. Скоблякова*, С. М. Ефремова

Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, Орел, Россия

Поступила в редакцию: 17.03.2021

Принята после рецензирования: 20.05.2021

Принята в печать: 15.07.2021



*e-mail: ivs2510@mail.ru

© И. В. Скоблякова, С. М. Ефремова, 2021

Аннотация.

Введение. В настоящее время не существует общепринятого методологического подхода, который позволяет объективно оценить ценность человеческого ресурса с позиции его влияния на результаты хозяйственной деятельности. Пищевая промышленность формирует свои уникальные требования к трудовым ресурсам, которые выступают в качестве индикаторов эффективности их использования в производственном процессе. Цель исследования – сформировать группу индикаторов, которые позволят произвести оценку эффективности использования человеческого капитала в пищевой промышленности.

Объекты и методы исследования. Роль пищевой промышленности, которая состоит не только в обеспечении продовольственной безопасности страны, но и в рациональном использовании всех видов ресурсов и материальной базы в производственном процессе. Методологическим инструментарием исследования выступили показатели оценки человеческого капитала, принятые в международных стандартах финансовой отчетности, а также методы, используемые в практике статистического и математического анализа данных.

Результаты и их обсуждение. Предложен и апробирован методологический подход, который дает возможность определить влияние достигнутого уровня человеческого капитала на социально-экономическую эффективность развития предприятия пищевой отрасли. Расчет интегрированного индекса человеческого капитала построен на статистических показателях, характеризующих уровень востребованности и качество использования интеллектуального компонента в отрасли (индексы занятости, достигнутого уровня образования и промышленного производства). Индикативную функцию выполняет интегрированный показатель социально-экономического развития, который включает приведенные к сопоставимому виду индексы, отражающие эколого-экономическую, эколого-социально-экономическую и собственно-экологическую эффективность пищевого производства. Результаты апробации методологического подхода на примере ООО «Центральная крупяная компания» демонстрируют, что рост затрат на развитие человеческого капитала на 1 % опосредует рост показателей социально-экономического развития предприятия от 4 до 5 %. Объективность оценки будет зависеть от обеспечения заданного уровня развития человеческого капитала и выбора целевых критериев развития пищевой отрасли.

Выводы. Практическая реализация предлагаемого метода может способствовать росту обоснованности управленческих решений в области управления трудовыми ресурсами на предприятии пищевой промышленности. Предлагаемые индикаторы оценки эффективности использования человеческого капитала имеют рекомендательный характер и могут быть расширены в соответствии с целями и установками научного исследования.

Ключевые слова. Человеческий капитал, пищевая промышленность, индикаторы, производство, социально-экономическая эффективность, устойчивость развития

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках проекта 19-010-00124 А «Теория циклично-волнового развития современной экономики».

Для цитирования: Скоблякова И. В., Ефремова С. М. Формирование индикаторов оценки эффективности использования человеческого капитала в пищевой промышленности // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 529–537. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-529-537>.

Original article

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

Formation of Indicators for Assessing the Effectiveness of the Use of Human Capital in the Food Industry

Irina V. Skobliakova^{*}, Svetlana M. Efremova¹

I.S. Turgenev Orel State University¹, Orel, Russia

Received: March 17, 2021

Accepted in revised form: May 20, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021



^{*}e-mail: ivs2510@mail.ru

© I.V. Skobliakova, S.M. Efremova, 2021

Abstract.

Introduction. No standard methodological approach has yet been developed for an objective assessment of the value of the human resource from the position of its effect on the results of the related industry. Food industry is a strategically important branch of the National Economy. It has its specific requirements for labor resources, which can be used as indicators of their effective use in the production process. The on-going transformation of the food industry structure requires customization of such indicators. The present research objective was to form a group of indicators to assess the efficiency of the use of human capital in food industry.

Study objects and methods. Food industry ensures domestic food security and provides the rational use of all resources in the production process. The research featured indicators of human capital assessment adopted in international financial reporting, as well as methods of statistical and mathematical data analysis.

Results and discussion. The present article introduces a new methodological approach to determine the impact of human capital on the socio-economic efficiency of a food industry enterprise. The calculation of the integrated human capital index was based on statistical indicators of demand and the intellectual component in the industry, e.g. indices of employment, education, and industrial production. According to the proposed approach, the indicative function was performed by an integrated indicator of socio-economic development, which included indices reduced to a comparable form. The indices reflected the ecological, economic, and social efficiency of food production. The method was tested at a local cereal-producing company. An average increase in costs for the development of human capital by 1% increased the indicators of the socio-economic development from 4 to 5%. The objectivity of the assessment depended on the provision of a given level of human capital development and the choice of target criteria for the development of the food industry.

Conclusion. The proposed method can facilitate labor management decisions in food industry. The list of indicators can be expanded in accordance with the objectives and installations of scientific research.

Keywords. Human capital, food industry, indicators, production, socio-economic efficiency, stability

Funding. The study was support of the Russian Foundation for Basic Research (RFBR)¹, project No. 19-010-00124 A “Theory of the cyclical wave development of the modern economy”.

For citation: Skobliakova IV, Efremova SM. Formation of Indicators for Assessing the Effectiveness of the Use of Human Capital in the Food Industry. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):529–537. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-529-537>.

Введение

Важным направлением современных исследований выступает вопрос измерения человеческого капитала и оценка его значимости для организационной эффективности. Анализ практик по управлению человеческими ресурсами, которые стартовали в середине 90-х гг. XX века в Saratoga Institute, демонстрируют не только прямое влияние инвестиций в человеческий капитал на эффективность функционирования внутренних организационных структур, но и конечные результаты деятельности компаний [1]. Человеческий капитал по мнению большинства исследователей «формирует устойчивые позиции компаний», определяет «уровень производительности труда», формирует «инновационный потенциал и доход компании» и «влияет на финансовые результаты деятельности» [2–5].

Трансформационные процессы, которые характерны для современной экономической среды, приводят к замещению материальных факторов интеллектуальным компонентом и актуализируют вопрос обеспечения накопления и воспроизводства всех видов человеческого капитала. Теория человеческого капитала была выдвинута в конце 50-х гг. XX века с целью характеристики тех компонентов и выгод, которыми обладает и формирует человек на протяжении всей своей жизни. Обозначенная компонентная база формирует капитал каждого человека, обеспечивает ему «уникальные преимущества, определяет его потенциальный доход» [6]. Кроме того, в современном экономическом пространстве человеческий капитал рассматривают как «движущую силу эндогенного экономического роста», обозначая его превосходящую функцию в системе организации производственной деятельности [7].

Проблема идентификации и оценки эффективности использования человеческого капитала выступает сегодня в качестве приоритетной практически для всех отраслей и сфер деятельности. Важно не только оценить совокупный человеческий капитал, которым располагает компания, но и определить степень его влияния на результаты хозяйственной деятельности. Такой подход предполагает построение системы и выбор таких индикаторов оценки человеческого капитала, которые будут согласованы как с текущими, так и перспективными задачами компании и обеспечат заданный уровень результативности хозяйственной деятельности.

Социально-экономическая траектория развития современной пищевой промышленности ориентирована на построение экологической структуры производства, целью которой выступает обеспечение устойчивого функционирования отрасли [8]. Трансформация пищевой отрасли, связанная с актуализацией экологического компонента, крайне важна для национальной экономики из-за действия следующих основных факторов [9]:

- качество продовольствия прямо влияет на сохранение и поддержание здоровья нации;
- формирование экологически безопасной среды выступает отправной точкой развития всех отраслей и сфер деятельности;
- обеспечение устойчивых конкурентных позиций отечественных предприятий на мировом рынке.

С позиции предприятия пищевой отрасли подобная перестройка производства должна обеспечивать достижение трех блоков целей: экономических, социальных и экологических. Экономические цели включают не только окупаемость и доходность производственной деятельности, но и эффективность инвестиционного процесса, оптимизацию всех видов затрат, в том числе и в трудовые ресурсы [10]. Социальные цели связаны с достижением определенных параметров качества жизни населения, среди которых не только улучшение здоровья и продолжительности жизни населения территории, но и удовлетворение спроса в органических продуктах [11]. Экологический блок целей ориентирован на согласование интересов природы и общества. Это касается сохранения экологического баланса и безопасности продукции пищевой отрасли для населения [12].

Любые трансформации в производственной сфере сопряжены с необходимостью пересмотра не только ранее существующих индикаторов оценки конечного результата хозяйственной деятельности, но и выбором группы исходных элементов, которые будут влиять на этот результат. Одним из таких определяющих элементов в формировании и развитии пищевого производства России выступает качество человеческого капитала, которое в научной литературе

интерпретируется как «совокупность определенных компонентов, влияющих на производительность труда и доход его носителя» [13]. Обозначенные компоненты следует рассматривать в качестве индикаторов, которые позволяют оценить эффективность использования человеческого капитала в сфере его практического использования. Чтобы любые трансформационные процессы имели желаемый конечный результат, необходимо иметь в наличии достаточное количество высококвалифицированных специалистов (в частности экспертов по технологии производства каждого отдельного продукта). Формирование требуемого кадрового состава сопряжено с инвестициями в человеческий капитал. Уровень эффективности его использования выступает индикатором результативности подобных преобразований. В этой связи возникает вопрос о необходимости формирования системы индикаторов, которые позволят предприятию оценить эффективность инвестиций в человеческий капитал во взаимосвязи с экономическими, социальными и экологическими результатами его деятельности.

Целью исследования является анализ системы индикаторов, которые обеспечат наиболее полный анализ эффективности использования человеческого капитала в пищевой промышленности.

Объекты и методы исследования

Роль пищевой промышленности как объекта исследования состоит не только в обеспечении продовольственной безопасности страны, но и рациональном использовании всех видов ресурсов и материальной базы в производственном процессе. Принимая во внимание особенности развития исследуемой отрасли, методологическим инструментарием исследования выступили показатели оценки человеческого капитала, принятые в международных стандартах финансовой отчетности, а также методы, используемые в практике статистического и математического анализа данных.

На первом этапе следует произвести оценку интегрированного (совокупного) индекса человеческого капитала, которым располагает то или иное предприятие в рассматриваемой отрасли. Расчет интегрированного индекса человеческого капитала в отрасли построен на принципах, заложенных в международной методологии расчета Индекса развития человеческого потенциала (Human Development Index). В его основе положена оценка статистических показателей, характеризующих ведущие компоненты «человеческого капитала» [14].

Для расчета интегрированного индекса человеческого потенциала (ЧП) были использованы следующие группы показателей (формула 1):

$$\text{ЧП} = \frac{I_{\text{зан}} + I_{\text{обр}} + I_{\text{зн}}}{3} \quad (1)$$

где $I_{зан}$ – индекс занятости в пищевой промышленности; $I_{обр}$ – индекс достигнутого уровня образования; $I_{пп}$ – индекс промышленного производства.

Граничные значения индекса человеческого потенциала установим в диапазоне, рекомендованном независимыми экспертами ПРООН (программы развития Организации Объединенных наций) в Методике расчета индекса развития человеческого потенциала. Она содержит все необходимые аналитические соотношения, параметры и вычислительную процедуру, обеспечивающие выполнение расчета индекса человеческого потенциала.

Рекомендованные граничные значения оценки индекса человеческого потенциала включают:

- первый диапазон – высокий уровень (высокий уровень занятости в отрасли, образования и объемов производства продукции соответственно) – от 0,8;
- второй критерий – средний уровень (средний уровень занятости в отрасли, образования и объемов производства продукции соответственно) – от 0,5 до 0,79;
- третий критерий – низкий уровень (низкий уровень занятости в отрасли, образования и объемов производства продукции соответственно) – менее 0,5.

Предлагаемый подход к оценке человеческого потенциала пищевой промышленности позволит произвести не только его количественную оценку, но и повысит обоснованность управленческих решений в области управления и развития трудовых ресурсов отрасли. Можно также утверждать, что подход имеет универсальный характер и может быть использован для оценки человеческого потенциала любой производственной сферы деятельности.

Полная оценка эффективности использования человеческого потенциала в пищевой промышленности будет произведена только тогда, когда будет выбран объект сравнения, включающий показатели деятельности предприятия, имеющие прямую зависимость от качественных и количественных компонентов трудовых ресурсов. В качестве такого объекта сравнения был выбран интегрированный показатель социально-экономического развития предприятия. Он включает приведенные к сопоставимому виду индексы, отражающие эколого-экономическую, эколого-социально-экономическую и собственно-экологическую эффективность производства. Такой подход позволит оценить эффективность построения экологической структуры производства с позиции не только его экономической результативности, но и обеспечит оценку социально-экологической устойчивости функционирования предприятий пищевой отрасли.

Интегрированный индекс социально-экономического развития предприятия определим по формуле 2 [15].

$$ИИ = \sqrt[3]{ИЭЭ \times ИЭСЭ \times ИЭК} \quad (2)$$

где ИЭЭ – индекс эколого-экономической устойчивости; ИЭСЭ – индекс эколого-социально-экономической устойчивости; ИЭК – индекс собственно-экологической устойчивости.

Представленная методика включает четыре оценки устойчивости предприятия:

- высокую устойчивость развития (от 0,9 до 1);
- близкое к устойчивому развитию (от 0,5 до 0,89);
- неустойчивое развитие (от 0,25 до 0,49);
- абсолютно неустойчивое развитие (от 0 до 0,24).

Колебания значений устойчивости будут определяться спецификой пищевого производства, фактическими и нормативными значениями его результативных показателей.

Система предлагаемых индикаторов носит рекомендательный характер и может быть дополнена другими компонентами, которые позволят получить оценку эффективности использования человеческого капитала в пищевой промышленности в более развернутой форме. Рост эффективности использования человеческого капитала будет иметь место только в случае пропорционального роста как интегрированного индекса человеческого потенциала, так и интегрированного показателя социально-экономического развития предприятия. В противном случае инвестиции в трудовые ресурсы предприятия будут экономически не оправданы.

Результаты и их обсуждение

Апробация предложенной методики была произведена на базе ООО «Центральная крупяная компания», расположенного в Орловской области, Мценского района, п. Воля. Сертификация производства предприятия по международным стандартам FSSC 22000 (с января 2016 г.). Объект сертификации – переработка крупяных изделий.

Рассчитаем интегрированный индекс человеческого капитала и социально-экономического развития предприятия пищевой отрасли и установим взаимосвязь между полученными результатами.

Индекс занятости в пищевой промышленности ($I_{зан}$) следует рассчитывать как отношение занятых в отрасли ($K_{зпп}$) к общей численности трудоспособного населения города, региона, страны ($K_{зтн}$):

$$I_{зан} = \frac{K_{зпп}}{K_{зтн}} \quad (3)$$

Занятость характеризует ту часть трудоспособного населения, которая востребована на рынке труда. Обеспечить рост человеческого капитала возможно либо за счет максимизации использования знаний и умений своих сотрудников, либо за счет роста количества их использования [15]. Как первый, так и второй вариант формирования человеческого капитала для пищевой промышленности имеет большое значение.

В первом случае следует говорить о количественном приросте человеческого капитала, а во-втором – о качественном. За последние пять лет доля занятого населения в пищевой промышленности выросла с 14,1 до 18,2 %. Это произошло за счет расширения масштабов производства предприятий Центрального федерального округа [16].

Индекс достигнутого уровня образования предполагает оценку доли работников со специальным образованием, в том числе сертифицированных специалистов в области органического пищевого производства. Расчет индекса достигнутого уровня образования ($I_{обр}$) следует рассматривать как соотношение доли специалистов, имеющих требуемый (желательный) уровень образования ($O_{тр}$), к общей численности персонала занятого на предприятии пищевой промышленности ($O_{з}$):

$$I_{обр} = \frac{O_{тр}}{O_{з}} \quad (4)$$

Дефицит высококвалифицированных кадров одна из проблем, которая в настоящее время решается за счет создания специализированных образовательных центров и привлечения специалистов с профильным образованием по направлению подготовки «Эколог», «Ветеринария» и «Зоотехнология» [17].

Индекс промышленного производства ($I_{пп}$) имеет универсальную методику расчета. Применительно к пищевой промышленности его следует определять как отношение объема текущего производства в стоимостной оценке по каждой ассортиментной позиции ($I_{тп}$) к объему производства принятому за базовый период ($I_{бп}$).

$$I_{пп} = \frac{I_{тп}}{I_{бп}} \quad (5)$$

В качестве расчетной базы, в зависимости от целей исследования, можно брать как общий объем производства, так и производство только органических видов продукции.

Предлагаемый подход к оценке человеческого потенциала пищевой промышленности позволит произвести не только его количественную оценку, но и повысит обоснованность управленческих решений в области управления и развития трудовых ресурсов отрасли. Можно также утверждать, что подход имеет универсальный характер и может быть использован для оценки человеческого потенциала любой производственной сферы деятельности.

Полная оценка эффективности использования человеческого потенциала в пищевой промышленности будет произведена только тогда, когда будет выбран объект сравнения, включающий показатели деятельности предприятия, имеющие прямую зависимость от качественных и количественных компонентов трудовых ресурсов. В качестве такого объекта сравнения был выбран интегрированный показатель социально-экономического развития

предприятия. Он включает приведенные к сопоставимому виду индексы, отражающие эколого-экономическую, эколого-социально-экономическую и собственно-экологическую эффективность производства. Такой подход позволит оценить эффективность построения экологической структуры производства с позиции не только его экономической результативности, но и обеспечит оценку социо-экологической устойчивости функционирования предприятий пищевой отрасли.

Координаты сравниваемых показателей по каждой группе выражаются в долях соответствующих координат эталона, взятого за единицу (формула 5):

$$Pi = \frac{\text{Текущее значение показателя}}{\text{Базовое значение показателя}} \quad (6)$$

где Pi – оценка значения индекса устойчивости.

При формировании группы индикаторов необходимо принимать во внимание основные целевые характеристики пищевой отрасли, которые могут выступать в качестве весомых критериев оценки.

В качестве эколого-экономических индикаторов следует рассматривать:

- инвестиции в создание органического пищевого производства;
- затраты на оптимизацию операционной деятельности и снижение потерь энергии;
- объем производства органической продукции в общей доле выпуска;
- затраты на развитие человеческого капитала

Группа эколого-социально-экономических включает:

- улучшение здоровья и продолжительности жизни населения территории;
- уровень производства органической продукции на 1 человека определенной территории;
- удовлетворение спроса населения в органических продуктах (рост продаж).

Собственно-экологические индикаторы также имеют свою специфику и могут включать:

- уровень безопасности пищевых продуктов для потребителя;
- долю выбросов в воздушную и водную среду обитания;
- уровень инвестиций в инновации, влияющие на состояние окружающей среды.

На следующем этапе необходимо определить комплексный показатель устойчивости каждой группы. Для этого возводим их в квадрат, позволяющий решить проблему отрицательных значений, находим среднеарифметическое и извлекаем квадратный корень (формула 6):

$$I_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2}{n}} \quad (7)$$

Следует выделить две основные причины, которые обосновывают необходимость установления взаимосвязи между индикатором, характеризующим

уровень человеческого капитала предприятия, и индикатором, устанавливающим уровень его социально-экономического развития:

– первая причина – это оценка отдельных компонентов развития человеческого капитала, которая позволяет сформировать проблемное поле его хозяйственной деятельности и своевременно принимать оптимальные управленческие решения [18];

– вторая причина – характеризуя социально-экономический уровень развития предприятия, появляется возможность обосновать необходимость инвестиций не только в развитие и накопление человеческого капитала, но и в другие объекты инвестиционной активности [19].

Научно доказано, что «человеческий капитал не только повышает производительность труда, но и способствует переходу к более квалифицированной занятости» [10]. Отсюда следует, что инвестиции в физический капитал способствуют росту профессионального уровня работников, что выступает положительным вектором социально-экономического развития компании.

Преимущества представленной методики включают:

– возможности оценки эффективности использования человеческого капитала и устойчивости развития как одного, так и нескольких предприятий и проведения их сравнительной характеристики;

– определение факторов, оказывающих как прямое, так и косвенное влияние на эффективность

использования человеческого капитала и устойчивость функционирования предприятия;

– возможности формирования оптимальной траектории развития предприятия в соответствии с поставленными целями и задачами.

В результате исследования определены индикаторы и разработана методика, которая позволяет производить оценку эффективности использования человеческого капитала не только в пищевой промышленности, но и практически в любой сфере материального производства.

Кроме того, стабилизация роста обозначенных индикаторов будет способствовать достижению приоритетной цели развития пищевого производства – устойчивости его функционирования. «Проблема устойчивого развития» остается до настоящего времени не решенной для сферы материального производства в разрезе всей мировой экономики [5].

В таблице 1 представлена динамика интегрированного индекса человеческого потенциала и интегрированного индекса социально-экономического развития ООО «Центральная крупяная компания» за период с 2015 по 2019 гг.

Результаты апробации демонстрируют прямую зависимость между расчетными значениями индекса человеческого потенциала и интегрированного индекса социально-экономического развития. Переход на международные стандарты развития позволил компании не только занять устойчивые позиции на внутреннем рынке, но и расширить экспортные возможности. Сегодня это интенсивно

Таблица 1. Динамика интегрированного индекса человеческого потенциала и интегрированного индекса социально-экономического развития ООО «Центральная крупяная компания» за 2015–2019 гг.*

Table 1. Dynamics of the integrated index of human potential and the integrated index of socio-economic development of LLC Central Cereal Company, 2015–2019*

Показатели	2015	2016	2017	2018	2019
Интегрированный индекс человеческого потенциала (ЧИП)	0,600	0,603	0,605	0,607	0,616
Индекс занятости в пищевой промышленности (<i>Iзан</i>)	0,014	0,016	0,017	0,018	0,021
Индекс достигнутого уровня образования (<i>Iобр</i>)	0,788	0,795	0,799	0,801	0,821
Индекс промышленного производства (<i>Iпп</i>)	0,999	1,000	1,001	1,003	1,006
Интегрированный индекс социально-экономического развития (ИИ)	0,789	0,799	0,821	0,894	0,912
Индекс эколого-экономической устойчивости (ИЭЭ)	0,998	1,00	1,009	1,021	1,031
Индекс эколого-социально-экономическую устойчивости (ИЭСЭ)	0,743	0,752	0,754	0,766	0,781
Индекс собственно-экологической устойчивости ИЭК	1,038	1,062	1,080	1,142	1,132
Интегрированный индекс человеческого потенциала (ЧИП)	0,600	0,603	0,605	0,607	0,616
Темпы роста к базисному году, %	100	100,5	100,8	101,1	102,6
Темпы роста к предыдущему году, %	100	100,5	100,3	100,3	101,4
Интегрированный индекс социально-экономического развития (ИИ)	0,789	0,799	0,821	0,894	0,912
Темпы роста к базисному году, %	100	101,2	104,0	113,3	115,5
Темпы роста к предыдущему году, %	100	101,2	102,7	108,8	102,0

*Составлено на основе анализа показателей организационно-экономической деятельности ООО «Центральная крупяная компания».

* Based on the analysis of indicators of organizational and economic activities of LLC Central Cereal Company.



Рисунок 1. Динамика интегрированного индекса человеческого потенциала и интегрированного индекса социально-экономического развития ООО «Центральная крупяная компания» за 2015–2019 гг.

Figure 1. Dynamics of the integrated index of human potential and the integrated index of socio-economic development of LLC Central Cereal Company, 2015–2019

развивающаяся компания с высокой степенью устойчивости социально-экономического развития, рационально использующая не только материальные, но и трудовые ресурсы. Однако обеспечить заданный уровень развития человеческого капитала – это сложная и многоаспектная проблема для любого хозяйствующего субъекта. Получение максимально точного результата оценки факторов, которые влияют на развитие данного ресурса, одно из условий точной и объективной оценки конечного результата.

Взаимосвязь устойчивого сбалансированного развития ООО «Центральная крупяная компания» с качеством и количеством накопленного человеческого капитала можно увидеть на рисунке 1.

Как видно на рисунке 1, чем выше качество человеческого капитала, тем выше интегральный

показатель устойчивого сбалансированного развития компании.

Ранжирование интегрированного индекса человеческого потенциала и интегрированного индекса социально-экономического развития ООО «Центральная крупяная компания», в соответствии с установленными критериями его оценки, показывает, что прирост как количественных, так и качественных параметров человеческого капитала оказывает прямое влияние на обеспечение устойчивых позиций функционирования и развития компании (табл. 2).

Представленный подход оценки социально-экономического «здоровья» предприятия пищевой промышленности с помощью предлагаемых индикаторов оценки эффективности использования человеческого капитала может вызывать некоторые сомнения по причине ограниченности круга показателей, которые были использованы в процессе расчетов. Решить обозначенную проблему возможно путем расширения их перечня в соответствии с целями и установками научного исследования. Использование даже части массивов показателей социально-экономического развития компании позволяет представить общий вектор ее развития в заданном направлении.

Выводы

Современные условия функционирования пищевой промышленности актуализируют проблему эффективности использования человеческого капитала, который выступает основой инновационных преобразований в отрасли.

В настоящее время единой методики оценки человеческого капитала нет. В исследовании сделана попытка предложить методологический подход, который дает возможность определить не только группу индикаторов человеческого капитала, которые характеризуют его качественные и количественные параметры, но и установить влияние достигнутого

Таблица 2. Ранжирование интегрированного индекса человеческого потенциала и интегрированного индекса социально-экономического развития ООО «Центральная крупяная компания» в соответствии с установленными критериями его оценки

Table 2. Ranking of the integrated index of human potential and the integrated index of socio-economic development of LLC Central Cereal Company in accordance with the established assessment criteria

Показатели	2015	2016	2017	2018	2019
Интегрированный индекс человеческого потенциала (ЧИП)	0,600	0,603	0,605	0,607	0,616
Оценка результата (рост)	Средний уровень	Средний уровень	Средний уровень	Средний уровень	Средний уровень
Интегрированный индекс социально-экономического развития (ИИ)	0,789	0,799	0,821	0,894	0,912
Оценка результата (рост)	Уровень близкий к устойчивому	Уровень близкий к устойчивому	Уровень близкий к устойчивому	Уровень близкий к устойчивому	Высокий уровень устойчивости

уровня человеческого капитала на предприятии на основные социально-экономические показатели его деятельности. Предлагаемые эмпирические результаты методологического подхода на примере ООО «Центральная крупная компания» позволили выявить и оценить влияние человеческого капитала на результаты хозяйственной деятельности компании и могут быть рекомендованы для дальнейшего практического использования.

Критерии авторства

Авторы в равной степени принимали участие в исследованиях и оформлении рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors contributed equally involved in the research and design 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. Saratoga Institute. URL: <https://www.saratoga.org/scim/> (дата обращения: 15.02.2021).
2. Лосева О. В. Концепция оценки человеческого капитала в инновационной экономике // Вестник финансового университета. 2012. № 5. С. 27–38.
3. Грузков И. В. Воспроизводство человеческого капитала в условиях формирования инновационной экономики России. Теория, методология, управление. М.: Экономика, 2013. 384 с.
4. Ефремова С. М. Социальный компонент как фактор обеспечения эффективного воспроизводства человеческого капитала и инновационного развития территории // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2021. Т. 53. № 1. С. 113–123. <https://doi.org/10.26456/2219-1453/2021.1.113-123>.
5. Ришко Ю. Б., Малахова Е. М. Методы оценки человеческого капитала // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2014. Т. 16. № 4. С. 71–78.
6. Chiappori P.-A., Galichon A., Salanie B. On human capital and team stability // Journal of Human Capital. 2019. Vol. 13. № 2. P. 236–259. <https://doi.org/10.1086/702925>.
7. Ehrlich I., Li D., Liu Z. The role of entrepreneurial human capital as a driver of endogenous economic growth // Journal of Human Capital. 2017. Vol. 11. № 3. P. 310–351. <https://doi.org/10.1086/693718>.
8. Safonte G. F., Bellia C., Columba P. Commoning of territorial heritage and tools of participated sustainability for the production and enhancement of agro-environmental public goods // Agricultural and Food Economics. 2021. Vol. 9. № 1. <https://doi.org/10.1186/s40100-021-00180-w>.
9. Ефремова С. М., Скоблякова И. В. Трансформация методов оценки человеческого капитала в условиях цифровой экономики // Экономические и гуманитарные науки. 2020. Т. 341. № 6. С. 110–118.
10. Прищепова А. О. Статистическое исследование индекса человеческого развития // Вопросы экономики и управления. 2016. Т. 5. № 3. С. 114–117.
11. Лебедева И. С. Инвестиции в человеческий капитал // Современные научные исследования. 2012. Т. 6. № 9. С. 27.
12. Ershova I., Belyaeva O., Obukhova A. Investment in human capital education under the digital economy // Economic Annals-XXI. 2019. Vol. 180. № 11–12. P. 69–77. <https://doi.org/10.21003/ea.V180-08>.
13. Angelopoulos K., Malley J., Philippopoulos A. Human capital accumulation and transition to skilled employment // Journal of Human Capital. 2017. Vol. 11. № 1. P. 72–105. <https://doi.org/10.1086/690445>.
14. Human development index. URL: <https://hdr.undp.org/en/content/human-development-index-hdi> (дата обращения: 15.02.2021).
15. Бездудная А. Методы формирования человеческого капитала. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. 100 с.
16. Нестеров А. А., Форрестер С. В. Проблемы человеческого капитала в современной экономике. Самара: Самарский государственный технический университет, 2010. 178 с.
17. Malorgio G., Marangon F. Agricultural business economics: the challenge of sustainability // Agricultural and Food Economics. 2021. Vol. 9. № 1. <https://doi.org/10.1186/s40100-021-00179-3>.
18. Scientific analysis of the happiness index in regard to the human capital development / V. D. Orekhov [et al.] // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2020. Vol. 12. № 4. P. 467–478. <https://doi.org/10.5373/JARDCS/V12SP4/20201512>.

19. Cicatiello C. Alternative food shoppers and the “quantity dilemma”: A study on the determinants of their purchases at alternative markets // *Agricultural and Food Economics*. 2020. Vol. 8. № 1. <https://doi.org/10.1186/s40100-020-00160-6>.
20. Кузнецова Л. М., Пилюгина П. М. Индекс развития человеческого потенциала как основной стратегический инструмент концепции развития человека // *Экономическая среда*. 2019. Т. 28. № 2. С. 54–60.
21. Устинова К. А., Губанова Е. С., Леонидова Г. В. Человеческий капитал в инновационной экономике. Вологда: Институт социально-экономического развития территории РАН, 2015. 195 с.

References

1. Saratoga Institute [Internet]. [cited 2021 Feb 15]. Available from: <https://www.saratoga.org/scim>.
2. Loseva OV. The concept of human capital evaluation in innovative economy. *Bulletin of the Financial University*. 2012;(5):27–38. (In Russ.).
3. Gruzkov IV. The reproduction of human capital in the conditions of formation of innovation economy of Russia: Theory, methodology, management. Moscow: Economics; 2013. 384 p. (In Russ.).
4. Efremova SM. The social component as a factor of ensuring effective reproduction of human capital and innovative development of the territory. *Bulletin Tver State University. Series: Economics and Management*. 2021;53(1):113–123. (In Russ.). <https://doi.org/10.26456/2219-1453/2021.1.113-123>.
5. Rishko YuB, Malakhova EM. Methods of evaluation of human capital in the organization. *Bulletin of Omsk State Agricultural University*. 2014;16(4):71–78. (In Russ.).
6. Chiappori P-A, Galichon A, Salanie B. On human capital and team stability. *Journal of Human Capital*. 2019;13(2):236–259. <https://doi.org/10.1086/702925>.
7. Ehrlich I, Li D, Liu Z. The role of entrepreneurial human capital as a driver of endogenous economic growth. *Journal of Human Capital*. 2017;11(3):310–351. <https://doi.org/10.1086/693718>.
8. Safonte GF, Bellia C, Columba P. Commoning of territorial heritage and tools of participated sustainability for the production and enhancement of agro-environmental public goods. *Agricultural and Food Economics*. 2021;9(1). <https://doi.org/10.1186/s40100-021-00180-w>.
9. Efremova SM, Skoblyakova IV. Transformation of methods for assessing human capital in the conditions of digital economy. *Economic and Humanitarian Sciences*. 2020;341(6):110–118. (In Russ.).
10. Prishchepova AO. Statisticheskoe issledovanie indeksa chelovecheskogo razvitiya [Statistical research of the human development index]. *Voprosy ehkonomiki i upravleniya [Problems of Economics and Management]*. 2016;5(3):114–117. (In Russ.).
11. Lebedeva IS. Investitsii v chelovecheskiy kapital [Investments in human capital]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya [Modern Research]*. 2012;6(9):27. (In Russ.).
12. Ershova I, Belyaeva O, Obukhova A. Investment in human capital education under the digital economy. *Economic Annals-XXI*. 2019;180(11–12):69–77. <https://doi.org/10.21003/ea.V180-08>.
13. Angelopoulos K, Malley J, Philippopoulos A. Human capital accumulation and transition to skilled employment. *Journal of Human Capital*. 2017;11(1):72–105. <https://doi.org/10.1086/690445>.
14. Human development index [Internet]. [cited 2021 Feb 15]. Available from: <https://hdr.undp.org/en/content/human-development-index-hdi>.
15. Bezdudnaya A. Metody formirovaniya chelovecheskogo kapitala [Human capital formation methods]. Moscow: LAP Lambert Academic Publishing; 2018. 100 p. (In Russ.).
16. Nesterov AA, Forrester SV. Problemy chelovecheskogo kapitala v sovremennoy ehkonomike [Human capital issues in the modern economy]. Samara: Samara State Technical University; 2010. 178 p. (In Russ.).
17. Malorgio G, Marangon F. Agricultural business economics: the challenge of sustainability. *Agricultural and Food Economics*. 2021;9(1). <https://doi.org/10.1186/s40100-021-00179-3>.
18. Orekhov VD, Prichina OS, Loktionova YN, Yanina ON, Gusareva NB. Scientific analysis of the happiness index in regard to the human capital development. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2020;12(4):467–478. <https://doi.org/10.5373/JARDCS/V12SP4/20201512>.
19. Cicatiello C. Alternative food shoppers and the “quantity dilemma”: A study on the determinants of their purchases at alternative markets. *Agricultural and Food Economics*. 2020;8(1). <https://doi.org/10.1186/s40100-020-00160-6>.
20. Kuznetsova LM, Pilyugina PM. Index of human potential development as the basic strategic tool of the concept of individual development. *Economic Environment*. 2019;28(2):54–60. (In Russ.).
21. Ustinova KA, Gubanova ES, Leonidova GV. Chelovecheskiy kapital v innovatsionnoy ehkonomike [Human capital in the innovative economy]. Vologda: Vologodskiy Scientific Center of the Russian Academy of Sciences; 2015. 195 p. (In Russ.).

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-538-548>
УДК 602.4;502.174.1

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Изучение комплекса свойств полифенолов и ксилоолигосахаридов, полученных путем биотехнологии вторичного сырья просо



Д. Р. Зяйнитдинов^{ORCID}, А. В. Евтеев^{ORCID}, А. В. Банникова*^{ORCID}

Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова^{ORCID}, Саратов, Россия

Поступила в редакцию: 11.05.2021

Принята после рецензирования: 14.06.2021

Принята в печать: 15.07.2021



*e-mail: annbannikova@gmail.com

© Д. Р. Зяйнитдинов, А. В. Евтеев, А. В. Банникова, 2021

Аннотация.

Введение. В мире ежегодно перерабатываются тысячи тонн зерна просо, где основным отходом является лузга. Проблема ее глубокой переработки путем получения биологически ценных компонентов является актуальной и научно обоснованной. Цель работы – разработка биотехнологии и изучение комплекса свойств биологически активных веществ (БАВ) – полифенолов и ксилоолигосахаридов (КОС) – из вторичного сырья просо (лузги).

Объекты и методы исследования. В лузге просо определяли содержание массовой доли белка, влаги, крахмала, клетчатки, редуцирующих веществ в концентратах, исследовали антирадикальную активность, качественный и количественный состав фенольных веществ, фракционный состав углеводов, моносахаридный состав полисахаридов, качественный и количественный состав концентратов КОС.

Результаты и их обсуждение. Полученные концентраты БАВ содержат белок от 0,90 %, углеводы – 91,50 %, в том числе КОС, обладающие пребиотическими свойствами, – 68,50 % и золу – 6,30 %. Концентрат полифенолов представлен феруловой кислотой (33,47 %) с антиоксидантной активностью до 74,0 %. В процессе ферментативного гидролиза произошло значительное изменение фракционного состава оксикоричных кислот: в концентрате полифенолов выход феруловой кислоты увеличился на 19 %, галловой – на 2,5 %, но выход хлорогеновой кислоты уменьшился на 13 %. Концентрат КОС состоит из обладающих пребиотическими свойствами фрагментов КОС – до 78 % в абсолютно сухом веществе. Отходы после ферментативной обработки проса представляют собой концентрат пищевых волокон, который может быть применен как самостоятельный продукт в технологиях сбалансированного и диетического питания.

Выводы. Показана возможность практического использования просяной лузги в качестве источника антиоксидантов и пребиотиков.

Ключевые слова. Зерно, переработка, вторичное сырье, лузга, биологически активные вещества, гидролиз, ферменты

Финансирование. Работа выполнена в рамках Гранта Президента РФ для поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук и докторов наук (№ МД-1551.2020.11).

Для цитирования: Зяйнитдинов Д. Р., Евтеев А. В., Банникова А. В. Изучение комплекса свойств полифенолов и ксилоолигосахаридов, полученных путем биотехнологии вторичного сырья просо // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 538–548. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-538-548>.

Original article

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

Properties of Polyphenols and Xylooligosaccharides Obtained Biotechnologically from Processed Millets

Damir R. Zyaynitdinov^{ORCID}, Alexandr V. Ewteew^{ORCID}, Anna V. Bannikova*^{ORCID}

N.I. Vavilov Saratov State Agrarian University^{ORCID}, Saratov, Russia

Received: May 11, 2021

Accepted in revised form: June 14, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021



*e-mail: annbannikova@gmail.com

© D.R. Zyaynitdinov, A.V. Ewteew, A.V. Bannikova, 2021

Abstract.

Introduction. Thousands of tons of millet grain are processed annually in the world. Husk is the main waste of millet processing

and can produce biologically valuable components. The present research offers a new biotechnology for the production of biologically active substances (BAS), namely polyphenols and xylooligosaccharides (XOS), from millet husk.

Study objects and methods. Millet husk was tested for the mass fraction of protein, moisture, starch, fiber, and reducing substances, as well as for antiradical activity, qualitative and quantitative composition of phenolic substances, fractional composition of carbohydrates, monosaccharide composition of polysaccharides, qualitative and quantitative compositions of XOS concentrates.

Results and discussion. The obtained BAS concentrates contained 0.90% of protein and 91.50% of carbohydrates, including 68.50% of XOS with prebiotic properties and 6.30% of ash. The concentrate of polyphenols was represented to a greater extent by ferulic acid (33.47%) with antioxidant activity up to 74.0%. The process of enzymatic hydrolysis demonstrated a significant change in the fractional composition of the extracted oxycinnamic acids, which make up the polyphenolic compounds of millet husk. In the polyphenol concentrate, the yield of ferulic acid increased by 19%, and that of gallic acid – by 2.5%, whereas the yield of chlorogenic acid decreased by 13%. The XOS concentrate mainly consisted of XOS fragments with prebiotic properties – up to 78% in absolutely dry matter. The fractional composition of the XOS concentrate revealed the presence of di-, tri-, tetra-, and pentaxylo-oligosaccharides. Xylotriose and xylotetrose prevailed in the XOS concentrates: 15.83 and 16.23%, respectively. The waste of enzymatic husk processing proved to be a concentrate of valuable dietary fiber that can be used as an independent product in the technologies of balanced and dietary nutrition.

Conclusion. Millet husk is an excellent source of polyphenolic compounds with antioxidant and prebiotic properties and can be used in functional food production.

Keywords. Grain, processing, secondary raw materials, husk, biologically active substances, hydrolysis, enzymes

Funding. The research was supported by the Grant of the President of the Russian Federation for young Russian scientists – candidates of sciences and doctors of sciences (No. MD-1551.2020.11).

For citation: Zyaynitdinov DR, Ewteew AV, Bannikova AV. Properties of Polyphenols and Xylooligosaccharides Obtained Biotechnologically from Processed Millets. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):538–548. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-538-548>.

Введение

Просо относится к семейству Мятликовые и принадлежит к двум родам *Panicum* и *Setaria*. В мире насчитывается более 400 видов просо. На территории России возделываются всего лишь два его вида: просо обыкновенное (*Panicum miliaceum*) и просо головчатое (*Setaria italica*). Просо содержит целый ряд биологически активных веществ (БАВ), а также антиоксиданты, полисахариды, витамины, аминокислоты и т. д. [1].

Переработка сельскохозяйственной продукции всегда связана с образованием значительного количества вторичных продуктов. В мире ежегодно перерабатываются тысячи тонн зерна просо. На просяную лузгу как вторичный продукт промышленной переработки приходится значительная часть. Просяная лузга – неиспользуемый отход переработки зерна проса в крупу, составляющий около 17 % массы зерна.

Значительная часть антиоксидантов содержится во внешней оболочке зерна зерновых культур просо. В связи с этим значительный интерес вызывают продукты, содержащие цельные зерна или отруби [2]. Кроме этого, оболочка просо содержит витамины, микроэлементы, моно- и олигосахариды, полифенольные соединения и другие биологически активные вещества. К антиоксидантам просо можно отнести оксиароматические кислоты, представленные производными бензойной и коричной кислот, такими как галловая, феруловая, кофейная, сиреневая,

n-гидроксibenзойная, ванилиновая, кумаровая, салициловая, протокатехиновая и др. [3, 4]. Данные кислоты содержатся в оболочках зерна просо как в свободном, так и связанном состоянии. При этом значительная часть свободных кислот приходится на внешнюю оболочку. Они могут быть легко экстрагированы с помощью органических растворителей. К связанным оксиароматическим кислотам относятся кислоты, содержащиеся в оболочке клеток. Для их высвобождения применимы кислотный или щелочной гидролиз [5, 6].

Ксиланы – это полисахариды, содержащиеся во вторичных продуктах переработки просяной лузги. Они могут быть преобразованы под воздействием внешних факторов в ксилоолигосахариды (КОС). Из анализа литературных данных известно, что КОС проявляют пребиотические и антиоксидантные свойства, способны подавлять активность некоторых патогенных и энтерогнилостных кишечных бактерий, а также действуют как противовоспалительные и антиаллергические агенты. Из перечисленных свойств интерес вызывает пребиотическая активность КОС, направленная на стимулирование роста пробиотической микрофлоры кишечника животных и человека [7–13].

Несмотря на обилие информации по химическому составу зерна просо, его вторичные продукты переработки слабо изучены в перспективе их применения в качестве источника биологически активных веществ. Исследование химического

состава и изучение возможности биотрансформации просяной лузги является актуальным направлением, т. к. позволит оценить возможность применения данных вторичных продуктов в качестве нового источника БАВ растительного происхождения. Биомодификация полимеров проса в данной работе направлена на получение новых пищевых функциональных ингредиентов и БАВ, а метод ферментативного гидролиза представляет собой способ прямого воздействия на белково-углеводный матрикс сырья ферментами деполимеразы.

Ферментативный гидролиз – это сложный биохимический процесс деградации микрофибрилл клеточных стенок под воздействием ферментных препаратов, обладающих рядом полисахаридазных активностей. Вследствие этого происходит солюбилизация полисахаридного матрикса структуры клеточной стенки и освобождение фенольных кислот. На процесс ферментации одновременно влияет много различных факторов, что не способствует применению однофакторного метода исследования. Значительное воздействие на активность действия ферментативного катализа оказывает значение pH и температуры реакционной среды, которые являются индивидуальными для каждого фермента [14, 15].

Цель данного исследования – разработка биотехнологии получения и изучение комплекса свойств БАВ из вторичного сырья проса.

Объекты и методы исследования

Сырье и препараты, используемые в исследовании.

В качестве сырья и ферментных препаратов, применяемых при проведении экспериментального исследования, были выбраны:

– просо сорта «Саратовское желтое» урожая 2020 г., полученное от УНПО «Поволжье» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ;

– промышленные ферментные препараты «ГлюкоЛюкс А» (глюкоамилазная активность (ед./мл): 30 °С – 13000 ± 1300, 60 °С – 80000 ± 8000), «ЦеллоЛюкс А» (ксилазная активность (КсА) – 1700 ед./мл, целлюлолитическая активность (ЦЛА) – 6000 ед./мл), «АмилЛюкс-А (3000 ед./мл)» (амилолитическая активность (ед./мл) – 3200 ± 320), «Протосубтилин Г3х (А-120 ед./г)» (протеолитическая активность – 120 ед./г) производства ПО «Сиббиофарм».

Получение концентратов. В процессе ферментативного гидролиза происходит извлечение биологически активных компонентов зерна, фенольных кислот, флавоноидов и олигосахаров с последующей концентрацией супернатантов и их фракционного разделения на ксилоолигосахариды (КОС) и полифенольные соединения (ПФ).

Фракция, содержащая внешние оболочки зерна проса – лузгу, отбиралась для последующего помола на ротационной мельнице ЛМЦ-1М со сменными решетками (0,2 мм). Разделение фракций проводили с

помощью сит с размером ячейки 1,0, 0,80, 0,63, 0,56 и 0,315 мм. Полученная «мука» из лузги с содержанием зерновой части проса использовалась для проведения экстракции БАВ. Контроль качества измельчения «муки» проводили просеиванием через сито 0,132 мм.

Полученную «муку» обрабатывали ферментными препаратами «АмилЛюкс-А (3000 ед./мл)» (0,1 % к массе муки) и «ГлюкоЛюкс А» (0,04 % к массе муки) в ацетатном буферном растворе 5,0 ед. pH при гидромодуле 1:10 и гомогенизировали 20 мин с помощью погружного гомогенизатора ULAB US-4102 при 6000 об/мин. Полученную суспензию термостатировали в течение 3,0 ч при 60 °С с предварительной ультразвуковой (УЗВ) обработкой в лабораторной ультразвуковой ванне «Сапфир 2,5» (35 кГц, 30 мин, температура 50 °С). Через 2,5 часа вносили ферментный препарат «Протосубтилин Г3х (А-120 ед./г)» в количестве 0,5 % к массе измельченной лузги. После завершения гидролиза ферменты инактивировали нагреванием до 100 ± 2 °С в течение 3 мин. Гидролизат отделяли центрифугированием в течение 20 мин при 4000 об/мин. Осадок трижды промывали дистиллированной водой и повторно центрифугировали. После осадок отделяли и промывали 70 %-ным водным раствором этилового спирта, добавляя к одной части осадка три части этанола. Затем подвергали УЗВ воздействию в течение 15 мин. Этанольные экстракты, содержащие значительное количество свободных полифенолов, отделяли центрифугированием в течение 20 мин при 4000 об/мин и объединяли для дальнейшего разделения и очистки.

Гидролизированный осадок, содержащий БАВ, гомогенизировали с помощью погружного гомогенизатора в течение 20 мин и 6000 об/мин. Затем подвергали второму этапу гидролиза ферментными препаратами «ГлюкоЛюкс А», «ЦеллоЛюкс А», «АмилЛюкс А (3000 ед./мл)» концентрацией 0,04, 0,2 и 0,05 % к массе просяной лузги соответственно. Гидролиз ферментными препаратами происходил в ацетатном буфере при 4 ед. pH, гидромодуле 1:10 в течение 6 ч при 60 °С с предварительной УЗВ обработкой при 35 кГц, 50 °С, 30 мин.

Через 6 ч ферментации ферменты инактивировали нагреванием до 100 ± 2 °С в течение 3-х мин с последующим разделением на фракции центрифугированием (20 мин, 4000 об/мин). Осадок промывался дистиллированной водой и снова центрифугировался, гидромодуль – гидролизированный осадок:дистиллированная вода в соотношении 1:3 объемных частей. Полифенолы вновь экстрагировали из гидролизованного осадка 70 %-ным водным раствором этанола в концентрации 1:3, обрабатывали 15 мин УЗВ и отделяли этанольные экстракты центрифугированием (20 мин, 4000 об/мин). Супернатант концентрировали на ротационном испарителе ИР-1М3 в разряженной среде

при 60 ± 5 °С до содержания влаги 30 ± 2 %, получая концентрат БАВ, который готов к применению. В целях обеспечения более продолжительных сроков хранения концентрата БАВ рекомендуется провести разделение и очистку фракций олиго- и моносахаридов, полифенолов.

В результате гидролитического воздействия на просяную лузгу ферментных препаратов получается нерастворимый осадок, образованный из неферментируемого матрикса. Ферментируемый осадок может использоваться как самостоятельный функциональный продукт, концентрат пищевых волокон (ПВ) или в качестве ингредиента в составе пищевых продуктов.

Получение концентратов КОС и ПФ проводили методом спиртовой экстракции. Спирт из объединенных этанольных экстрактов отгоняли на ротационном испарителе в разряженной среде при 60 ± 5 °С с подсушиванием до 30 % и лиофильно высушивали до содержания влаги 8 ± 1 %. Концентрат полифенолов представляет из себя желто-коричневый либо светло-коричневый мелкодисперсный порошок с слабым ванильно-зерновым запахом. Ксилоолигосахариды, осажденные раствором этанола, высушивали лиофильно до содержания влаги 8 ± 1 %, получая мелкодисперсный порошок светло-коричневого цвета с слабым сладко-зерновым запахом.

Методы испытаний. Массовую долю сырого протеина определяли методом Кьельдаля по ГОСТ 10846-91.

Массовую долю жира выявляли экстракционным методом Сокслета в соответствии с ГОСТ 29033-91.

Массовую долю крахмала определяли поляриметрическим методом Эверса по ГОСТ 10845-98.

Массовую долю клетчатки устанавливали по ГОСТ 13496.2-91.

Массовую долю редуцирующих веществ выявляли по ГОСТ 5903-89.

Активность ионов водорода (рН) определяли потенциометрическим методом с использованием рН-метра «Аквилон» рН-420.

Аминокислотный состав просо определяли по ГОСТ Р 55569-2013 с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель».

Определение содержания влаги выполнялось с помощью метода высушивания. Массовую долю сухих веществ в экстрактах устанавливали с помощью рефрактометра.

Содержание минеральных веществ (золы) определяли по ГОСТ 26226-95.

Метод определения антирадикальной активности по активности поглощения DPPH основан на реакции стабильного радикала 2,2'-дифенилпикрилгидразила с подвижным атомом водорода или электроном в спиртовом растворе исследуемой пробы [15]. В пробирки вносят по 2 см³ исследуемых растворов полифенолов (раствор феруловой либо галловой

кислоты), в контрольную – 2 см³ растворителя (метанол). По секундомеру прибавляют 2 см³ раствора 2,2'-дифенилпикрилгидразила и немедленно измеряют оптическую плотность (нулевая минута) на спектрофотометре при $\lambda = 520$ нм. Пробы выдерживают 30 мин при комнатной температуре в темном месте, измерение повторяют. Рассчитывают антирадикальную активность (АРА, %) по формуле:

$$АРА = \frac{(ОП_k - (ОП_0 - ОП_{30})) * 100}{ОП_k} \quad (1)$$

где ОП_к – оптическая плотность контрольной пробы; ОП₀ – оптическая плотность опытной пробы на 0 мин; ОП₃₀ – оптическая плотность опытной пробы на 30 мин; 100 – коэффициент перевода.

Массовую долю фенольных веществ определяли колориметрическим методом. Для этого 0,25 г исследуемой пробы помещали в мерную колбу объемом 25 см³, добавляли 5 см³ дистиллированной воды и тщательно перемешивали. Затем вносили 0,25 см³ реактива Фолина-Чокалтеу и 5 см³ дистиллированной воды, перемешивали, нейтрализовали 2,5 см³ 1,0 М раствора карбоната натрия, тщательно перемешивали и доводили до метки дистиллированной водой. Подготовленную к анализу пробу убрали в темное место на 30 мин при комнатной температуре. По истечении установленного времени измеряли оптическую плотность при 670 нм в кювете 10 мм. Контрольный раствор готовили аналогично, заменив пробу 0,25 см³ дистиллированной воды. Массовую долю фенольных веществ рассчитывали по калибровочному графику, построенному по стандартному образцу галловой кислоты [15].

Формула расчета массовой концентрации фенольных веществ (С, мг/г) по галловой кислоте:

$$C = \frac{a * V}{m} \quad (2)$$

где *a* – концентрация фенольных веществ по калибровочному графику, мг/см³; *V* – объем растворителя для экстракции, см³; *m* – масса анализируемого образца, г.

Для количественного определения состава фенольных веществ в анализируемой пробе использовали метод ВЭЖХ на хроматографе «Стайер» (НПО «Аквилон», Россия). Идентификацию веществ проводили путем сравнения времени удерживания и спектральных характеристик исследуемых веществ с аналогичными характеристиками аналитических стандартов [16].

Режим хроматографирования:

- колонка Phenomenex Luna C18 (150×3,0 мм);
- режим хроматографирования – изократический;
- элюэнт – 40 % метанола и 60 % воды (подкислена ортофосфорной кислотой до рН = 3,0);
- продолжительность – 25 мин;
- поток – 1,0 см³/мин;

- термостат – 40 °С;
- инъекция – 20 мкл;
- длина волны – 320 нм.

Экстракция из пробы. Взвешивали около 1 г пробы в плоскодонную колбу с пришлифованной пробкой на 100 см³, добавляли 50 см³ 50 % водного раствора метанола и экстрагировали при 40 °С в течение 20 мин при постоянном перемешивании на перемешивающем устройстве с подогревом. Полученный экстракт фильтровали через нейлоновый фильтр 45 мкм и отбирали аликвоту 20 см³ для последующего анализа.

Фракционный состав углеводов определяли гравиметрическим методом, основанным на последовательном выделении фракций водорастворимых полисахаридов, пектиновых веществ, гемицеллюлозы А и Б [14, 16].

Качественный состав полученных концентратов КОС определяли с помощью тонкослойной хроматографии (ТСХ) на пластинках SORBFIL размером 10×15 см с силикагелем СТХ-1А. Подвижная фаза – н-пропанол:этилацетат:дистиллированная вода в соотношении 6:1:3 объемных частей. После элюирования пластинки обрабатывали проявителем – 50 % водный раствор серной кислоты – и высушивали при температуре 120 ± 1 °С в течение 5 мин.

Количественное определение КОС проводили спектрофотометрическим методом. Для этого с пластинок SORBFIL, после определения качественного состава КОС, соскабливали соответствующие зонам анализируемых углеводов участки сорбента и переносили их в стеклянные пробирки с пробками, добавляя по 0,5 см³ анилинфталатного реагента в каждую пробу с последующим нагревом в течение часа при 110 °С в сушильном шкафу. Для приготовления анилинфталатного реагента в колбу на 100 см³ помещают 1,66 г о-фталевой кислоты и 0,91 см³ анилина, добавляют 48 см³ н-бутанола и 4 см³ дистиллированной воды, доводят до метки диэтиловым эфиром. Полученный раствор определяемых углеводов охлаждали до комнатной температуры. Тщательно перемешав, добавляли 4 см³ смеси концентрированной соляной кислоты и ацетона (в соотношение 1:25 объемных частей) и выдерживали 1 ч в темном месте при комнатной

температуре. Затем центрифугировали 15 мин при 8000 об/мин и фотометрировали при 520 нм. Концентрацию определяемых углеводов в пробе выявляли с помощью калибровочных графиков.

Моносахаридный состав полученных полисахаридов определяли гидролизом данных полисахаридов при температуре 100 °С раствором 1 моль/л серной кислоты. Продолжительность гидролиза зависела от фракции полисахарида: водорастворимые полисахариды – 6 ч, пектиновые вещества – 24 ч, гемицеллюлозы А и Б – 72 ч [17].

Качественный состав моносахаридов определяли методом ТСХ, используя подвижную фазу н-бутанол:пиридин:дистиллированная вода в соотношении 6:4:3 объемных частей. На соответствующие зонам исследуемых углеводов (участки сорбента, собранные с пластинок SORBFIL силикагелем СТХ-1А) наносили по 0,5 см³ анилинфталатного реагента и нагревали в сушильном шкафу до 110 °С, сравнивая красновато-коричневые пятна зоны исследуемых углеводов с аналитическими стандартами моносахаридов. Количественное содержание моносахаров проводилось после очистки с помощью тонкослойной хроматографии спектрофотометрически по методу, описанному выше [2].

Результаты и их обсуждение

Исследование концентратов БАВ и КОС. В основу разработки комплексной технологии переработки просяной лузги с применением гидролитических ферментов для обеспечения получения ряда функциональных ингредиентов легли результаты многочисленных экспериментальных исследований. Основным этапом реализации поставленной задачи было проведение исследований по оптимизации ключевых технологических параметров процесса ферментативной обработки лузги, разработка и обоснование комплекса операций по переработке вторичного зернового сырья, оптимизация параметров процесса ферментативного гидролиза просяной лузги. Биомодификация лузги или ферментативный гидролиз является основным технологическим процессом получения функциональных ингредиентов [17–20]. Данный метод экстракции основан на извлечении

Таблица 1. Физико-химический состав концентратов биологически активных веществ, полученных из продуктов ферментативного гидролиза просяной лузги

Table 1. Physicochemical composition of concentrates of biologically active substances obtained from the products of enzymatic hydrolysis of millet husk

Массовая доля влаги, %	Массовая доля белка в пересчете на сухое вещество, %	Массовая доля золы в пересчете на сухое вещество, %	Массовая доля углеводов		Массовая доля полифенолов в пересчете на сухое вещество, %
			КОС в пересчете на сухое вещество, %	Остаточные углеводы в пересчете на сухое вещество, %	
27,20	0,90	6,30	68,50	23,00	0,98

Таблица 2. Физико-химический состав концентрата пищевых волокон, полученных из продуктов ферментативного гидролиза просяной лузги, в пересчете на сухое вещество

Table 2. Physicochemical composition of dietary fiber concentrate obtained from the products of enzymatic hydrolysis of millet husk, dry matter

Наименование показателей, %	Результаты испытаний (измерений)
Массовая доля влаги	8,56
Белок	1,30
Зола	2,70
Крахмал	3,70
Пищевые волокна	89,40

биологически активных веществ с помощью избирательной активности ферментных препаратов совместно с воздействием температуры, гидромодуля, а также дисперсности сырья, качества гомогенизации и ультразвукового воздействия.

Полученные концентраты БАВ, помимо полифенолов, содержат белок – 0,90 %, углеводы – 91,50 %, в том числе КОС, обладающие пребиотическими свойствами, – 68,50 % и золу – 6,30 % (табл. 1).

Показано, что выход полифенолов составил 85,8 %. При этом УЗВ обработка улучшает общую кинетику выхода экстрагируемых полифенолов, находящихся в связанном состоянии, на начальном и конечном этапе экстракции, расходуя значительно меньше энергии, чем при классическом виде экстракции [2]. Неагрессивный вид метода проводимой экстракции, незначительное и непродолжительное воздействие слабых органических кислот и невысокой температуры во время проведения ферментативного гидролиза способствуют повышению антиоксидантной активности полученного полифенольного экстракта.

Полученный в ходе экстракции концентрат ПВ содержит более 85 % пищевых волокон и только 3 % крахмала. Это позволит использовать его в разработке технологий для диетического питания и специализированных продуктов при контроле массы тела (табл. 2).

Ксилоолигосахариды, полученные ферментативным методом экстракции, содержат олигосахариды различной степени полимеризации (от 2 до 10) и целый ряд сопутствующих соединений. Кроме этого, в реакционной среде содержатся моносахариды, уксусная кислота, кислоторастворимые фракции лигнина, фурфурол, продукты дегидратации, пентоз, растворимые неорганические компоненты сырья, белковые вещества и другие. Для получения пищевых КОС гидролизат должен быть максимально очищен от сопутствующих веществ. Экстракция органическими растворителями может удалить

Таблица 3. Физико-химический состав концентрата ксилоолигосахаридов в абсолютно сухом веществе

Table 3. Physicochemical composition of xylooligosaccharide concentrate, absolutely dry matter

Наименование показателей		Результаты испытаний, %
Массовая доля влаги		7,40
Массовая доля золы в пересчете на сухое вещество		4,26
Массовая доля сырого протеина в пересчете на сухое вещество		3,17
Углеводы (общие) в пересчете на сухое вещество	Ксилоолигосахариды	78,29
	Моносахариды	14,17
	Ксилоза	10,59
	Ксилобиоза	11,61
	Ксилотриоза	18,44
	Ксилотетроза	18,91
Ксилоолигосахаридный состав в пересчете на сухое вещество	Ксилонпентоза	14,98
	Высшие КОС	3,77
	Моносахаридный состав в пересчете на сухое вещество	2,35
	Арабиноза	8,25
	Глюкоза	3,56
	Другие моносахариды	

неуглеводные компоненты из раствора, а также фенольные соединения и другие экстрактивные вещества. Выход продукта и степень очистки зависят от вида применяемого растворителя: метанол, этанол, пропанол и др. В нашем случае очистка и фракционирование, а также разделение полифенолов и ксилоолигосахаридов из концентрата биологически активных веществ проводились посредством экстракции этиловым спиртом. Соотношение гидролизата концентрата БАВ к 70 % водному раствору этанола составило 1:3 объемных частей. Вследствие воздействия этанола на гидролизат происходит расслоение концентрата, соединения полифенолов растворяются и переходят в раствор этилового спирта, ксилоолигосахариды осаждаются. Центрифугирование полученного раствора в течение 25 мин при 5000 об/мин позволяет разделить фракции биологически активных веществ. Физико-химический состав концентрата КОС представлен в таблице 3.

Анализируя данные моносахаридного состава концентрата КОС, полученного методом ферментативной экстракции, по качественному и количественному составу экстрагированных моносахаридов, видно преобладание ксилозы и арабинозы с незначительным содержанием маннозы.

Анализ результатов фракционного состава концентрата КОС выявил присутствие ди-, три-, тетра- и пентаксилоолигосахаридов. Полученные данные

Таблица 4. Физико-химический состав концентрата полифенолов в пересчете на сухое вещество

Table 4. Physicochemical composition of polyphenol concentrate, dry matter

Наименование показателей, %	Результаты испытаний (измерений)
Протеин	0,6
Углеводы общие	10,7
Полифенолы	88,5

свидетельствуют о преобладании в концентратах КОС из просо ксилотриозы и ксилотетрозы – 15,83 и 16,23 % соответственно.

Из литературных данных известно, что углеводные олигомеры ксилана проявляют значительный пребиотический эффект среди прочих олигосахаридов [10, 12, 13]. Это делает их объектом интереса с точки зрения применения в качестве самостоятельного компонента для пищевых и фармацевтических продуктов. При регулировании процесса ферментализации и гидролиза гемицеллюлоз напрямую воздействует на процесс формирования фракционного состава КОС и обеспечение пребиотических свойств готовых концентратов.

Исследование концентрата ПФ. Концентраты ПФ из проса характеризуются незначительным содержанием белка – 0,6 %. Содержание углеводов доходит до 10,7 %, в них представлены моносахариды

Таблица 5. Фракционный состав концентрата ПФ из просяной лузги методом хроматографии на бумаге

Table 5. Fractional composition of polyphenol concentrate from millet husk by paper chromatography

Значение R _f	Окраска зон адсорбции в УФ области	Идентифицировано
0,53	Желтая	Рутин
0,62	Голубая	Хлорогеновая кислота
0,58	Голубая	Феруловая кислота
0,33	Фиолетовая	Галловая кислота

глюкозы и незначительное количество арабинозы. Данные показывают, что содержание полифенолов находится в пределах 88,5 %. Это связано с селективностью метода экстракции (табл. 4).

Фракционный состав концентрата ПФ определяли с помощью бумажной хроматографии и ТСХ. В качестве градуировочных растворов сравнения использовали растворы рутина, галловой, хлорогеновой и феруловой кислот в 70 % растворе этилового спирта. Зоны адсорбции оксикоричных кислот детектировали при 364 нм с помощью люминескопа «Филин». Результаты хроматографического анализа полифенольных соединений концентрата полифенолов, полученного из просяной лузги, представлены в таблице 5.

В результате проведенных исследований концентрата ПФ, полученного из просяной лузги, идентифицированы рутин, хлорогеновая, галловая и феруловая кислоты, а также не идентифицированные пятна. Метод хроматографии на бумаге, как и метод ТСХ, не позволяет обнаружить все соединения, содержащиеся в анализируемом концентрате полифенолов. Поэтому для количественного определения массовой доли экстрагированных оксикоричных кислот, содержащихся в просяной лузге, использовался метод ВЭЖХ (табл. 6).

Анализ ВЭЖХ экстрактов модельных образцов ферментализатов просяной лузги (рис. 1) показал, что фенольные профили отличались от тех, которые ранее наблюдались в растворимой и связанной фракциях сырого зерна проса (рис. 2). В процессе ферментативного гидролиза произошло значительное изменение фракционного состава извлекаемых оксикоричных кислот, составляющих полифенольные соединения просяной лузги. Данное изменение связано с особенностью протекания процессов при ферментативном гидролизе сырья, высвобождением за счет разрушения эфирных связей олигомеров молекул оксикоричных кислот и неполным извлечением только свободных полифенолов при экстрагировании сырья раствором метанола. В концентрате полифенолов выход феруловой кислоты увеличился на 19 %, выход галловой кислоты – на 2,5 %. Однако произошло уменьшение выхода хлорогеновой кислоты на 13 %.

Из литературных данных известно, что полифенольные соединения, в состав которых входят

Таблица 6. Массовая доля экстрагированных оксикоричных кислот методом ВЭЖХ

Table 6. Mass fraction of extracted oxycinnamic acids by HPLC

Наименование объекта	Всего оксикоричных кислот	Феруловая кислота, %	Галловая кислота, %	Хлорогеновая кислота, %
Лузга проса сорта «Саратовское желтое»	0,61	0,12	0,02	0,20
Концентрат БАВ	0,98	0,38	0,06	0,19
Концентрат ПФ	88,5	33,47	5,52	17,18

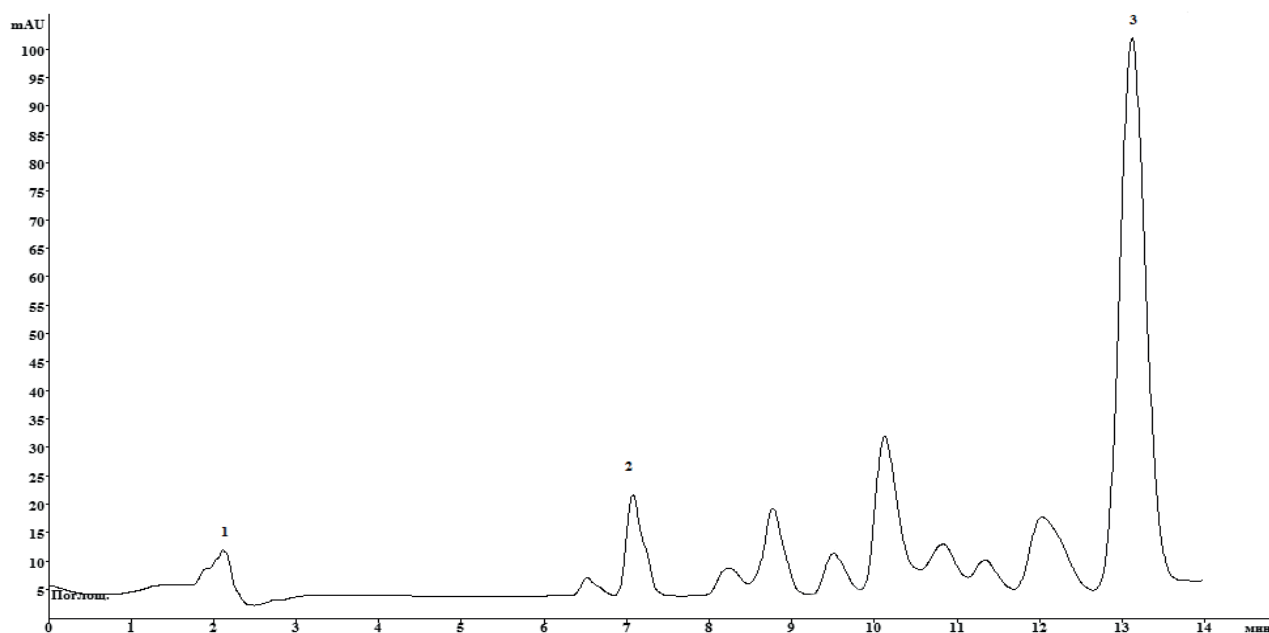


Рисунок 1. Хроматограмма концентрата полифенолов, полученного из продуктов ферментативного гидролиза просяной лузги: 1 – галловая кислота; 2 – хлорогеновая кислота; 3 – феруловая кислота

Figure 1. Chromatogram of polyphenol concentrate obtained from the products of enzymatic hydrolysis of millet husk:
1 – gallic acid; 2 – chlorogenic acid; 3 – ferulic acid

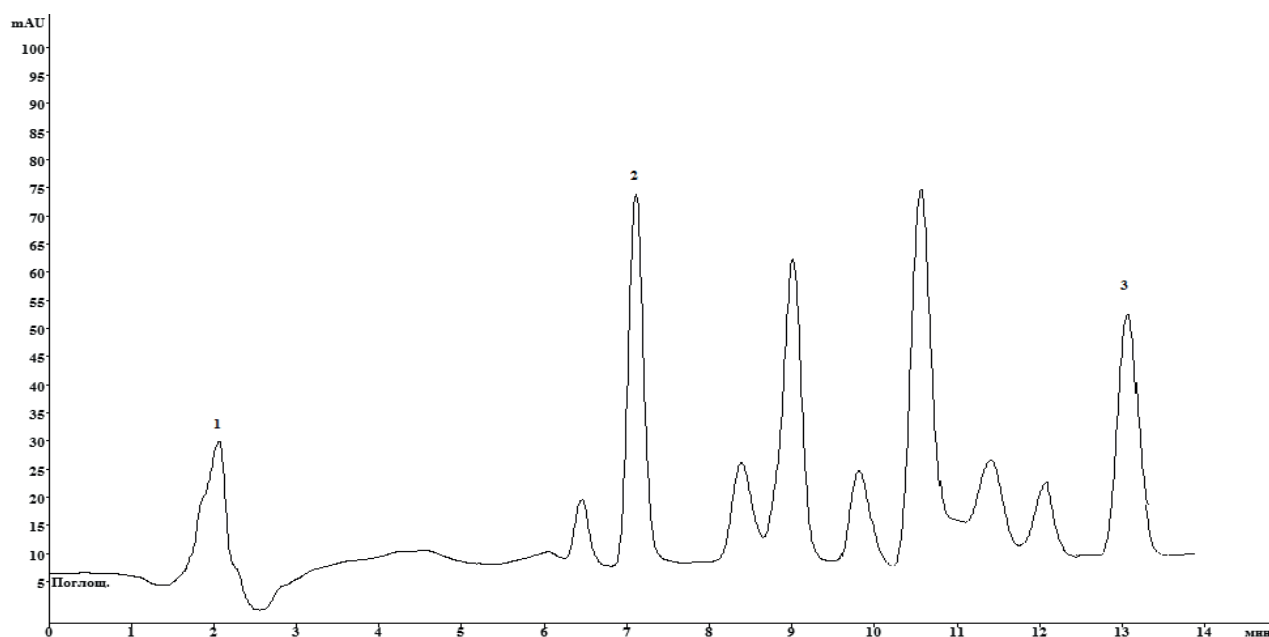


Рисунок 2. Хроматограмма пробы лузги проса сорта «Саратовское желтое»: 1 – галловая кислота; 2 – хлорогеновая кислота; 3 – феруловая кислота

Figure 2. Chromatogram of a sample of millet husk of the Saratovskoe Zheltloe variety: 1 – gallic acid; 2 – chlorogenic acid;
3 – ferulic acid

производные гидроксибензойной и гидрохикоричной кислот, проявляют антиоксидантную (анти радикальную) активность (АОА или АРА) и

способность связывать свободные радикалы. АОА полифенольных соединений, полученных из просяной лузги, исследовали методом,

Таблица 7. Антиоксидантная активность концентрата полифенолов, полученного из продуктов ферментативного гидролиза просяной лузги

Table 7. Antioxidant activity of polyphenol concentrate obtained from the products of enzymatic hydrolysis of millet husk

Массовая доля концентрата ПФ, мкг/см ³	Антиоксидантная активность концентрата ПФ по радикалу DPPH, %	Антиоксидантная активность метанольного экстракта просяной лузги, по радикалу DPPH, %
600	74,0	62,6
400	49,8	41,9
200	24,5	20,2
100	12,4	10,4

основанном на реакции антиоксиданта с DPPH, являющийся стабильным свободным радикалом. В ходе данной реакции происходит превращение DPPH в α - α -дифенил- β -пикрилгидразин [19]. Степень обесцвечивания указывает на потенциал нейтрализации антиоксиданта. Данные результаты представлены в таблице 7.

Активность полифенольного концентрата по улавливанию свободных радикалов варьировалась в зависимости от концентрации вносимых в реакционную среду полифенолов – 100, 200, 400 и 600 мкг/см³. Наибольшая активность была получена при самой высокой добавляемой концентрации – 600 мкг/см³. Незначительное снижение активности в метанольном экстракте из неферментированной сырой просяной лузги при аналогичном количестве внесения связано с неполным извлечением связанных оксикоричных кислот (данные таблицы 7 подтверждают данный факт). Антиоксидантная активность, которая составляла 24,5 % для концентрата ПФ и 20,2 % для необработанного сырья при внесении 200 мкг/см³, увеличилась до 74,0 и 62,6 % соответственно при увеличении концентрации до 600 мкг/см³.

Выводы

В данной работе проведено исследование физико-химических свойств БАВ из лузги просо сорта «Саратовское желтое» урожая 2020 г., полученного от УНПО «Поволжье», концентратов КОС и полифенолов. Получен углеводно-белковый концентрат, установлен его фракционный состав и дана его характеристика. Получен концентрат БАВ из проса на основе ксилоолигосахаридов и полифенольных веществ. Проведен анализ по ряду физико-химических показателей для установления его компонентного состава, дана его характеристика. Определен оптимальный режим экстракции компонентов полифенолов и КОС этиловым спиртом, концентрат к этанолу 1:3, выход полифенолов – более 85 % от общего содержания в овсе, выход КОС до 70 % по отношению к общему содержанию гемицеллюлоз. В соответствии с разработанной технологией для получения 100 г

концентрата полифенолов необходимо около 30 кг сырья – просяной лузги. Для получения 100 г концентрата ксилоолигосахаридов требуется около 0,6 кг просяной лузги.

Изучены физико-химические и биологические свойства полученных концентратов КОС и полифенольных веществ. Концентрат полифенолов представлен феруловой кислотой – до 33,47 % в концентрате БАВ в пересчете на сухое вещество, АОА – до 74,0 %. Концентрат КОС состоит из обладающих пребиотическими свойствами фрагментов КОС – до 78,29 % в пересчете на сухое вещество. Установлено, что отходы после ферментативной и гидролитической обработки проса представляют собой концентрат пищевых волокон, который может быть применен как самостоятельный продукт.

В результате проведенной работы была продемонстрирована потенциальная значимость практического применения продуктов переработки просяной лузги в качестве источника биологически активных веществ, таких как полифенольные соединения, обладающие антиоксидантной активностью (концентрат ПФ), и полисахариды (концентрат БАВ), обладающие пребиотическими свойствами, при разработке функциональных пищевых продуктов.

Критерии авторства

Д. Р. Зяйнитдинов – получение экспериментальных данных, обработка данных, написание и подготовка рукописи. А. В. Евтеев – получение экспериментальных данных, методология, программное обеспечение, валидация. А. В. Банникова – руководство, написание, рецензирование и редактирование.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

D.R. Zyaynitdinov obtained experimental and processing data and wrote the manuscript. A.V. Ewteev conducted the experiments, developed the methodology,

performed the software analysis, and validated the obtained data. A.V. Bannikova supervised the research and wrote and proofread the manuscript.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Plant-derived prebiotics and its health benefits / A. S. Althubiani [et al.] // New look to phytomedicine: Advancements in herbal products as novel drug leads / editors M. S. A. Khan, I. Ahmad, D. Chattopadhyay. Academic Press, 2019. P. 63–88. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814619-4.00004-5>.
2. Разработка технологии получения фитовеществ из вторичных продуктов переработки зерна / А. В. Битюкова [и др.] // *Техника и технология пищевых производств*. 2019. Т. 49. № 1. С. 5–13. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-5-13>.
3. Verma D. K., Thakur M. Phytochemicals in food and health: Perspectives for research and technological development. CRC Press, 2021. 318 p.
4. Development of gluten-free cereal bar for gluten intolerant population by using quinoa as major ingredient / R. Kaur [et al.] // *Journal of Food Science and Technology*. 2018. Vol. 55. № 9. P. 3584–3591. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3284-x>.
5. Liu Y., Sun Y., Huang G. Preparation and antioxidant activities of important traditional plant polysaccharides // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018. Vol. 111. P. 780–786. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.086>.
6. Towards better understanding of the interactions and efficient application of plant beneficial prebiotics, probiotics, postbiotics and synbiotics / M. Vassileva [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01068>.
7. Advances on bioactive polysaccharides from medicinal plants / J.-H. Xie [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2016. Vol. 56. P. S60–S84. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1069255>.
8. Structure-antioxidant activity relationship of methoxy, phenolic hydroxyl, and carboxylic acid groups of phenolic acids / J. Chen [et al.] // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. № 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59451-z>.
9. Kaprelyants L., Zhurlova O. Technology of wheat and rye bran biotransformation into functional ingredients // *International Food Research Journal*. 2017. Vol. 24. № 5. P. 1975–1979.
10. Production of fiber hydrolysate from bamboo shoot with antioxidative properties by enzymatic hydrolysis / S. Karnjanapratum [et al.] // *Current Applied Science and Technology*. 2019. Vol. 19. № 3. P. 225–234.
11. Structural study of a pectic polysaccharide fraction isolated from “mountain tea” (*Sideritis scardica* Griseb.) / M. Ognyanova [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. 2021. Vol. 260. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117798>.
12. Pigman W. The carbohydrates: Chemistry and biochemistry. Elsevier, 2012. 452 p.
13. Singh R. D., Banerjee J., Arora A. Prebiotic potential of oligosaccharides: A focus on xylan derived oligosaccharides // *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2015. Vol. 5. № 1. P. 19–30. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2014.11.003>.
14. Vermerris W., Nicholson R. Phenolic compound biochemistry. Springer Netherlands, 2006. 276 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5164-7>.
15. Оценка возможности получения концентратов полифенолов из вторичных продуктов переработки зерна / А. В. Битюкова [и др.] // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2019. Т. 56. № 3. С. 61–68.
16. Tringali C. Bioactive compounds from natural sources: Isolation, characterization and biological properties. CRC Press, 2000. 693 p.
17. Technologies for enhancement of bioactive components and potential health benefits of cereal and cereal-based foods: Research advances and application challenges / A. S. M. Saleh [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019. Vol. 59. № 2. P. 207–227. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1363711>.
18. Postbiotics as novel health-promoting ingredients in functional foods / A. H. Rad [et al.] // *Health Promotion Perspectives*. 2020. Vol. 10. № 1. P. 3–4. <https://doi.org/10.15171/hpp.2020.02>.
19. de Carli C., Moraes-Lovison M., Pinho S. C. Production, physicochemical stability of quercetin-loaded nanoemulsions and evaluation of antioxidant activity in spreadable chicken pâtés // *LWT*. 2018. Vol. 98. P. 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.037>.
20. Improvement of nutrient bioavailability in millets: Emphasis on the application of enzymes / S. A. Tharifkhan [et al.] // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11228>.

References

1. Althubiani AS, Al-Ghamdi SB, Samreenc, Qais FA, Khan MS, Ahmad I, et al. Plant-derived prebiotics and its health benefits. In: Khan MSA, Ahmad I, Chattopadhyay D, editors. New look to phytomedicine: Advancements in herbal products as novel drug leads. Academic Press; 2019. pp. 63–88. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814619-4.00004-5>.

2. Bityukova AV, Amelkina AA, Evteev AV, Bannikova AV. New biotechnology for the production of phytochemicals from secondary products of grain processing. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(1):5–13. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-5-13>.
3. Verma DK, Thakur M. Phytochemicals in food and health: Perspectives for research and technological development. CRC Press; 2021. 318 p.
4. Kaur R, Ahluwalia P, Sachdev PA, Kaur A. Development of gluten-free cereal bar for gluten intolerant population by using quinoa as major ingredient. Journal of Food Science and Technology. 2018;55(9):3584–3591. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3284-x>.
5. Liu Y, Sun Y, Huang G. Preparation and antioxidant activities of important traditional plant polysaccharides. International Journal of Biological Macromolecules. 2018;111:780–786. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.086>.
6. Vassileva M, Flor-Peregrin E, Malusa E, Vassilev N. Towards better understanding of the interactions and efficient application of plant beneficial prebiotics, probiotics, postbiotics and synbiotics. Frontiers in Plant Science. 2020;11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01068>.
7. Xie J-H, Jin M-L, Morris GA, Zha X-Q, Chen H-Q, Yi Y, et al. Advances on bioactive polysaccharides from medicinal plants. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2016;56:S60–S84. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1069255>.
8. Chen J, Yang J, Ma L, Li J, Shahzad N, Kim CK. Structure-antioxidant activity relationship of methoxy, phenolic hydroxyl, and carboxylic acid groups of phenolic acids. Scientific Reports. 2020;10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59451-z>.
9. Kaprelyants L, Zhurlova O. Technology of wheat and rye bran biotransformation into functional ingredients. International Food Research Journal. 2017;24(5):1975–1979.
10. Karnjanapratum S, Kaewthong P, Takeungwongtrakul S, Sae-Leaw T, Hong JH, Nalinanon S. Production of fiber hydrolysate from bamboo shoot with antioxidative properties by enzymatic hydrolysis. Current Applied Science and Technology. 2019;19(3):225–234.
11. Ognyanova M, Remoroza CA, Schols HA, Petkova NT, Georgiev YN. Structural study of a pectic polysaccharide fraction isolated from “mountain tea” (*Sideritis scardica* Griseb.). Carbohydrate Polymers. 2021;260. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117798>.
12. Pigman W. The carbohydrates: Chemistry and biochemistry. Elsevier; 2012. 452 p.
13. Singh RD, Banerjee J, Arora A. Prebiotic potential of oligosaccharides: A focus on xylan derived oligosaccharides. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre. 2015;5(1):19–30. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2014.11.003>.
14. Vermerris W, Nicholson R. Phenolic compound biochemistry. Springer Netherlands; 2006. 276 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5164-7>.
15. Bityukova AV, Amelkina AA, Evteev AV, Bannikova AV. Evaluation of opportunity to obtain polyphenol concentrates from secondary products of grain processing. Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff. 2019;56(3):61–68. (In Russ.).
16. Tringali C. Bioactive compounds from natural sources: Isolation, characterization and biological properties. CRC Press; 2000. 693 p.
17. Saleh ASM, Wang P, Wang N, Yang S, Xiao Z. Technologies for enhancement of bioactive components and potential health benefits of cereal and cereal-based foods: Research advances and application challenges. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2019;59(2):207–227. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1363711>.
18. Rad AH, Maleki LA, Kafil HS, Zavoshti HF, Abbasi A. Postbiotics as novel health-promoting ingredients in functional foods. Health Promotion Perspectives. 2020;10(1):3–4. <https://doi.org/10.15171/hpp.2020.02>.
19. de Carli C, Moraes-Lovison M, Pinho SC. Production, physicochemical stability of quercetin-loaded nanoemulsions and evaluation of antioxidant activity in spreadable chicken pâtés. LWT. 2018;98:154–161. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.037>.
20. Tharifikhan SA, Perumal AB, Elumalai A, Moses JA, Anandharamakrishnan C. Improvement of nutrient bioavailability in millets: Emphasis on the application of enzymes. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2021. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11228>.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-549-563>
УДК 336.7

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Оценка биржевых вариантов привлечения внешнего финансирования субъектами малого и среднего предпринимательства



Е. Н. Старченко*^{ORCID}, Д. Г. Вержицкий^{ORCID}

Кемеровский государственный университет^{ROR}, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 15.04.2021

Принята после рецензирования: 10.05.2021

Принята в печать: 15.07.2021



*e-mail: starchenko-elena@yandex.ru

© Е. Н. Старченко, Д. Г. Вержицкий, 2021

Аннотация.

Введение. Выбор и обоснование вариантов привлечения инвестиций актуальны для развития любой организации. Цель работы – оценка возможности, привлекательности и обоснованности привлечения финансовых ресурсов субъектами малого и среднего предпринимательства в пищевой и перерабатывающей промышленности с использованием биржевых вариантов привлечения инвестиций.

Объекты и методы исследования. Субъекты малого и среднего предпринимательства пищевой и перерабатывающей промышленности. В качестве предмета исследования рассматриваются биржевые варианты привлечения внешнего финансирования указанными субъектами. В работе использованы общие положения системного и ситуационного, структурно-функционального и процессного подходов, методы сравнительного и факторного анализа, группировки, а также методы социологических исследований.

Результаты и их обсуждение. Представлен ряд этапов аналитической работы в отношении способов привлечения внешнего финансирования субъектами малого и среднего предпринимательства. Выполнен анализ и классификация способов привлечения внешних инвестиций, а также определены особенности биржевых вариантов привлечения финансирования. Проведено исследование существующей биржевой инфраструктуры для рассматриваемых субъектов и дана оценка их потенциала для эмиссии ценных бумаг. В работе приведено обоснование целесообразности эмиссии биржевых облигаций в сравнении с иными долговыми инструментами привлечения внешнего финансирования. На примере конкретных предприятий проведена оценка ликвидности биржевых облигаций субъектов малого и среднего предпринимательства в пищевой и перерабатывающей промышленности по ряду показателей доходности и ликвидности ценных бумаг.

Выводы. Созданная биржевая инфраструктура, меры государственного стимулирования, а также имеющийся потенциал исследуемого сектора с точки зрения показателей среднего уровня рентабельности по EBIT и среднего темпа прироста выручки позволяют в полной мере использовать биржевые варианты финансирования деятельности субъектов малого и среднего бизнеса.

Ключевые слова. Заемный капитал, эмиссия ценных бумаг, биржевая облигация, банковский кредит, ликвидность, бизнес

Для цитирования: Старченко Е. Н., Вержицкий Д. Г. Оценка биржевых вариантов привлечения внешнего финансирования субъектами малого и среднего предпринимательства // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 549–563. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-549-563>.

Original article

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

Assessment of Exchange Options for Attracting External Financing by Small and Medium Businesses

Elena N. Starchenko*^{ORCID}, Danil G. Verzhitskii^{ORCID}

Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

Received: April 15, 2021

Accepted in revised form: May 10, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021



Abstract.

Introduction. The choice and justification of options for attracting investments are relevant for the development of any organization. The research objective was to assess exchange-traded options for attracting investment by small and medium businesses in the food and processing industry.

Study objects and methods. The research featured small and medium businesses in the food and processing industry and their exchange options for attracting external financing. The study was based on system, situational, structural-functional, and process approaches, as well as methods of comparative and factor analysis, grouping, and sociological research techniques.

Results and discussion. The authors described, analyzed, and classified ways to attract external financing by small and medium businesses. Exchange-traded options proved to be associated with the circulation of securities that differ in liquidity, direct access to the owners of funds, and access to a potentially unlimited amount of investment capital. The authors analyzed the existing exchange infrastructure for the businesses under consideration and assessed their potential for issuing securities. Based on such indicators as Average EBIT Margin and Compound Annual Growth Rate (CAGR), small and medium food-related enterprises can issue securities, especially exchange-traded bonds. Exchange-traded bonds demonstrated a number of serious disadvantages, compared to a traditional bank loan. However, issuers of securities receive guaranteed advantages, e.g. more flexible conditions for raising funds on the exchange, the right to state subsidies for the payment of coupon income, partial compensation for the costs of placing securities, the absence of collateral, a wide range of private investors, etc. Using some real cases, the authors evaluated the liquidity of exchange-traded bonds of small and medium businesses in the food and processing industry according to a number of indicators of profitability and liquidity of securities.

Conclusion. Exchange options can be used to finance small and medium food-related businesses, based on the established exchange infrastructure, government incentives, potential of the food sector, average EBIT profitability, and revenue growth.

Keywords. Debt capital, securities issue, exchange-traded bond, bank loan, liquidity, business

For citation: Starchenko EN, Verzhitskii DG. Assessment of Exchange Options for Attracting External Financing by Small and Medium Businesses. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):549–563. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-549-563>.

Введение

Пищевая и перерабатывающая промышленность является системообразующей сферой экономики страны, формирующей агропродовольственный рынок, продовольственную и экономическую безопасность, и сохраняет лидирующее положение в структуре промышленного производства России. Разработка программ развития пищевой и перерабатывающей промышленности становится неотъемлемым элементом управления в регионах и муниципальных образованиях. Особую актуальность данный вопрос приобретает для моногородов [1].

Главная цель, стоящая перед пищевой и перерабатывающей промышленностью, заключается в обеспечении гарантированного и устойчивого снабжения населения страны безопасным и качественным продовольствием. Данная трактовка, приведенная в Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 г. (далее – Стратегия), является устанавливающей для дальнейшего функционирования отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности. В 2020 г. Министерством сельского хозяйства Российской Федерации разработан проект Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2030 г. Однако она все еще не принята.

Оба указанных документа одним из основных приоритетов ставят проведение технического перевооружения организаций сферы, указывая на факт морального и физического износа технологического оборудования, а также на недостаток производственных мощностей. Учитывая возможные виды рисков, а именно агроклиматические и экологические; макроэкономические риски на уровне страны (политические, социальные, внешнеторговые, конъюнктурные); социальные; технологические и институциональные риски, особое место разработчики стратегий уделяют возможности возникновения микрорисков на уровне отдельных производителей. Проблема управления рисками, в том числе кредитным, который занимает ключевую позицию в системе рисков, изучена многими авторами [2].

Микрориски на уровне отдельных производителей связаны с невозможностью проведения обновления материально-технической базы для модернизации производства по причине отсутствия необходимых собственных финансовых средств. Предприятия пищевой и перерабатывающей промышленности характеризуются невысоким уровнем рентабельности. В 2019 г. доля предприятий с рентабельностью до 8 % (по группе отраслей сельское, лесное, рыбное хозяйство) составила порядка 55 %, рентабельность более 20 % имеют порядка 25 % предприятий.

При этом доля убыточных предприятий, а также предприятий с нулевой рентабельностью составляет четверть от общего количества [3]. В существующих условиях снизить микрориски можно за счет расширения мер государственной поддержки, создания благоприятного инвестиционного климата и обеспечения доступности заемного финансирования. Стоит отметить, что в качестве основного финансового ресурса, способного обеспечить реализацию мероприятий по развитию рассматриваемой сферы, выступают средства частных инвесторов и заемные средства кредитных организаций. Актуальным в данном ракурсе является разработка форм партнерства с частными инвесторами и выгодных как для предприятия, так и для инвестора инвестиционных процессов.

Еще одной характерной чертой предприятий рассматриваемой сферы является их размер (в соответствии с классификацией: крупные, средние, малые, микропредприятия), а именно то, что большая их часть (более 80 %) относится к категории микропредприятий. Малые и средние предприятия занимают долю 10–15 % [3]. Величина предприятия, как и размер его рентабельности, являются существенными факторами, определяющими шансы субъекта на привлечение внешнего финансирования.

Целью проводимого исследования является оценка возможности, привлекательности и обоснованности привлечения финансовых ресурсов субъектами малого и среднего предпринимательства в пищевой и перерабатывающей промышленности с использованием биржевых вариантов.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступают субъекты малого и среднего предпринимательства пищевой и перерабатывающей промышленности. В качестве предмета исследования рассматриваются биржевые варианты привлечения внешнего финансирования указанными субъектами.

В ходе исследования использовались труды отечественных и зарубежных ученых и специалистов, российское законодательство и другие официальные материалы. Решение поставленных задач осуществлялось на основе общих положений системного и ситуационного, структурно-функционального и процессного подходов с использованием методов сравнительного и факторного анализа, метода группировки, а также методов социологических исследований.

Информационной базой исследования являются нормативные правовые акты, материалы государственной статистики, ресурсы международной информационной группы СПАРК-Интерфакс, методическая, научная, учебная и справочная литература.

Результаты и их обсуждение

Предпосылками актуальности темы исследования выступают государственные меры по смягчению денежно-кредитной политики, а также меры, предусматриваемые государством для поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства, в том числе по отраслям.

В качестве инструмента денежно-кредитной политики рассматриваем последовательное снижение ключевой ставки Банка России с максимального значения 17 %, установленного в декабре 2014 г., до минимального значения 4,25 %, установленного в августе 2020 г. Данное уменьшение ставки имело решающее значение для массового притока денежных средств физических лиц на биржевой рынок. Граждане сделали выбор в пользу инвестирования в высокодоходные (и высокорисковые) ценные бумаги против размещения средств на низкодходных депозитах банков. Кроме этого, значимым фактором в развитии биржевого рынка выступили инициатива и поддержка государства, которые выразились в создании соответствующей инфраструктуры для участников рынка, а также в разработке мер стимулирования и поддержки для обеих сторон.

Основными этапами исследования являются:

- исследование способов привлечения внешних инвестиций субъектами малого и среднего предпринимательства. Определение особенностей биржевых вариантов привлечения;
- исследование биржевой инфраструктуры для субъектов малого и среднего предпринимательства;
- оценка потенциала субъектов малого и среднего предпринимательства в пищевой и перерабатывающей промышленности для эмиссии ценных бумаг;
- обоснование эмиссии биржевых облигаций перед другими долговыми инструментами (классическим банковским кредитом);
- оценка ликвидности биржевых облигаций субъектов малого и среднего предпринимательства в пищевой и перерабатывающей промышленности на примере ООО «Сибирский комбинат хлебопродуктов», АО «Новосибирскхлебопродукт», АО «РЕГИОН-ПРОДУКТ».

Указанными положениями обуславливается логика исследования с учетом ее целевой направленности.

Варианты источников финансирования субъектов малого и среднего предпринимательства можно разделить по признаку принадлежности к указанным субъектам на внутренние и внешние. Внутренние источники финансирования включают в себя, во-первых, собственные средства организации (нераспределенную прибыль, амортизационные отчисления, страховые суммы в виде возмещения потерь от аварий, стихийных бедствий и др.). Во-вторых, капитал собственников. В-третьих, денежные накопления и сбережения граждан и юридических лиц, переданные на безвозмездной и безвозвратной

Таблица 1. Способы привлечения внешних инвестиций

Table 1. Way of attracting external funds

Критерий – Срок привлечения инвестиций			
Краткосрочный (до 3 лет)		Среднесрочный (от 3 года до 5 лет)	
Долгосрочный (более 5 лет)			
Критерий – Страновая принадлежность инвесторов			
Внешние (иностранцы)		Внутренние	
Критерий – Форма собственности			
Государственные инвестиции (федеральные, региональные)		Муниципальные инвестиции	Частные инвестиции
Критерий – Форма финансирования			
Бюджетное финансирование	Акционерное финансирование	Инвестиционное кредитование	Проектное кредитование
Критерий – По объекту вложения ресурсов			
Материальные (реальные) инвестиции		Финансовые инвестиции	Интеллектуальные инвестиции
Критерий – Механизм привлечения			
Прямой		Косвенный	
– Долговые инструменты		– Гарантии по кредитам	
– Квзидолговые инструменты		– Поручительство/гарантии по выпускам ценных бумаг	
– Акционерный капитал		– Компенсации процентов	
– Субсидии, дотации, гранты		– Сниженные требования листинга по free-float и др.	
Критерий – «Долг или доля»			
Долговые инструменты		Квзидолговые инструменты	Акционерный капитал
– Кредиты		– Конвертируемые облигации	– Частное размещение акций (Private Placement)
– Векселя		– Производные ценные бумаги	– Стратегический инвестор
– Рублевые облигации			– Первичное публичное размещение акций (IPO)
– Лизинг			
Критерий – Наличие контроля (применительно к акционерному капиталу)			
Стратегические (прямые) инвестиции		Финансовые (портфельные) инвестиции	
Критерий – Инвестирующий субъект			
Нефинансовые компании	Государство	Профессиональные игроки финансового рынка	Частные инвесторы
Критерий – Вид ценных бумаг			
Акции	Облигации	Векселя	Производные ценные бумаги
Критерий – Биржевая принадлежность (применительно к ценным бумагам)			
Биржевой		Внебиржевой	
– площадка Московской биржи		– Организованный (например, MOEX Board Московской биржи)	
ПАО «Московская Биржа ММВБ-РТС»)		– Неорганизованный	
		– Краудинвстинг	
Критерий – Степень обеспеченности			
Обеспеченные		Необеспеченные	

основе (благотворительные взносы, пожертвования и т. п.) [4, 5]. Классификация внешних источников финансирования по различным критериям приведена в таблице 1.

Выбор и обоснование вариантов привлечения инвестиций актуальны для развития организации [6]. Выявление факторов, которые способствуют решению компании российского рынка выйти на публичный рынок долга, достойно пристального внимания исследователей [7, 8]. Биржевые варианты привлечения внешнего финансирования связаны с обращением ценных бумаг. В первую очередь акций и облигаций, имеющих соответствующие, отличные

от других инструментов привлечения финансовых ресурсов, положительные параметры. Среди них: – ликвидность ценных бумаг. Чем выше ликвидность финансового инструмента, являющегося объектом инвестиций, тем меньше риск вложения и тем меньшую компенсацию требует инвестор в качестве принятия на себя этого риска. Соответственно, это снижает затратность данных инструментов для эмитента; – многообразие параметров ценных бумаг. Большое количество параметров ценных бумаг (например, для облигаций – способ размещения, номинал, срок обращения, объем эмиссии, вид и размер купона,

Таблица 2. Критерии включения эмитентов в Сектор Роста

Table 2. Criteria for the inclusion of issuers in the Growth Sector

Показатель	Значение
Срок существования эмитента	Не менее 3 лет
Объем выручки	Не менее 120 млн руб. Не более 10 млрд руб. (для эмитентов облигаций) Не более 25 млрд руб. (для эмитентов акций)
Объем выпуска (для эмитентов облигаций)	Не менее 50 млн руб.
Наличие рейтинга или поддержки от институтов развития (для эмитентов облигаций)	Поручительство от Корпорации МСП, «якорные» инвестиции от МСП Банка
Соответствие критериям отнесения субъекта к МСП	+
Динамика финансовых показателей	Рост
Сфера деятельности	Промышленность
Рынок сбыта продукции	Экспортный
Поддержка	Корпорация МСП, МСП Банк, ФРП, РЭЦ, РФПИ

периодичность выплат) позволяет решать проблемы с обоюдно выгодой путем создания инструмента, удовлетворяющего потребности обеих сторон сделки; – прямой выход на владельцев денежных средств. Привлечение дополнительного капитала с помощью ценных бумаг происходит на фондовом рынке, где поставщиками долгосрочного инвестиционного капитала выступают владельцы этих финансовых ресурсов. Отсутствие посредников между инвестором и заемщиками позволяет снизить стоимость привлечения и обслуживания полученных финансовых ресурсов; – доступ к потенциально неограниченному объему инвестиционного капитала.

Однако, кроме очевидных преимуществ, биржевые варианты привлечения внешнего финансирования связаны с определенными ограничениями для их применения различными субъектами. Указанные ограничения связаны с существованием листинга ценных бумаг, который осуществляется путем их включения в Список ценных бумаг, допущенных к торгам ПАО Московская Биржа. Бумаги, включенные в указанный Список, распределяются на три уровня (первый, второй, третий) в соответствии с требованиями, представленными в Правилах листинга ПАО Московская Биржа [9].

В 2017 г. для публичного обращения ценных бумаг компаний малого и среднего бизнеса Московская биржа создала новый биржевой сегмент – «Сектор Роста». Данный проект реализуется Московской биржей при поддержке Фонда развития промышленности (ФРП), Российского фонда прямых инвестиций (РФПИ), Федеральной корпорацией по развитию малого и среднего предпринимательства (Корпорацией МСП) и Российского экспортного центра (РЭЦ). Целью функционирования Сектора Роста является содействие реализации государственной политики в области поддержки

малого и среднего предпринимательства России, развитию инфраструктуры малого и среднего предпринимательства через обеспечение доступа к рынку капитала. Компании малой и средней капитализации получают возможность привлечения инвестиций для реализации стратегических целей, стоящих перед ними. Основными инструментами могут быть: облигации, облигации без проспекта ценных бумаг, биржевые облигации, облигации в рамках секьюритизации кредитов МСП; акции (обыкновенные и привилегированные); паи ЗПИФов, инвестирующих в МСП.

Эмитенты, ценные бумаги которых могут быть включены в Сектор Роста, должны соответствовать определенным критериям (табл. 2) [9].

Организации, включенные в Сектор Роста, могут рассчитывать на ряд преимуществ [9]:

- меры господдержки эмитентов: субсидии и компенсации эмитентам МСП предусмотрены Постановлением Правительства № 2374 от 30 декабря 2020 г.;
- поддержка со стороны институтов развития: поручительство/гарантии по облигационным выпускам от Корпорации МСП, участие МСП-Банка в размещении облигаций эмитентов МСП;
- сниженные требования листинга по free-float для акций II-го уровня – 500 млн руб. (вместо 1 млрд руб.) для обыкновенных акций и 250 млн руб. (вместо 500 млн руб.) для привилегированных.

По состоянию на март 2021 г. в Сектор Роста включено 40 организаций, которые можно распределить на сферы деятельности, представленные на рисунке 1. Распределение эмитентов указанного Сектора по видам ценных бумаг отражено на рисунке 2.

Компании агропромышленного сектора и пищевой промышленности занимают около 17 % от общего числа организаций, включенных в Сектор. Все из



Рисунок 1. Распределение эмитентов, включенных в Сектор Роста Московской биржи, по сферам деятельности

Figure 1. Issuers included in the Growth Sector of the Moscow Exchange: areas of activity

них являются эмитентами биржевых облигаций.

На сегодняшний день эмиссию ценных бумаг в виде биржевых облигаций можно назвать доминирующей среди предприятий, включенных в Сектор Роста Московской биржи.

В настоящее время в России действует значительное количество субъектов малого и среднего бизнеса, которые могут являться эмитентами ценных бумаг. Данный тезис подтверждается исследованием российского рынка потенциальных эмитентов акций и облигаций, проведенным в 2019 г. Международной информационной группой Интерфакс [3]. Выборка компаний осуществлялась из базы данных СПАРК с использованием методики, включающей несколько этапов с определенным набором критериев:

1. Базовый этап (критерии, определенные в техническом задании):

- срок существования компании: не менее 3 лет;
- минимальное значение по выручке компании по итогам года: не менее 120 млн руб.;
- компании должны входить в реестр МСП (<https://rmsp.nalog.ru/>);
- средний темп прироста выручки (CAGR) за последние три года: не менее 10 %;
- долговая нагрузка: чистый долг/ЕВИТ < 3;
- отсутствие признаков банкротства и низкие уровни риска по СПАРК (компания имеет Индекс финансового риска, Индекс должной осмотрительности, Индекс платежной дисциплины СПАРК-Интерфакс в диапазоне «средний» или «низкий»);
- компания не находится в состоянии ликвидации или реорганизации;
- компания не имеет задолженности по уплате налогов;
- компания не является дочерним предприятием крупных холдингов и госкомпаний;



Рисунок 2. Распределение эмитентов, включенных в Сектор Роста Московской биржи, по видам ценных бумаг

Figure 2. Issuers included in the Growth Sector of the Moscow Exchange: type of securities

– вид деятельности компании не связан со следующими секторами (в рамках 209-ФЗ): предпринимательская деятельность в сфере игорного бизнеса; производство и/или реализация подакцизных товаров; добыча и реализация полезных ископаемых; деятельность кредитных организаций, страховых организаций, инвестиционных фондов, негосударственных пенсионных фондов, профессиональных участников рынка ценных бумаг, ломбардов; финансовый сектор (включая лизинг и МФО), строительство и девелопмент, участие в соглашениях о разделе продукции;

2. Второй этап (отбор компаний, которые обеспечили прирост выручки более 10 % в каждом из годов за период). Такая выборка позволила выбрать только те компании, которые стабильно росли высокими темпами в рассматриваемый период, а также исключить эффект «низкой базы», появляющийся при расчете CAGR по принятой формуле;

3. Третий этап (отбор компаний, которые обеспечили прирост выручки более 10 % в постоянных ценах в каждом из годов за период). Такая выборка позволила отобрать только те компании, выручка которых росла более 10 % ежегодно с учетом дефлятора ВВП;

4. Четвертый этап (отбор компаний, которые имели среднюю рентабельность по ЕВИТ за период не менее 14 %). Минимальный уровень рентабельности по ЕВИТ в 14 % был получен в результате анализа финансовых показателей российских компаний, облигации которых торгуются на рынке.

Полученная выборка из 651 компании была проанализирована в разрезе видов экономической деятельности. Анализ показал, что основное место в выборке (более 30 % от общего числа) занимают компании агропромышленного комплекса. Предприятиям, занимающимся производством пищевых продуктов и напитков, принадлежит доля около 3 %. Основным благоприятствующим фактором

является ускорение развития данных субъектов в результате введения продовольственного эмбарго и государственной поддержки агропромышленного комплекса, осуществляемой в последние годы.

Ключевыми показателями привлекательности сектора, определяющими способность компаний успешно размещать ценные бумаги, являются «Средний уровень рентабельности по EBIT» и «Средний темп прироста выручки (CAGR)». Путем метода экспертных оценок секторальной статистической информации, раскрываемой Росстатом, осуществлялся прогноз по критериям: позитивный, стабильный и негативный. Определено, что компании сельского хозяйства и производства пищевых продуктов и напитков имеют позитивный прогноз в части эмиссии ценных бумаг. По сектору сельского хозяйства показатели рентабельности по EBIT и средний темп прироста выручки составляют порядка 35 и 39 % соответственно. По данным СПАРК-Интерфакс, 88 % компаний сектора имеют Индекс финансового риска «низкий» и «средний», 93 % компаний имеют Индекс платежной дисциплины «низкий риск» и «средний риск». Сектор производства пищевых продуктов и напитков тесно связан с сельским хозяйством и демонстрирует показатели рентабельности по EBIT и средний темп прироста выручки порядка 26 и 41 % соответственно. По данным СПАРК-Интерфакс, 89 % компаний сектора имеют Индекс финансового риска «низкий» и «средний», 94 % компаний имеют Индекс платежной дисциплины «низкий риск» и «средний риск».

Приведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что предприятия пищевой и перерабатывающей промышленности, являясь субъектами малого и среднего предпринимательства, могут выступать эмитентами ценных бумаг. В первую очередь биржевых облигаций.

Рассматривая биржевые облигации в качестве долгового инструмента привлечения внешнего капитала, необходимо понимать преимущества и недостатки данного инструмента перед другим наиболее распространенным долговым инструментом – классическим банковским кредитом. Проведем сравнительную оценку указанных инструментов с использованием определенных авторами критериев (табл. 3).

Анализ приведенных в таблице 3 критериев показал, что выпуск предприятием облигаций имеет ряд серьезных недостатков перед получением классического банковского кредита. Во-первых, эмиссия ценных бумаг представляет собой достаточно сложную процедуру с точки зрения требуемого и более длительного времени, а также с точки зрения требуемой квалификации эмитента. Во-вторых, предыдущий недостаток влечет за собой увеличение расходов, связанных с эмиссией и включающих в себя расходы по размещению Московской биржи

и Национального расчетного депозитария, расходы Организатора эмиссии и Представителя владельца облигаций. В совокупности данные расходы могут составлять от 2,5 % от привлекаемого финансирования для выпусков от 200 млн руб. до 500 млн руб. и от 6 % от привлекаемого финансирования для выпусков от 50 млн руб. до 200 млн руб. В-третьих, эмиссия облигаций совершенно не гарантирует немедленного получения предприятием требуемой заемной суммы. Это связано с частичным выкупом облигаций инвесторами из-за сниженного или отсутствующего спроса на них. В-четвертых, предприятия, размещающие ценные бумаги на бирже, обязаны публично раскрывать информацию о своей деятельности. С другой стороны, данный недостаток является фактором, способствующим формированию доверия со стороны инвесторов, узнаваемости бренда компании/собственника/товара. Это положительно сказывается на маркетинговом позиционировании субъекта и его продукции. Устойчивые компании могут пытаться дать сигнал рынку о своем качестве путем выпуска дорогостоящих облигаций, а не через заем в банке [11].

Несмотря на отмеченные недостатки, эмитенты ценных бумаг получают гарантированные преимущества перед банковскими заемщиками. Это связано с комфортными и гибкими условиями биржевого привлечения средств [12]. Предприятие вправе самостоятельно определить ставку и периодичность выплат купонного дохода, а тело долга выплачивается в срок окончания обращения ценных бумаг. Кроме того, эмитенты могут воспользоваться правом на государственные субсидии на выплату купонного дохода и компенсировать часть затрат по размещению бумаг. Отсутствие залога, относительно свободная целевая направленность привлекаемых средств, а также наличие широкого круга частных инвесторов и потенциально не ограниченные заемные ресурсы делают эмиссию облигаций привлекательным и перспективным инструментом для предприятий малого и среднего бизнеса.

Привлекательность облигации для инвестора заключается в том, что ценная бумага выступает в роли хеджирующего капитал инструмента (не была подвержена отрицательным ценовым колебаниям) и приносит доход держателю бумаги. Исходя из этого, можно отметить два фактора инвестиционной привлекательности облигации [13]:

1. Доходность облигации. Складывается из двух составляющих: цены отчуждения облигации и суммы купонных выплат;

2. Ликвидность облигации. Характеризует способность актива быстро и без потерь в стоимости быть купленным или проданным по рыночной цене.

Единая методика определения ликвидности облигаций в теории отсутствует, а общепризнанного

Таблица 3. Сравнение способов привлечения внешнего финансирования в форме биржевых облигаций и банковского кредита

Table 3. Methods of attracting external financing as exchange-traded bonds and bank loans

Критерий	Банковский кредит	Биржевые облигации
Инвестирующий субъект	Банк	Частные инвесторы
Количество инвестирующих субъектов	Один	Много
Вмешательство в деятельность предприятия	Отсутствует	Отсутствует
Ограничение по размеру привлекаемых заемных средств	Кредитный лимит субъекта [10]	Не ограничен, но не менее 50 млн руб.
Необходимость залога	Необходим	Не требуется
Целевая направленность	Строгая	На усмотрение эмитента
Процент по кредиту/размер купона по облигации	7 % (льготная ставка для МСП) и более	9–17 %
Возможность снизить стоимость кредита/размер купона	Отсутствует (исключение – рефинансирование кредита)	Возможно снижение
Периодичность выплат по заемным средствам	Ежемесячные	Вариативные (ежемесячные, ежеквартальные, полугодовые, годовые)
Срок выплаты тела кредита	С первого месяца	При погашении ценной бумаги в конце срока обращения
Гарантия получения требуемой заемной суммы	Гарантирована, при условии одобрения банком в рамках кредитного лимита	Не гарантирована, при условии частичного выкупа облигаций инвесторами
Быстрота получения средств	От 2–3 дней до 1 месяца	Первый выпуск: 3–6 месяцев, второй и т. д. – от 1 недели (зависит от спроса на ценные бумаги)
Необходимость публичного раскрытия информации	Отсутствует	Необходима
Формирование бренда компании/собственника	Отсутствует	Способствует открытости и узнаваемости, повышает доверие к компании/собственнику/продукту
Возможность получения поддержки от государства	Льготная процентная ставка = ставка рефинансирования + 0,75 %	Субсидии на выплату купонного дохода – до 70 % от процентных выплат, компенсация части затрат по размещению – до 1,5 млн руб., гарантии и поручительства

показателя для измерения ликвидности при анализе инструментов с фиксированной доходностью нет [14]. Однако существуют авторские (как российские, так и зарубежные) подходы и показатели, позволяющие с той или иной мерой достоверности проводить оценку бондов. Ряд методик разработаны российскими банками (например, Газпромбанком, Национальным банком Траст и др.), крупными инвестиционными компаниями, брокерскими конторами. Часть ключевых расчетных индикаторов, характеризующих параметры торгов ценными бумагами, можно использовать с помощью специальных торговых терминалов биржи. Например, QUIK [15].

Определим наиболее распространенные в практическом применении индикаторы оценки ликвидности облигаций [16]:

1. Объем оборота:

– среднедневной оборот торгов. Чем больше сделок по облигации проходит в течение дня, тем больший

объем бумаг может реализовать инвестор в короткие сроки и тем ликвиднее актив;

– оборот, включающий в себя только крупные сделки. Оборот отдельно по категориям сделок может оказаться более показательным для оценки ликвидности, чем значение совокупного оборота;

– количество дней без сделок, т. е. дни с нулевой доходностью. Чем больше число таких дней, тем менее ликвидна облигация.

2. Потенциальные издержки инвестора:

– бид-аск спрэд (определяемый по «стакану» в ходе торгов);

– разница между максимальной и минимальной ценами за определенный период времени.

Указанные индикаторы находятся под влиянием ряда факторов, к которым можно отнести следующие:

– объем эмиссии. Чем больше бумаг находится в обращении, тем больше оборот актива;

– кредитный риск. Более рискованные облигации

Таблица 4. Основные параметры эмиссии ценных бумаг организаций, включенных в Сектор Роста [18, 19]

Table 4. The main parameters of the issue of securities of organizations in the Growth Sector [18, 19]

Показатель	Эмитент		
	ООО «Сибирский комбинат хлебопродуктов» (выпуск Сибирский КХП-001Р-01)	АО «РЕГИОН-ПРОДУКТ» (выпуск РЕГИОН-ПРОДУКТ-001Р-01)	АО «Новосибирскхлебопродукт» (выпуск НовосибирХлебопродукт-П01)
Вид ценной бумаги	Биржевые облигации документарные на предъявителя	Облигации биржевые бездокументарные	Облигации биржевые процентные бездокументарные
Способ размещения	Доразмещение	Пдресные заявки	По фиксированной цене
Номинал, руб.	1000	1000	10000
Объем эмиссии, шт.	100 000	50 000	7 000
Объем в обращении, руб.	100 000 000	50 000 000	70 000 000
Период обращения, дней	1820	1092	1440
Дата начала размещения	27.12.2019	24.09.2020	06.08.2020
Дата погашения	20.12.2024	21.09.2023	16.07.2024
Купон	Плавающий $C_i = K_i + 4,75\%$, где K_i – ключевая ставка Банка России, действующая в последний рабочий день, предшествующий началу i -го купона	Постоянный	Фиксированный $\text{MIN}[C_r + 7,5\%, 12\%]$, где C_r – ключевая ставка Банка России, действующая по состоянию на 7 раб. день до даты начала соответствующего купона
Размер купона*, %	9,25	12	12,5
Периодичность выплат в год	4	4	12
Текущая доходность*, % год	9,2362	11,5445	12,0343
Амортизация	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Оферта	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Цена средневзвешенная чистая*, % от номинала	100,149	103,946	103,8699
Динамика цен сделок за весь период*, руб. Минимум Максимум	91,67*** 101,26	100,30 107,98	101,00 108,00
Количество сделок за неделю**, единиц ценных бумаг	263	240	13
Количество сделок в среднем за день*, единиц ценных бумаг	485	179	6
Количество дней с объемом сделок ниже среднего*, дн./%	80/27	90/71	69/45
Количество дней с повышенным объемом сделок (более чем в 3 раза)*, дн./%	26/9	9/7	12/8

* данные приведены по состоянию на 25.03.2021 г.;

** данные приведены по состоянию на 21.03.2021 г.;

*** нехарактерное снижение цены в период с 15.03.2020 г. по 26.03.2020 г.

* March 25, 2021;

** March 21, 2021;

*** uncharacteristic decrease in price from March15, 2020, to March 26, 2020.

(обычно высокодоходные) в большей степени подвержены спекуляциям. Поэтому активность торгов по ним выше и выше оборот [17];

– волатильность. Повышенная волатильность может позитивно повлиять на оборот торгов;

– публичность эмитента. Чем больше компания

раскрывает информации о своей деятельности, тем более привлекательными являются ее ценные бумаги; – дополнительные параметры облигации, например, конвертируемость, наличие оферт put/call, амортизация, могут оказывать влияние на оборот торгов и на ликвидность облигации.

В целях оценки ликвидности облигаций предприятий малого и среднего предпринимательства пищевой и перерабатывающей промышленности выберем соответствующих субъектов из перечня организаций, включенных в Сектор Роста Московской биржи: ООО «Сибирский комбинат хлебопродуктов», АО «Новосибирскхлебопродукт», АО «РЕГИОН-ПРОДУКТ». Стратегическими целями привлечения средств для приведенных предприятий являются: увеличение занимаемой доли рынка, в том числе за счет расширения географии присутствия, увеличения объема и расширения ассортимента выпускаемой продукции, повышения качества продукции; повышение рентабельности организации. Направлениями использования привлеченных средств определены: реконструкция или модернизация существующих производственных мощностей, строительство и ввод новых основных фондов, автоматизация производства.

Приведем основные параметры эмиссии ценных бумаг указанными эмитентами в таблице 4.

Для оценки величины бид-аск спреда по выбранным эмитентам облигаций воспользуемся ресурсами торгового терминала QUIK. На рисунке 3 приведена наполняемость «стакана» и величина бид-аск спреда по анализируемым бондам. Наибольший спред зафиксирован по инструменту НовосибХлебопродукт-П01, наименьший спред – по инструменту Сибирский КХП-001Р-01. Стоит отметить, что данный показатель является весьма

волатильным в течение торговой сессии. Наиболее низкая наполняемость «стакана» зафиксирована по инструменту НовосибХлебопродукт-П01. Отметим, что по всем трем оцениваемым инструментам в «стакане» присутствует явная диспропорция в величине спроса и предложения в сторону перевеса последнего.

Для оценки индикаторов, характеризующих объем торгов и волатильность бумаг, используем графические данные торгового терминала QUIK. Объем торгов отображается в форме гистограммы и показывает, на какое количество лотов были совершены сделки с торговым инструментом за выбранный период таймфрейма. Рабочим таймфреймом примем дневной.

Показатели волатильности ценных бумаг, в том числе модели, позволяющие отследить взаимовлияние риска волатильности, стоимости долга и акционерного капитала компании и показателей ликвидности, исследовались различными авторами [20]. В качестве показателя, характеризующего волатильность ценной бумаги, выберем индикатор Chaikin's Volatility или Волатильность Чайкина. В основе данного индикатора лежит предположение, что в момент начала тренда волатильность резко возрастает, а во времена коррекций и затухания – уменьшается. В торговом терминале QUIK индикатор Chaikin's Volatility представлен красной линией, принимающей как положительные значения (если текущая волатильность

Продажа	Цена	Покупка
	90,00	1
	95,00	5
	100,00	3
	100,01	11
	100,10	4
	100,91	3
	101,01	1
	101,50	1
	101,54	3
	101,55	1
	102,01	1
1	104,08	
1	104,09	
1	104,10	
1	105,48	
42	119,99	

Продажа	Цена	Покупка
	98,75	35
	98,90	70
	99,25	79
	99,50	27
	99,81	50
	99,85	21
	99,86	25
	99,90	10
	99,91	35
	99,92	25
	99,93	10
	99,94	23
	99,95	9
	99,97	20
	99,98	2
	99,99	2
25	100,00	
10	100,20	
49	100,22	
20	100,29	
50	100,32	
1	100,36	
15	100,64	
21	100,70	
29	100,85	
35	100,90	
12	100,99	
100	101,00	
327	101,09	
37	101,21	

Продажа	Цена	Покупка
	90,00	1
	100,00	30
	100,01	10
	100,10	33
	100,31	5
	101,00	30
	102,05	5
	102,06	10
	102,35	5
	102,55	5
	102,80	1
	102,83	9
	103,02	4
	103,05	3
	103,06	20
	103,10	18
2	103,11	
100	104,26	
86	104,27	
10	104,38	
45	104,39	
35	104,40	
29	104,43	
2	104,48	
5	104,64	
5	104,83	
18	104,88	
25	105,50	
50	106,40	
1	107,92	

Рисунок 3. Наполняемость «стакана» и величина бид-аск спреда по эмитентам облигаций

Figure 3. Order-book filling and bid-ask spread for bond issuers

больше, чем изначально взятая за основу), так и отрицательные (если меньше). Индикатор Chaikin's Volatility связывает понятия тренда с волатильностью, чем определяет границы тренда, а также моменты возникновения коррекций в рамках тренда. За диапазон цен в данном индикаторе принимается разность между максимальным и минимальным значениями периодов.

Расчет индикатора ведется по следующей формуле:

$$\text{Chaikin's Volatility} = (EMA(\text{MaxMin})_n - EMA(\text{MaxMin})_{n-1}) / EMA(\text{MaxMin})_{n-1} \cdot 100.$$

Чтобы рассчитать индикатор Chaikin's Volatility, необходимо вычислить разность между текущим максимумом и минимумом и построить скользящее среднее от этих разностей. Далее следует вычесть значение текущего скользящего среднего (EMA) от



Рисунок 4. Графики объема и индикатора Chaikin's Volatility ООО «Сибирский комбинат хлебопродуктов»

Figure 4. Volume and Chaikin's Volatility of LLC Sibirskiy Kombinat Khleboproductov



Рисунок 5. Графики объема и индикатора Chaikin's Volatility АО «РЕГИОН-ПРОДУКТ»

Figure 5. Volume and Chaikin's Volatility of JSC REGION-PRODUCT



Рисунок 6. Графики объема и индикатора Chaikin's Volatility АО «Новосибирскхлебопродукт»

Figure 6. Volume and Chaikin's Volatility of JSC Novosibirskkhleboprodukt

Таблица 5. Ранжирование облигаций предприятий-эмитентов

Table 5. Ranking of bonds of issuers

Показатель	Ранг эмитента		
	ООО «Сибирский комбинат хлебопродуктов»	АО «РЕГИОН-ПРОДУКТ»	АО «Новосибирскхлебопродукт»
Показатели ликвидности			
Объем эмиссии, шт./руб.	1	2	3
Количество сделок в среднем за день (единиц ценных бумаг)	1	2	3
Количество сделок в среднем за день к общему объему выпуска, %	1	2	3
Количество дней с объемом сделок ниже среднего	1	3	2
Количество дней с повышенным объемом сделок (более чем в 3 раза)	1	3	2
Количество сделок за неделю к общему объему выпуска, %	2	1	3
Наполняемость «стакана»	1	2	3
Величина бид-аск спреда	3	2	1
Разница между максимальной и минимальной ценой за весь период обращения, руб.	1	3	2
Индикатор Chaikin's Volatility	2	1	3
Показатели доходности			
Размер купона, %	3	2	1
Текущая доходность, %	3	2	1

спреда между максимумом и минимумом (MaxМин) из значения ЕМА от MaxМин предыдущего периода. Полученную разность разделить на ЕМА от MaxМин

за указанное количество периодов прошлого и умножить частное от деления на 100 для приведения к процентной форме. [8]

Если цена находится во флэте, то разности между значениями максимальных и минимальных цен будут небольшими и будут приблизительно соответствовать друг другу. В такой ситуации значение Chaikin's Volatility будет небольшим. Но так как тренд часто начинается импульсным движением, то значение Chaikin's Volatility в такой ситуации резко возрастает, показывая, что рынок вышел из состояния покоя. О завершении нисходящего тренда можно судить по увеличению индикатора Chaikin's Volatility. Конец восходящего тренда может характеризоваться как резким ростом индикатора, так и снижением волатильности – плавным переходом в фазу коррекции.

Графики объема и индикатора Chaikin's Volatility по анализируемым бондам приведены на рисунках 4–6. Приведенные графики позволяют сделать вывод, что волатильность инструмента НовосибирХлебопродукт-П01 является гораздо ниже, чем у двух других.

Проведем ранжирование анализируемых предприятий-эмитентов бондов по показателям, разработанным авторами на основе вышеуказанных индикаторов ликвидности (табл. 5). Используем шкалу оценок от 1 до 3, при этом будем считать, что 1 – высший балл, 3 – низший балл.

Опираясь на приведенные в таблице 5 показатели оценки ликвидности облигаций анализируемых эмитентов, можно отметить, что наибольшей ликвидностью обладают бонды, выпущенные ООО «Сибирский комбинат хлебопродуктов». Второе место по ликвидности бондов принадлежит АО «РЕГИОН-ПРОДУКТ». Наименьшая ликвидность у бондов АО «Новосибирскхлебопродукт». При этом показатель ликвидности по каждому бонду получился обратно пропорционален размеру купона и текущей доходности облигаций, в соответствии с которой наибольшей доходностью обладают ценные бумаги АО «Новосибирскхлебопродукт», а наименьшей – бумаги ООО «Сибирский комбинат хлебопродуктов».

Выводы

Выполненные этапы исследования позволяют

отметить, что биржевые варианты привлечения внешнего финансирования, кроме преимуществ (ликвидность, многообразие параметров ценных бумаг, прямой выход на владельцев денежных средств и потенциально неограниченный объем инвестиционного капитала), имеют определенные ограничения для их применения субъектами малого и среднего предпринимательства. В целях публичного обращения ценных бумаг субъектов в 2017 г. Московская биржа создала новый биржевой сегмент – «Сектор Роста» с одновременной проработкой критериев отбора и мер по стимулированию участия в нем. Анализ распределения эмитентов, включенных в Сектор Роста, по сферам деятельности показал, что компании агропромышленного сектора и пищевой промышленности занимают около 17 % от общего числа организаций, включенных в Сектор. При этом все из них являются эмитентами биржевых облигаций.

Потенциал исследуемого сектора, опираясь на показатели среднего уровня рентабельности по ЕВІТ и среднего темпа прироста выручки, позволяет использовать биржевые варианты финансирования деятельности субъектов малого и среднего бизнеса.

В работе проведена оценка привлекательности биржевых облигаций как с точки зрения эмитента, по сравнению с классическим банковским кредитом, так и с точки зрения инвестора по показателям доходности и ликвидности.

Критерии авторства

Работа выполнена на паритетных началах.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

The work was carried out on a parity basis.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Formation of agro-industrial cluster on the priority social and economic development area of the mono-industry town / O. P. Ivanova [et al.] // Foods and Raw Materials. 2017. Vol. 5. № 1. P. 192–204. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2017-1-192-204>.
2. Зотов В. П., Черниченко С. Г., Чернышева Н. М. Систематизация, структурирование и унификация проблем оценки кредитного риска в рамках коммерческого кредитования сельскохозяйственных предприятий // Техника и технология пищевых производств. 2016. Т. 43. № 4. С. 155–163.
3. Официальный сайт Международной информационной группы «Интерфакс». СПАРК. URL: <https://www.spark-interfax.ru/ru/statistics> (дата обращения 10.03.2021).

4. Проблемы и механизм формирования собственных источников инвестирования на предприятиях АПК Кемеровской области / В. П. Зотов [и др.] // *Техника и технология пищевых производств*. 2017. Т. 47. № 4. С. 152–158. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2017-4-152-158>.
5. Сушко Т. И., Таланова И. М. Обеспечение эффективного управления инвестициями в долгосрочные нефинансовые активы // *Техника и технология пищевых производств*. 2017. Т. 47. № 4. С. 136–144. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2017-4-136-144>.
6. Gomes A., Phillips G. Why do public firms issue private and public securities? // *Journal of Financial Intermediation*. 2012. Vol. 21. № 4. P. 619–658. <https://doi.org/10.1016/j.jfi.2012.03.001>.
7. Теплова Т. В., Соколова Т. В. Исследовательские поля облигационных рынков. М.: ИНФРА-М, 2018. 455 с.
8. Теплова Т. В., Соколова Т. В., Галенская К. В. Драйверы и тормозы развития рынков корпоративных облигаций развитых и развивающихся стран // *Вопросы экономики*. 2019. № 3. С. 77–100. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-3-77-100>.
9. Официальный сайт ПАО «Московская биржа». URL: <https://www.moex.com/> (дата обращения 10.03.2021).
10. Буланов Ю. Н., Часовников С. Н., Старченко Е. Н. Финансовая грамотность: системное содержание и практические аспекты применения в деятельности регионального банка // *Финансовая аналитика: проблемы и решения*. 2016. Т. 302. № 20. С. 33–45.
11. Goel M., Zemel M. Switching to bonds when loans are scarce: Evidence from four U.S. crises // *Journal of Corporate Finance*. 2018. Vol. 52. P. 1–27. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2018.05.006>.
12. Яковлев Я., Кирдань Р. Привычка занимать. Почему компании стали чаще размещать облигации. URL: <https://www.forbes.ru/finansy-i-investicii/360821-privychka-zanimat-pochemu-kompanii-stalichashche-razmeshchat-obligacii> (дата обращения 10.03.2021).
13. Schestag R., Schuster P., Uhrig-Homburg M. Measuring liquidity in bond markets // *The Review of Financial Studies*. 2016. Vol. 29. № 5. P. 1170–1219. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhv132>.
14. Konstantinovsky V., Ng K. Y., Phelps B. D. Measuring bond-level liquidity // *The Journal of Portfolio Management*. 2016. Vol. 42. № 4. P. 116–128. <https://doi.org/10.3905/jpm.2016.42.4.116>.
15. Старченко Е. Н., Вержицкий Д. Г., Копышева Т. В. Повышение финансовой грамотности населения как фактор решения социальных проблем // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 6–2. С. 401–405.
16. Heggen M., Simarud T. A study of corporate bond liquidity. GRA 19003. Master Thesis. BI Norwegian Business School, 2016.
17. Черниченко С. Г., Котов Р. М., Гильмулина С. А. Экспериментально-синтетический подход к сегментарной оценке интегрального кредитного риска // *Техника и технология пищевых производств*. 2018. Т. 48. № 1. С. 184–189. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-1-184-189>.
18. Официальный сайт RUSBONDS. URL: <https://www.rusbonds.ru/> (дата обращения 10.03.2021).
19. Официальный сайт АО «Открытие Брокер». URL: <https://www.opentrainer.ru/articles/search/> (дата обращения 10.03.2021).
20. Perrakis S., Zhong R. Liquidity risk and volatility risk in credit spread models: A unified approach // *European Financial Management*. 2017. Vol. 23. № 5. P. 873–901. <https://doi.org/10.1111/eufm.12127>.

References

1. Ivanova OP, Antonov GD, Shabashev VA, Zobova LL, Nesterov AY. Formation of agro-industrial cluster on the priority social and economic development area of the mono-industry town. *Foods and Raw Materials*. 2017;5(1):192–204. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2017-1-192-204>.
2. Zotov VP, Chernichenko SG, Chernysheva NM. Organizing, structuring and unification of credit risk estimate problems within the commercial lending of agricultural enterprises. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2016;43(4):155–163. (In Russ.).
3. Ofitsial'nyy sayt Mezhdunarodnoy informatsionnoy gruppy “Interfaks”. SPARK. [Official site of the International Information Group “Interfax”. SPARK] [Internet]. [cited 2021 Mar 10]. Available from: <https://www.spark-interfax.ru/ru/statistics>.
4. Zotov VP, Kotov RM, Sekletsova OV, Dudinskaya TK, Shcheglova MA. Issues and mechanisms of company’s internal investment sources formation in Kemerovo region agro-industrial complex enterprises. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2017;47(4):152–158. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2017-4-152-158>.
5. Sushko TI, Talanova IM. Ensuring effective management of investments in long-term non-financial assets. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2017;47(4):136–144. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2017-4-136-144>.
6. Gomes A, Phillips G. Why do public firms issue private and public securities? *Journal of Financial Intermediation*. 2012;21(4):619–658. <https://doi.org/10.1016/j.jfi.2012.03.001>.

7. Teplova TV, Sokolova TV. Research fields of bond markets. Moscow: INFRA-M; 2018. 455 p. (In Russ.).
8. Teplova TV, Sokolova TV, Galenskaya KV. Drivers and brakes on the development of corporate bond markets of developed and developing countries. *Voprosy Ekonomiki*. 2019;(3):77–100. (In Russ.). <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-3-77-100>.
9. Ofitsial'nyy sayt PAO “Moskovskaya birzha” [Official site of PJSC Moscow Exchange] [Internet]. [cited 2021 Mar 10]. Available from: <https://www.moex.com/>.
10. Bulanov YuN, Chasovnikov SN, Starchenko EN. Financial literacy: conceptual substance and practical aspects of its application in the regional bank's operations. *Financial Analytics: Science and Experience*. 2016;302(20):33–45. (In Russ.).
11. Goel M, Zemel M. Switching to bonds when loans are scarce: Evidence from four U.S. crises. *Journal of Corporate Finance*. 2018;52:1–27. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2018.05.006>.
12. Yakovlev YA, Kirdan' R. Privychka zanimat'. Pochemu kompanii stali chashche razmeshchat' obligatsii [The habit of borrowing. Why companies are placing bonds more often] [Internet]. [cited 2021 Mar 10]. Available from: <https://www.forbes.ru/finansy-i-investicii/360821-privychka-zanimat-pochemu-kompanii-stalichashche-razmeshchat-obligacii>.
13. Schestag R, Schuster P, Uhrig-Homburg M. Measuring liquidity in bond markets. *The Review of Financial Studies*. 2016;29(5):1170–1219. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhv132>.
14. Konstantinovskiy V, Ng KY, Phelps BD. Measuring bond-level liquidity. *The Journal of Portfolio Management*. 2016;42(4):116–128. <https://doi.org/10.3905/jpm.2016.42.4.116>.
15. Starchenko EN, Verzhitskiy DG, Kopysheva TV. Increase of the financial literacy population as a factor of the social problems solution. *Fundamental research*. 2015;(6–2):401–405. (In Russ.).
16. Heggen M, Simarud T. A study of corporate bond liquidity. GRA 19003. Master Thesis. BI Norwegian Business School; 2016.
17. Chernichenko SG, Kotov RM, Gilmulina SA. Experimental synthetic approach to segment assessment of aggregate credit risk. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2018;48(1):184–189. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-1-184-189>.
18. Ofitsial'nyy sayt RUSBONDS [Official site of RUSBONDS] [Internet]. [cited 2021 Mar 10]. Available from: <https://www.rusbonds.ru>.
19. Ofitsial'nyy sayt AO “Otkrytie Broker” [Official site of JSC Otkritie Broker] [Internet]. [cited 2021 Mar 10]. Available from: <https://www.opentrainer.ru/articles/search>.
20. Perrakis S, Zhong R. Liquidity risk and volatility risk in credit spread models: A unified approach. *European Financial Management*. 2017;23(5):873–901. <https://doi.org/10.1111/eufm.12127>.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-564-573>
УДК (663.969+633.12):615.356

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Гречишные травяные чайные напитки: сырье, способы получения и оценка биологической активности

Т. В. Танашкина*^{ORCID}, А. Ф. Пьянкова^{ORCID},
А. А. Семенюта^{ORCID}, А. В. Кантемиров^{ORCID}, Ю. В. Приходько^{ORCID}



Дальневосточный федеральный университет^{ORCID}, Владивосток, Россия

Поступила в редакцию: 01.06.2021

Принята после рецензирования: 25.06.2021

Принята в печать: 15.07.2021



*e-mail: tatiana.vl.tan@gmail.com

© Т. В. Танашкина, А. Ф. Пьянкова, А. А. Семенюта, А. В. Кантемиров, Ю. В. Приходько, 2021

Аннотация.

Введение. Зерно гречихи давно используется в пищевых технологиях. Надземная часть растения пока не нашла широкого применения, несмотря на высокое содержание, по сравнению с зерном, биологически активных веществ. Цель работы – оценить потенциал травы гречихи в качестве сырья для чайных напитков функционального назначения.

Объекты и методы исследования. Нижняя и верхняя части стебля, листья, соцветия гречихи посевной и приготовленные из них чайные напитки. В сырье и чайных напитках определяли содержание полифенольных соединений (метод Folin-Ciocalteu), рутина (метод ВЭЖХ); органолептические свойства и антиоксидантную активность чайных напитков – с использованием DPPH радикала.

Результаты и их обсуждение. По органолептическим свойствам лучшими были чайные напитки, приготовленные из верхней части растения. Полифенольные соединения были обнаружены во всех частях растения: в соцветиях – 6,67 %, листьях – 5,71 %, купаже – 5,45 %, в верхней и нижней части стебля – 1,92 и 1,32 % соответственно. Доля этих соединений в чайных напитках была не более 40 % от их содержания в сырье. Высокое количество рутина (5,05 %) наблюдалось в листьях, в других частях растения его содержание было ниже: 3,43 % в купаже, 3,03 % в соцветиях, 1,08 и 0,76 % в верхней и нижней части стебля соответственно. Чайные напитки из травы гречихи, за исключением нижней части стебля, содержали от 15 до 75 % рутина от суточной нормы его потребления. Все образцы проявляли антиоксидантную активность: наиболее высокая отмечена в чайных напитках из соцветий (66,7 %), листьев (62,3 %) и купажа (52,5 %), что составило в пересчете на аскорбиновую кислоту 69, 64 и 52 мкмоль/г сухого вещества соответственно. Для этих же образцов была установлена антирадикальная активность.

Выводы. Трава гречихи посевной сорта «Изумруд» может являться сырьем для получения чайных напитков. Гречишные чайные напитки представляют собой натуральный функциональный пищевой продукт, не содержащий кофеина, обладающий приятным вкусом и ароматом и характеризующийся высокой биологической активностью за счет содержания в нем рутина и других полифенольных соединений.

Ключевые слова. Гречиха, трава гречихи, напитки, полифенолы, рутин, антиоксидантная активность

Для цитирования: Гречишные травяные чайные напитки: сырье, способы получения и оценка биологической активности / Т. В. Танашкина [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 564–573. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-564-573>.

Original article

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

Buckwheat Grass Tea Beverages: Raw Materials, Production Methods, and Biological Activity

Tatiana V. Tanashkina*^{ORCID}, Alena F. Piankova^{ORCID},
Anna A. Semenyuta^{ORCID}, Alexey V. Kantemirov^{ORCID}, Yury V. Prikhodko^{ORCID}

Far Eastern Federal University^{ORCID}, Vladivostok, Russia

Received: June 01, 2021

Accepted in revised form: June 25, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021



*e-mail: tatiana.vl.tan@gmail.com

© T.V. Tanashkina, A.F. Piankova, A.A. Semenyuta, A.V. Kantemirov, Yu.V. Prikhodko, 2021

Abstract.

Introduction. Buckwheat grain has long been used in food technology. However, its aboveground part remains understudied even though it is richer in biologically active substances than grain. The research objective was to evaluate the potential of buckwheat grass as a raw material for functional tea beverages.

Study objects and methods. The research featured the lower and upper parts of the stem, leaves, and flowers of common buckwheat, as well as buckwheat tea beverages. The content of polyphenol compounds was determined by the Folin-Ciocalteu method, while the amount of rutin was measured by HPLC analysis. Sensory properties were analyzed by standard methods and quality score, and antioxidant activity – by DPPH radical scavenging method.

Results and discussion. The sensory analyses proved that the best tea beverages were made from the upper part of the plant: the samples had a strong smell of meadow grass and honey. The taste of the samples was pleasant, sweetish, with a honey and light floral aftertaste. As the total score (maximum score – 20) increased, the tea samples were arranged in the following order: lower stem (14.3) > upper stem (16.8) > leaves, (18.5) > blend – mix of leaves, flowers, and upper stem (18.6) > flowers (19.3). Polyphenol compounds were found in all parts of the plant: flowers – 6.67%, leaves – 5.71%, blend – 5.45%, upper and lower stem – 1.92 and 1.32%, respectively. Only 30–40% of buckwheat grass polyphenol compounds were found in tea beverages. Most of them were in the samples prepared from leaves and flowers – 1.78 %. Rutin made up most of the polyphenol compounds found in the leaves (5.05%), but its content was lower in other parts of the plant: 3.43% in the blend, 3.03% in the flowers, 1.08 and 0.76% in the upper and lower stem. Except for the lower stem samples, the tea contained from 15 to 75% of the daily rutin intake. All the tea samples showed antioxidant activity: flowers – 66.7%, leaves – 62.3%, and blend – 52.5%. In terms of ascorbic acid, it was 69, 64, and 52 $\mu\text{mol/g}$ dry matter, respectfully. The same samples demonstrated antiradical activity.

Conclusion. Common buckwheat grass can serve as a raw material for tea beverages. Buckwheat tea is a natural functional food product with zero caffeine. They have a pleasant taste and aroma. They owe their high biological activity to the high content of rutin and other polyphenol compounds.

Keywords. Buckwheat, buckwheat grass, beverages, polyphenol compound, rutin, antioxidant activity

For citation: Tanashkina TV, Piankova AF, Semenyuta AA, Kantemirov AV, Prikhodko YuV. Buckwheat Grass Tea Beverages: Row Materials, Production Methods, and Biological Activity. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):564–573. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-564-573>.

Введение

Гречиха посевная (*Fagopyrum esculentum* Möench) – важная зерновая продовольственная культура, выращиваемая в странах Азии и Восточной Европы. Лидерами в производстве зерна гречихи являются Россия, Китай и Украина, которые в 2019 г., по данным ФАО, собрали 785 702, 430 166 и 85 020 тыс. тонн соответственно [1]. В пищевых целях главным образом используется зерно, из которого вырабатывают крупу (ядрица и продел) и муку, а в странах восточной Азии еще и гречневый чай.

В последние годы существенно возросло значение гречихи в питании [2–4]. Этому способствовали глубокие исследования химического состава зерна, которые выявили его уникальные особенности по сравнению с зерном злаковых культур [5]. Отсутствие глютена в зерне гречихи делает его незаменимым в питании больных целиакией [6]. Белки гречихи характеризуются высокой биологической ценностью [7]. Они способны снижать уровень холестерина в сыворотке крови, эффективны против гипертензии и развития рака толстой кишки [8–10]. Крахмал гречихи относится к группе резистентных, медленно гидролизуются в кишечнике, способствуя постепенному поступлению глюкозы в кровь, что не приводит к резкому повышению ее уровня в кровяном русле [11, 12]. Поэтому гречиха входит в диету больных сахарным диабетом. Она богата

растворимыми и нерастворимыми пищевыми волокнами, что позволяет рекомендовать ее страдающим желудочно-кишечными заболеваниями [13]. Минеральный состав зерна характеризуется, по сравнению с пшеницей и рисом, более высокими концентрациями железа, цинка, меди, марганца, магния, калия и фосфора [14]. В нем много витаминов группы В (тиамина, рибофлавина, ниацина) и токоферола [15]. Зерно гречихи богато соединениями фенольной природы, преимущественно флавоноидами рутином, кверцетином, ориентином и др. [16, 17]. Все указанные выше особенности химического состава, а также присутствие в нем большого количества биологически активных соединений делают зерно гречихи востребованным в специализированном и массовом питании [5, 18].

Надземные части растения – стебель, листья, соцветия – для получения пищевых продуктов пока не используются. Но они нашли применение в медицине благодаря высокому содержанию флавоноида рутина в зеленой массе гречихи по сравнению с зерном. Одно из направлений применения связано с использованием надземной фитомассы гречихи в качестве фармакологического сырья для выработки лекарственной субстанции – рутина. Особенно актуально это для стран, в которых не произрастает софора японская, бутоны которой являются для этого традиционным сырьем. Подобные работы ведутся и в России [19, 20].

Многочисленные исследования показали, что рутин проявляет множественную фармакологическую активность, включая антиоксидантное, цитопротекторное, нейропротекторное, вазопротекторное, антиканцерогенное и кардиопротекторное действия [21]. Было показано, что его антиоксидантные свойства обеспечивают сохранение когнитивных функций [22]. Рутин оказывает антидепрессантоподобный эффект, увеличивая доступность серотонина и норадреналина в синаптической щели, способствуя повышению стрессоустойчивости [23]. Эти данные свидетельствуют о том, что рутин может быть эффективен в профилактике многих заболеваний, антиоксидантной защите, антистрессовом воздействии и др.

Фенольные соединения, к которым относится рутин, являются вторичными метаболитами растений [24]. Они широко используются в медицинской практике для лечения и профилактики многих заболеваний. Большую группу из них представляют полифенольные соединения – фенилпропаноиды, флавоноиды и др., которые присутствуют в ежедневной диете каждого человека. Среднее потребление этих соединений составляет 1 г в сутки [25]. Установлено, что основными полифенолами травы гречихи являются флавоноиды рутин, кверцетин, изокверцитрин, гесперидин, изорамнетин и фенилпропаноиды, среди которых феруловая, хлорогеновая, синапиновая и паракумаровая кислоты [26].

Определенный интерес представляет привлечение травы гречихи в качестве сырья для пищевой промышленности с целью создания продуктов питания функционального назначения. Одной из групп таких продуктов могут стать напитки, являющиеся обязательным компонентом ежедневного рациона любого человека. Например, чайные напитки (ЧН). Они приобретают все большую популярность, поскольку, кроме приятного вкуса, многие из них обладают полезными для поддержания здоровья свойствами. Согласно ГОСТ 32593-2013 чайные напитки – это пищевой продукт, изготовленный из растительного сырья с возможным добавлением чая в количестве не более 50 % по массе и других компонентов. Для их создания можно использовать самое разнообразное растительное сырье: травы, плоды, ягоды и др.

Цель данной работы – оценка потенциала травы гречихи как сырья для чайных напитков функционального назначения.

В задачи исследования входило: определить анатомические части растения гречихи, пригодные для изготовления ЧН; установить содержание полифенольных соединений и рутина в гречишном сырье и приготовленных из него ЧН; а также произвести оценку антиоксидантных свойств чайных напитков.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования стали трава гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench) сорта «Изумруд», выращенная на опытных участках Приморского научно-исследовательского института сельского хозяйства РАН (Приморский край, Россия), и приготовленные из нее чайные напитки.

Траву гречихи заготавливали в период массового цветения и разделяли на несколько анатомических фракций – нижняя прикорневая часть стебля (стебель низ), верхняя часть стебля (стебель верх), листья и цветы. Затем сушили воздушным способом в хорошо вентилируемом темном помещении и хранили при комнатной температуре без доступа света. Для приготовления ЧН траву гречихи измельчали, заливали кипяченой водой температурой 85–90 °С из расчета 1 г/100 мл, настаивали 4–5 мин и фильтровали. Настои использовали для органолептических и аналитических исследований. Было приготовлено 5 образцов ЧН: 1 – из нижней части стебля, 2 – из верхней части стебля, 3 – из листьев, 4 – из соцветий и 5 – из купаж, состоящего из верхней части стебля, соцветий и верхушечных листьев.

Гречишное сырье исследовали на содержание полифенольных соединений (ПФ) и рутина. В ЧН определяли органолептические свойства, содержание ПФ и рутина, антиоксидантную и антирадикальную активность, а также антиоксидантную емкость.

Органолептическую оценку ЧН проводили, основываясь на стандартизированных методах для чая (ГОСТ 32572-2013, ГОСТ 32574-2013), т. е. устанавливали прозрачность, цвет, аромат и вкус. Максимальный балл за каждый показатель составлял не более 5. Образцы, набравшие 18–20 баллов, получали оценку «отлично», 15–17 баллов – «хорошо», 12–14 баллов – «удовлетворительно», менее 12 баллов – «неудовлетворительно».

Содержание суммы полифенолов в траве гречихи и ЧН устанавливали колориметрическим методом с использованием реактива Folin-Ciocalteu согласно ГОСТ Р ИСО 14502-1-2010.

Содержание рутина в гречишном сырье и ЧН определяли методом ВЭЖХ в нашей модификации [27]. В качестве стандарта использовали коммерческий препарат рутин (Sigma-Aldrich, США) в количестве 10 мкг/мл. Калибровочную кривую строили в интервале концентраций рутина 5–40 мкг/мл. Для проведения анализа использовали хроматографическую систему Shimadzu LC-10AD vp со спектрофотометрическим UV-VIS детектором SPD-10A vp на колонке Shim-pack CLC-Phenyl 6.0 mm i.d.×15 cm (Shimadzu, Япония).

Пробоподготовка образцов травы гречихи. Отдельные части травы гречихи (соцветия, верхние листья, верхняя и нижняя части стебля) измельчали до состояния пудры. Навеску травы массой около 0,05 г помещали в пробирки со шлифом, заливали

15 мл метанола и инкубировали сначала на водяной бане при температуре 45 °С в течение 30 мин, а затем в ультразвуковой ванне при 30 °С в течение 20 мин. Далее образцы переносили в мерные колбы на 25 мл и доводили дистиллированной водой до метки. Экстракты фильтровали через бумажный фильтр, затем через мембранный шприцевой фильтр с размером пор 0,45 мкм. Перед хроматографированием образцы разбавляли в 5 раз дистиллированной водой.

Пробоподготовка образцов ЧН. Для приготовления образцов гречишных чайных напитков использовали купажи из измельченных соцветий, листьев и верхней части стебля в соотношении 0,25:0,25:0,5 соответственно. Навеску сырья массой 1 г заливали 100 мл кипяченой питьевой воды, охлажденной до 85–90 °С, и настаивали в течение 4–5 мин. Настои фильтровали через бумажный фильтр, затем через мембранный шприцевой фильтр с размером пор 0,45 мкм.

Условия проведения хроматографического анализа. Подвижная фаза метанол:ацетатный буфер (рН 4,1) в соотношении 50:50 (об. %), скорость потока – 1 мл/мин, температура колонки – 30 °С, длина волны – 356 нм. Объем вводимой пробы – 10 мкл. Количественное содержание рутина рассчитывали исходя из данных калибровочных кривых и хроматограмм образцов травы гречихи и ЧН. Расчет проводили с помощью программного обеспечения МультиХром ГПХ.

Определение антиоксидантной активности (АОА) чайных напитков проводили с использованием DPPH радикала методом, описанным J. Aliakbarlu с коллегами и адаптированным для изучаемых образцов. В качестве положительного контроля использовали раствор аскорбиновой кислоты (АК) [28].

Результаты и их обсуждение

Трава гречихи богата рутином, содержание которого выше примерно в 100 раз и более, чем в зерне и продуктах его переработки. По разным оценкам в листьях и соцветиях содержится 2–8 % этого флавоноида, в то время как в зерне – 0,01–0,07 %, в крупе и муке его еще меньше – 0,02 и 0,006 % соответственно [29–34]. Поскольку рутин является водорастворимым соединением, то он экстрагируется из растительного сырья водой, хотя экстракция водно-спиртовыми смесями метанола и этанола является более эффективной. Именно 40–70 % растворы этих спиртов используются для извлечения рутина в аналитических целях. В пищевых целях водные экстракты рутина можно получать при приготовлении настоев травы гречихи в виде чайных напитков.

На первом этапе исследования оценивали возможность применения разных частей растения гречихи для изготовления чайных напитков с точки зрения их органолептических свойств. Для заваривания использовали различные части

растения: нижняя и верхняя части стебля, листья, соцветия и купаж. После непродолжительного настаивания оценивали прозрачность, цвет, аромат и вкус напитков (рис. 1). Наиболее прозрачным был образец из нижней части стебля. Насыщенный янтарный цвет был характерен для чайных напитков из листьев. Немного светлее были ЧН из соцветий и купажа. В последнем, а также в напитке из верхней части стебля отмечался зеленоватый оттенок. Самым бледным и невыразительным был цвет ЧН из нижней части стебля. Наиболее гармоничным ароматом характеризовались образцы чайных напитков из листьев, соцветий и купажа. В них преобладал запах луговых трав с легкими медовыми оттенками. Лучшими вкусовыми характеристиками обладал образец, приготовленный из соцветий. В нем явно ощущалась сладость, выделялись медовые тона и приятный легкий цветочный вкус. По сумме значений всех четырех показателей чайные напитки, приготовленные из стеблей гречихи, получили оценку «хорошо», из листьев, соцветий и купажа – оценку «отлично». По мере возрастания суммарной балльной оценки образцы ЧН расположились в следующем порядке: 1 (14,3) > 2 (16,8) > 3 (18,5) > 5 (18,6) > 4 (19,3). Лучшим образцом по вкусо-ароматическим характеристикам был чайный напиток, приготовленный из соцветий, немногим уступали ему ЧН из листьев и купажа.

Таким образом, согласно результатам органолептической оценки, трава гречихи, особенно ее верхушечная часть, может использоваться для изготовления чайных напитков.

В дальнейших исследованиях оценивали биологическую активность гречишного сырья и

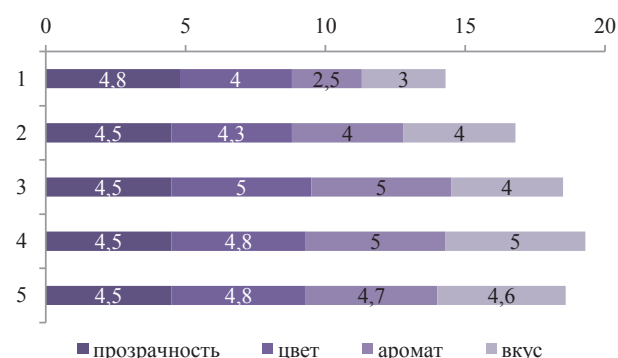


Рисунок 1. Органолептическая оценка чайных напитков из разных анатомических частей травы гречихи: 1 – из нижней части стебля; 2 – из верхней части стебля; 3 – из листьев; 4 – из соцветий; 5 – из купажа

Figure 1. Sensory evaluation of tea beverages from different parts of buckwheat grass: 1 – lower stem; 2 – upper stem; 3 – leaves; 4 – flowers; 5 – blend

полученных из него ЧН. С этой целью определяли содержание в них полифенольных соединений и рутина, а также антиоксидантной активности, по показателям которой судили об антирадикальной активности (АРА) и антиоксидантной емкости (АОЕ) гречишных напитков.

Результаты количественного определения суммы ПФ в разных фракциях травы гречихи показали, что меньше всего их было в нижней части стебля, больше всего – в соцветиях и листьях (табл. 1). Другими авторами также было показано, что распределение полифенольных соединений в разных органах растений неравномерно. Российские исследователи установили, что больше всего ПФ было в листьях и соцветиях гречихи, меньше – в стеблях и в корнях [35]. Количественные значения содержания ПФ в листьях цветущих растений гречихи, полученные другими авторами, в 5–10 раз отличаются между собой. В зависимости от сорта гречихи они варьируют от 1408–1953 до 117–200 мг/г сухого вещества (СВ) [26, 36]. Такие различия могут быть связаны с разными методами экстракции и количественного определения ПФ. Также имеет значение фаза развития растения. В работе D. Zielinska с соавторами сообщалось, что образцы травы гречихи посевной, собранные с разницей в 7 дней (в начале цветения и в период массового цветения и начала формирования плодов), существенно отличались по содержанию в них полифенольных соединений [30].

Таким образом, в литературе имеются сведения о содержании ПФ, в том числе рутина, в траве гречихи. Но работы, в которых представлены данные о нахождении этих веществ не только в сырье, но и в полученных из нее продуктах, единичны [26, 37].

Далее определили уровень ПФ в чайных напитках, приготовленных из разных частей травы гречихи (табл. 1). Результаты показали, что содержание полифенольных соединений в них было существенно ниже по сравнению с исходным сырьем. Из верхней части растения (листья, соцветия, стебель верх, купаж) экстрагировалось примерно 30 % ПФ сырья, из нижней части стебля – около 40 %. Отличия в экстрагируемости разных фракций травянистого сырья

могут быть связаны с различным компонентным составом ПФ и степенью их растворимости. Более высокие значения экстрагируемости ПФ соединений из гречишного сырья при получении настоев были получены К. Dziadek с соавторами [26].

Рутин является основным компонентом ПФ гречихи посевной, который содержится во всех органах этого растения, но в разной концентрации. Результаты хроматографического определения количественного содержания рутина показали, что меньше всего его было в нижней части стебля, существенно больше – в листьях, соцветиях и купаже (табл. 2).

Схожие результаты были получены D. Zielinska с соавторами [30]. Они установили, что, в зависимости от фазы цветения (начало цветения и обильное цветение с началом формирования плодов), в стебле гречихи посевной рутина было 0,422 и 0,763 %, листьях – 5,117 и 8,237 %, соцветиях – 7,285 и 7,761 % соответственно. Исследование J. Bystrická с соавторами, проведенное на шести сортах гречихи посевной, выявило существенные различия в содержании рутина в стебле (от 0,526 до 0,806 %) и листьях (от 2,596 до 3,790 %) в зависимости от сорта [29]. В работе S. Drazic и др. содержание рутина в листьях гречихи обыкновенной, выращенной в четырех регионах Сербии, отличающихся агроклиматическими условиями, варьировалось от 1,6 до 3,95 % [31]. О крайне низком уровне рутина в листьях шести сортов гречихи сообщали К. Dziadek с соавторами [26].

Анализ полученных результатов и данных других авторов показал, что наибольшее количество рутина накапливается в листьях и соцветиях, оно может быть выше более чем в 10 раз по сравнению со стеблем. Содержание рутина в надземной массе гречихи зависит от многих факторов: генотипа и

Таблица 2. Содержание рутина в траве гречихи и чайных напитках

Table 2. Content of rutin in buckwheat and tea samples

№	Образцы	Содержание рутина		
		Трава гречихи, % СВ	Чайные напитки, мг/100 мл	Доля от СНП**, %
1	Стебель низ	0,76 ± 0,06	1,7 ± 0,1*	10
2	Стебель верх	1,08 ± 0,16	2,4 ± 0,1*	15
3	Листья	5,05 ± 0,02	11,2 ± 0,1*	75
4	Соцветия	3,08 ± 0,05	6,80 ± 0,01*	45
5	Купаж	3,43 ± 0,25	7,6 ± 0,3	51

* – содержание рутина, определенное расчетным путем;

** – суточная норма потребления.

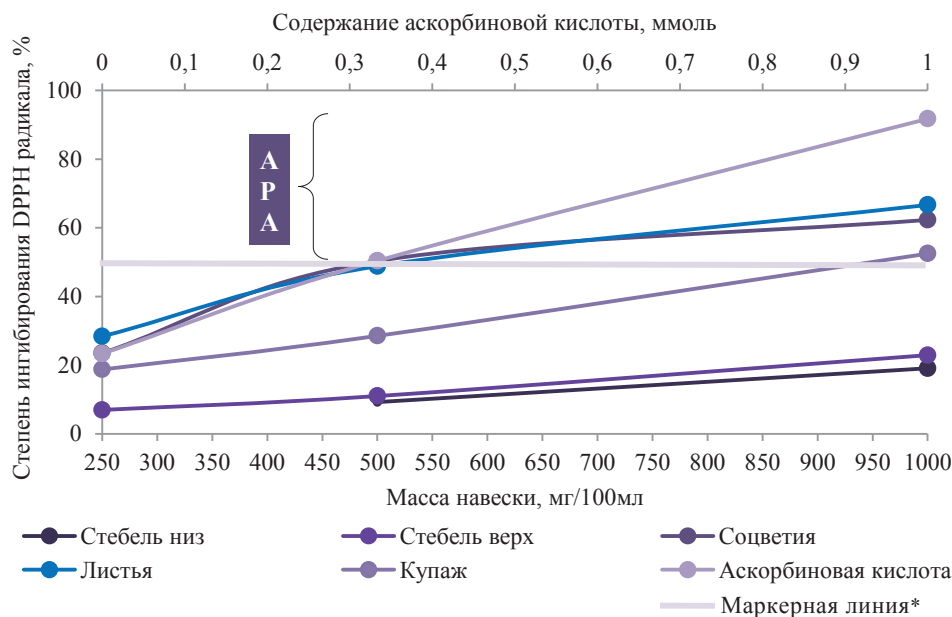
* – calculated rutin;

** – daily intake.

Таблица 1. Содержание полифенолов в траве гречихи и чайных напитков

Table 1. Content of polyphenols in buckwheat and tea samples

№	Образцы	Содержание полифенолов, % СВ	
		Трава гречихи	Чайные напитки
1	Стебель низ	1,32 ± 0,09	0,57 ± 0,01
2	Стебель верх	1,92 ± 0,13	0,650 ± 0,002
3	Листья	5,71 ± 0,30	1,78 ± 0,01
4	Соцветия	6,67 ± 0,11	1,780 ± 0,003
5	Купаж	5,45 ± 0,49	1,24 ± 0,01



* — точки пересечения маркерной линии с кривыми АОА образцов ЧН соответствуют концентрации сырья, при которой происходит улавливание 50 % DPPH радикала, что свидетельствует об их АРА

Рисунок 2. Антиоксидантная активность гречишных чайных напитков

Figure 2. Antioxidant activity of buckwheat tea beverages

фазы развития растений, местности произрастания, агроклиматических условий и др.

Знание о точном содержании в готовых пищевых продуктах тех или иных биологически активных веществ, особенно функциональных пищевых ингредиентов, имеет важнейшее значение в питании. Поскольку при технологической обработке сырья часть биологически активных соединений может разрушаться и в готовом продукте их уровень может быть существенно ниже, чем в исходном сырье, определили содержание рутина в чайных напитках из травы гречихи (табл. 2). Доля рутина, экстрагируемого в процессе приготовления ЧН из купажа травы гречихи, составляла не более 24 % от его содержания в сырье. Для других образцов установили это значение расчетным путем. Низкий уровень рутина в чайных напитках, по сравнению с сырьем, связан с его различной экстрагируемостью в воде и водно-спиртовых смесях, а также с разной степенью измельчения травы для аналитических целей и изготовления чайных напитков.

Согласно МР 2.3.1.1915-04 суточная норма потребления рутина составляет 30 мг. Одна чашка ЧН из травы гречихи (200 мл) обеспечивает, в зависимости от вида гречишного сырья, от 10 до 75 % суточной потребности организма в этом соединении (табл. 2). Следовательно, чайные напитки, приготовленные из листьев, соцветий, верхней части стебля и купажа,

могут быть отнесены к функциональным пищевым продуктам.

Поскольку для полифенольных соединений, в том числе рутина, характерна высокая антиоксидантная активность, то определили значение этого показателя в ЧН (табл. 3, рис. 2). Результаты оценивали как процент ингибирования DPPH радикала и как АОЕ при сравнении этого показателя со значениями, полученными для АК. Также определили АРА образцов (EC_{50}). Антирадикальную активность выражали через массу травы гречихи, использованную для приготовления 100 мл ЧН, при которой ингибировалось не менее 50 % свободных радикалов DPPH. Результаты показали, что наименьшая АОА была характерна для ЧН из нижней и верхней частей стебля, наибольшая — для ЧН из листьев и соцветий. Значения АОА чайных напитков, полученных из разных частей травы гречихи, согласовывались с данными по содержанию ПФ. Антирадикальная активность была отмечена только для образцов ЧН из листьев, соцветий и купажа. Использование аскорбиновой кислоты в качестве положительного контроля позволило выразить антиоксидантную активность ЧН через концентрацию этого природного антиоксиданта (табл. 3). В работах других авторов также выявлена высокая АОА листьев и соцветий по сравнению со стеблем [30]. Использование исследователями разных методов определения АОА

Таблица 3. Антиоксидантная, антирадикальная активность и антиоксидантная емкость гречишных чайных напитков

Table 3. Antioxidant activity, antiradical activity and antioxidant capacity of buckwheat tea samples

№	Образцы ЧН	АОА, %	E_{C50} , мг/100 мл	АОЕ, мкмоль АК/г СВ
1	Стебель низ	19,1 ± 0,4	—*	следы
2	Стебель верх	22,9 ± 0,3	—*	следы
3	Листья	66,7 ± 0,2	530	69
4	Соцветия	62,3 ± 0,3	500	64
5	Купаж	52,5 ± 1,4	950	52

* – не достигает.

* – below.

и соединений в качестве положительного контроля не позволяет сравнить между собой абсолютные значения этого показателя, представленные в ранее опубликованных работах [29–31].

Для установления связи между полученными значениями содержания полифенольных соединений, рутина и АОА чайных напитков провели корреляционный анализ этих показателей. Наиболее высокий коэффициент корреляции был получен для ПФ и АОА – 0,984. Для ПФ и рутина он составил 0,895, для рутина и АОА – 0,942. Эти данные свидетельствуют о том, что вклад в проявление АОА вносит не только рутин, но и другие соединения. Среди фенольных это может быть феруловая кислота, содержание которой в траве гречихи велико [26].

Выводы

В данной работе проведено исследование органолептических и антиоксидантных свойств гречишных травяных чайных напитков, выполнен количественный анализ полифенольных соединений и рутина в гречишном сырье и в полученных из него ЧН. Результаты органолептических исследований показали, что трава гречихи посевной сорта «Изумруд» может являться сырьем для получения ЧН. Наиболее подходят для этого верхушечная часть растения в виде купажа из листьев, соцветий и верхней части стебля, а также отдельно фракции листьев и соцветий. Содержание биологически активных соединений – ПФ и рутин – было выше в листьях, соцветиях и купаже по сравнению с верхней и нижней частями стебля. В чайных напитках экстрагировалось не более 40 % полифенольных соединений и 24 % рутина от их количества в сырье. Этого было достаточно для обеспечения от 15 до 75 % суточной нормы потребления рутина в

зависимости от используемого сырья. Для чайных напитков из купажа, листьев и соцветий была установлена антиоксидантная и антирадикальная активность.

Таким образом, гречишные травяные ЧН – натуральный функциональный пищевой продукт, не содержащий кофеина, обладающий приятным вкусом и ароматом без использования дополнительного сырья и ароматизаторов, характеризующийся высокой биологической активностью за счет содержания ПФ, в том числе рутина, и выраженной антиоксидантной и антирадикальной активностью.

Этот продукт может быть особенно интересен потребителям, которые избегают по ряду причин употребление кофеин-содержащих напитков, таких как черный и зеленый чай. К дополнительным преимуществам можно отнести доступность гречишного сырья и минимальные затраты при его заготовке, обработке и хранении.

Критерии авторства

Все авторы в равной степени участвовали в формулировании целей и задач исследования, выполнении экспериментальных работ и обработке результатов, подготовке рукописи к печати.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Авторы выражают благодарность заведующему Отделом селекции зерновых культур Приморского научно-исследовательского института сельского хозяйства РАН, д-р биол. наук А. Г. Клыкову, предоставившему для исследования образцы растений гречихи.

Contribution

All the authors set up the goals and objectives, performed the experimental work, processed the results, and wrote the manuscript.

Conflict of interest

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

Acknowledgments

The authors express their gratitude to A.G. Klykov, Dr.Sci.(Bio.), Head of the Department of Selection of Grain Crops of the Primorsky Research Institute of Agriculture of the Russian Academy of Sciences, who provided samples of buckwheat plants for research.

Список литературы

1. Данные ФАО по сбору зерна гречихи в 2019 г. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (дата обращения: 30.04.2021).
2. Physicochemical and functional properties of buckwheat protein product / H. Tomotake [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002. Vol. 50. № 7. P. 2125–2129. <https://doi.org/10.1021/jf011248q>.
3. Krkoskova B., Mrazova Z. Prophylactic components of buckwheat // Food Research International. 2005. Vol. 38. № 5. P. 561–568. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.11.009>.
4. Giménez-Bastida J. A., Zieliński H. Buckwheat as a functional food and its effects on health // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2015. Vol. 63. № 36. P. 7896–7913. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02498>.
5. Phytochemicals and biofunctional properties of buckwheat: A review / A. Ahmed [et al.] // Journal of Agricultural Science. 2014. Vol. 152. № 3. P. 349–369. <https://doi.org/10.1017/S0021859613000166>.
6. Arendt E., Bello F. D. Gluten-free cereal products and beverages. Amsterdam: Academic Press, 2008. 464 p.
7. Ikeda K. Buckwheat composition, chemistry, and processing // Advances in Food and Nutrition Research. 2002. Vol. 44. P. 395–434. [https://doi.org/10.1016/s1043-4526\(02\)44008-9](https://doi.org/10.1016/s1043-4526(02)44008-9).
8. Kayashita J., Shimaoka I., Akajyoh M. Hypocholesterolemic effect of buckwheat protein extract in rats fed cholesterol-enriched diets // Nutrition Research. 1995. Vol. 15. № 5. P. 691–698. [https://doi.org/10.1016/0271-5317\(95\)00036-1](https://doi.org/10.1016/0271-5317(95)00036-1).
9. Tomotake H., Kayashita J., Kato N. Hypolipidemic activity of common (*Fagopyrum esculentum* Moench) and tartary (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) buckwheat // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2015. Vol. 95. № 10. P. 1963–1970. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6981>.
10. A buckwheat protein product suppresses 1,2-dimethylhydrazine-induced colon carcinogenesis in rats by reducing cell proliferation / Z. Liu [et al.] // Journal of Nutrition. 2001. Vol. 131. № 6. P. 1850–1853. <https://doi.org/10.1093/jn/131.6.1850>.
11. Sharma A., Yadav B. S. Resistant starch: Physiological roles and food applications // Food Reviews International. 2008. Vol. 24. № 2. P. 193–234. <https://doi.org/10.1080/87559120801926237>.
12. Nutritional composition and flavonoids content of flour from different buckwheat cultivars / P. Qin [et al.] // International Journal of Food Science and Technology. 2010. Vol. 45. № 5. P. 951–958. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02231.x>.
13. Bonafaccia G., Marocchini M., Kreft I. Composition and technological properties of the flour and bran from common and tartary buckwheat // Food Chemistry. 2003. Vol. 80. № 1. P. 9–15. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00228-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00228-5).
14. Nutritional comparison in mineral characteristics between buckwheat and cereals / S. Ikeda [et al.] // Fagopyrum. 2006. Vol. 23. P. 61–65.
15. Wijngaard H. H., Arendt E. K. Buckwheat // Cereal Chemistry. 2006. Vol. 83. № 4. P. 391–401. <https://doi.org/10.1094/CC-83-0391>.
16. Rutin and flavonoid contents in three buckwheat species *Fagopyrum esculentum*, *F. tataricum*, and *F. homotropicum* and their protective effects against lipid peroxidation / P. Jiang [et al.] // Food Research International. 2007. Vol. 40. № 3. P. 356–364. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.10.009>.
17. Kreft M. Buckwheat phenolic metabolites in health and disease // Nutrition Research Reviews. 2016. Vol. 29. № 1. P. 30–39. <https://doi.org/10.1017/S0954422415000190>.
18. Bioactive compounds in functional buckwheat food / Z.-L. Zhang [et al.] // Food Research International. 2012. Vol. 49. № 1. P. 389–395. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.035>.
19. Анисимова М. М., Куркин В. А., Ежков В. Н. Качественный и количественный анализ флавоноидов травы гречихи посевной // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1–8. С. 2011–2014.
20. Анисимова М. М., Куркин В. А., Ежков В. Н. Исследования возможности использования высокоэффективной жидкостной хроматографии для стандартизации сырья гречихи посевной // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 1–4. С. 767–769.
21. Ganeshpurkar A., Saluji A. K. The pharmacological potential of rutin // Saudi Pharmaceutical Journal. 2017. Vol. 25. № 2. P. 149–164. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2016.04.025>.
22. The antioxidant effects of the flavonoids rutin and quercetin inhibit oxaliplatin-induced chronic painful peripheral neuropathy / M. I. Azevedo [et al.] // Molecular Pain. 2013. Vol. 9. № 1. <https://doi.org/10.1186/1744-8069-9-53>.
23. Antidepressant-like effect of rutin isolated from the ethanolic extract from *Schinus molle* L. in mice: Evidence for the involvement of the serotonergic and noradrenergic systems / D. G. Machado [et al.] // European Journal of Pharmacology. 2008. Vol. 587. № 1–3. P. 163–168. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2008.03.021>.
24. База данных по фенольным соединениям растений. URL: <https://phenol-explorer.eu/> (дата обращения: 30.04.2021).
25. Identification of the 100 richest dietary sources of polyphenols: an application of the Phenol-Explorer database / J. Pérez-Jiménez [et al.] // European Journal of Clinical Nutrition. 2010. Vol. 64. P. S112–S120. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2010.221>.

26. Identification of polyphenolic compounds and determination of antioxidant activity in extracts and infusions of buckwheat leaves / K. Dziadek [et al.] // European Food Research and Technology. 2018. Vol. 244. № 2. P. 333–343. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2959-2>.
27. Vachirapatama N., Chamnankid B., Kachonpadungkitti Y. Determination of rutin in buckwheat tea and *Fagopyrum tataricum* seeds by high performance liquid chromatography and capillary electrophoresis // Journal of Food and Drug Analysis. 2011. Vol. 19. № 4. P. 463–469. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2214>.
28. Physicochemical properties and antioxidant activity of Doshab (a traditional concentrated grape juice) / J. Aliakbarlu [et al.] // International Food Research Journal. 2014. Vol. 21. № 1. P. 367–371.
29. Bioactive compounds in different plant parts of various buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) cultivars / J. Bystricka [et al.] // Cereal Research Communications. 2011. Vol. 39. № 3. P. 436–444. <https://doi.org/10.1556/CRC.39.2011.3.13>.
30. Evaluation of flavonoid contents and antioxidant capacity of the aerial parts of common and tartary buckwheat plants / D. Zielińska [et al.] // Molecules. 2012. Vol. 17. № 8. P. 9668–9682. <https://doi.org/10.3390/molecules17089668>.
31. Effect of environment of the rutin content in leaves of *Fagopyrum esculentum* Moench / S. Drazic [et al.] // Plant, Soil and Environment. 2016. Vol. 62. № 6. P. 261–265. <https://doi.org/10.17221/233/2016-PSE>.
32. Kreft I., Fabjan N., Yasumoto K. Rutin content in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) food materials and products // Food Chemistry. 2006. Vol. 98. № 3. P. 508–512. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.081>.
33. Borovaya S. A., Klykov A. G. Some aspects of flavonoid biosynthesis and accumulation in buckwheat plants // Plant Biotechnology Reports. 2020. Vol. 14. № 2. P. 213–225. <https://doi.org/10.1007/s11816-020-00614-9>.
34. Breeding buckwheat for increased levels of rutin, quercetin and other bioactive compounds with potential antiviral effects / Z. Luthar [et al.] // Plants. 2020. Vol. 9. № 12. <https://doi.org/10.3390/plants9121638>.
35. Клыков А. Г., Моисеенко Л. М., Горовой П. Г. Биологические ресурсы видов рода Гречиха (*Fagopyrum* Mill.) на российском Дальнем Востоке. Владивосток: Дальнаука, 2018. 302 с.
36. Полежаева Н. Н., Павловская Н. Е. Динамика накопления биохимических соединений антиоксидантного действия в разных органах гречихи в процессе онтогенеза // Фундаментальные исследования. 2013. № 10–2. С. 357–361.
37. Rutin content in food products processed from groats, leaves, and flowers of buckwheat / C. H. Park [et al.] // *Fagopyrum*. 2000. Vol. 17. P. 63–66.

References

1. Dannye FAO po sboru zerna grechikhi v 2019 g [FAO data on buckwheat grain harvest in 2019] [Internet]. [cited 2021 Apr 30]. Available from: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
2. Tomotake H, Shimaoka I, Kayashita J, Nakajoh M, Kato N. Physicochemical and functional properties of buckwheat protein product. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002;50(7):2125–2129. <https://doi.org/10.1021/jf011248q>.
3. Krkoskova B, Mrazova Z. Prophylactic components of buckwheat. *Food Research International*. 2005;38(5):561–568. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.11.009>.
4. Giménez-Bastida JA, Zieliński H. Buckwheat as a functional food and its effects on health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015;63(36):7896–7913. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02498>.
5. Ahmed A, Khalid N, Ahmad A, Abbasi NA, Latif MSZ, Randhawa MA. Phytochemicals and biofunctional properties of buckwheat: A review. *Journal of Agricultural Science*. 2014;152(3):349–369. <https://doi.org/10.1017/S0021859613000166>.
6. Arendt E, Bello FD. *Gluten-free cereal products and beverages*. Amsterdam: Academic Press; 2008. 464 p.
7. Ikeda K. Buckwheat composition, chemistry, and processing. *Advances in Food and Nutrition Research*. 2002;44:395–434. [https://doi.org/10.1016/s1043-4526\(02\)44008-9](https://doi.org/10.1016/s1043-4526(02)44008-9).
8. Kayashita J, Shimaoka I, Akajyoh M. Hypocholesterolemic effect of buckwheat protein extract in rats fed cholesterol-enriched diets. *Nutrition Research*. 1995;15(5):691–698. [https://doi.org/10.1016/0271-5317\(95\)00036-I](https://doi.org/10.1016/0271-5317(95)00036-I).
9. Tomotake H, Kayashita J, Kato N. Hypolipidemic activity of common (*Fagopyrum esculentum* Moench) and tartary (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) buckwheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015;95(10):1963–1970. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6981>.
10. Liu Z, Ishikawa W, Huang X, Tomotake H, Kayashita J, Watanabe H, et al. A buckwheat protein product suppresses 1,2-dimethylhydrazine-induced colon carcinogenesis in rats by reducing cell proliferation. *Journal of Nutrition*. 2001;131(6):1850–1853. <https://doi.org/10.1093/jn/131.6.1850>.
11. Sharma A, Yadav BS. Resistant starch: Physiological roles and food applications. *Food Reviews International*. 2008;24(2):193–234. <https://doi.org/10.1080/87559120801926237>.
12. Qin P, Wang Q, Shan F, Hou Z, Ren G. Nutritional composition and flavonoids content of flour from different buckwheat cultivars. *International Journal of Food Science and Technology*. 2010;45(5):951–958. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02231.x>.
13. Bonafaccia G, Marocchini M, Kreft I. Composition and technological properties of the flour and bran from common and tartary buckwheat. *Food Chemistry*. 2003;80(1):9–15. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00228-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00228-5).

14. Ikeda S, Yamashita Y, Tomura K, Kreft I. Nutritional comparison in mineral characteristics between buckwheat and cereals. *Fagopyrum*. 2006;23:61–65.
15. Wijngaard HH, Arendt EK. Buckwheat. *Cereal Chemistry*. 2006;83(4):391–401. <https://doi.org/10.1094/CC-83-0391>.
16. Jiang P, Burczynski F, Campbell C, Pierce G, Austria JA, Briggs CJ. Rutin and flavonoid contents in three buckwheat species *Fagopyrum esculentum*, *F. tataricum*, and *F. homotropicum* and their protective effects against lipid peroxidation. *Food Research International*. 2007;40(3):356–364. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.10.009>.
17. Kreft M. Buckwheat phenolic metabolites in health and disease. *Nutrition Research Reviews*. 2016;29(1):30–39. <https://doi.org/10.1017/S0954422415000190>.
18. Zhang Z-L, Zhou M-L, Tang Y, Li F-L, Tang Y-X, Shao J-R, et al. Bioactive compounds in functional buckwheat food. *Food Research International*. 2012;49(1):389–395. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.035>.
19. Anisimova MM, Kurkin VA, Ezhkov VN. Qualitative and quantitative analysis of flavonoids in buckwheat sowing grass. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2010;12(1–8):2011–2014. (In Russ.).
20. Anisimova MM, Kurkin VA, Ryzhov VM. Research the possibility of using high effective liquid chromatography for standardization of *Fagopyrum sagittatum* herbs raw materials. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2011;13(1–4):767–769. (In Russ.).
21. Ganeshpurkar A, Saluji AK. The pharmacological potential of rutin. *Saudi Pharmaceutical Journal*. 2017;25(2):149–164. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2016.04.025>.
22. Azevedo MI, Pereira AF, Nogueira RB, Rolim FE, Brito GAC, Wong DVT. The antioxidant effects of the flavonoids rutin and quercetin inhibit oxaliplatin-induced chronic painful peripheral neuropathy. *Molecular Pain*. 2013;9(1). <https://doi.org/10.1186/1744-8069-9-53>.
23. Machado DG, Bettio LEB, Cunha MP, Santos ARS, Pizzolatti MG, Brighente IMC, et al. Antidepressant-like effect of rutin isolated from the ethanolic extract from *Schinus molle* L. in mice: Evidence for the involvement of the serotonergic and noradrenergic systems. *European Journal of Pharmacology*. 2008;587(1–3):163–168. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2008.03.021>.
24. Baza dannyykh po fenol'nym soedineniyam rasteniy [Database on phenolic compounds of plants] [Internet]. [cited 2021 Apr 30]. Available from: <https://phenol-explorer.eu/>.
25. Pérez-Jiménez J, Neveu V, Vos F, Scalbert A. Identification of the 100 richest dietary sources of polyphenols: an application of the Phenol-Explorer database. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2010;64:S112–S120. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2010.221>.
26. Dziadek K, Kopec A, Piatkowska E, Leszczynska T, Pisulewska E, Witkowicz R, et al. Identification of polyphenolic compounds and determination of antioxidant activity in extracts and infusions of buckwheat leaves. *European Food Research and Technology*. 2018;244(2):333–343. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2959-2>.
27. Vachirapatama N, Chamnankid B, Kachonpadungkitti Y. Determination of rutin in buckwheat tea and *Fagopyrum tataricum* seeds by high performance liquid chromatography and capillary electrophoresis. *Journal of Food and Drug Analysis*. 2011;19(4):463–469. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2214>.
28. Aliakbarlu J, Khalili S, Mohammadi S, Naghili H. Physicochemical properties and antioxidant activity of Doshab (a traditional concentrated grape juice). *International Food Research Journal*. 2014;21(1):367–371.
29. Bystricka J, Vollmannova A, Kupecsek A, Musilova J, Polakova Z, Cicova I, et al. Bioactive compounds in different plant parts of various buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench.) cultivars. *Cereal Research Communications*. 2011;39(3):436–444. <https://doi.org/10.1556/CRC.39.2011.3.13>.
30. Zielińska D, Turemko M, Kwiatkowski J, Zielinski H. Evaluation of flavonoid contents and antioxidant capacity of the aerial parts of common and tartary buckwheat plants. *Molecules*. 2012;17(8):9668–9682. <https://doi.org/10.3390/molecules17089668>.
31. Drazic S, Glamoclija D, Ristic M, Dolijanovic Z, Drazic M, Pavlovic S, et al. Effect of environment of the rutin content in leaves of *Fagopyrum esculentum* Moench. *Plant, Soil and Environment*. 2016;62(6):261–265. <https://doi.org/10.17221/233/2016-PSE>.
32. Kreft I, Fabjan N, Yasumoto K. Rutin content in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) food materials and products. *Food Chemistry*. 2006;98(3):508–512. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.081>.
33. Borovaya SA, Klykov AG. Some aspects of flavonoid biosynthesis and accumulation in buckwheat plants. *Plant Biotechnology Reports*. 2020;14(2):213–225. <https://doi.org/10.1007/s11816-020-00614-9>.
34. Luthar Z, Germ M, Likar M, Golob A, Vogel-Mikus K, et al. Breeding buckwheat for increased levels of rutin, quercetin and other bioactive compounds with potential antiviral effects. *Plants*. 2020;9(12). <https://doi.org/10.3390/plants9121638>.
35. Klykov AG, Moiseenko LM, Gorovoy PG. Biological resources of species of the genus *Fagopyrum* Mill. (buckwheat) in the Russian Far East. *Vladivostok: Dal'nauka*; 2018. 302 p. (In Russ.).
36. Polehina NN, Pavlovskaya NE. Dynamics of accumulation of biochemical compounds antioxidant action in different organs of buckwheat during ontogeny. *Fundamental research*. 2013;(10–2):357–361. (In Russ.).
37. Park CH, Kim YB, Choi YS, Heo K, Kim SL, Lee KC, et al. Rutin content in food products processed from groats, leaves, and flowers of buckwheat. *Fagopyrum*. 2000;17:63–66.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-574-583>
УДК 579.67:579.82

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Исследование устойчивости *Lactobacillus sakei* к осмотическому стрессу



А. П. Никифорова*, С. Н. Хазагаева, И. С. Хамагаева

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Россия

Поступила в редакцию: 29.03.2021

Принята после рецензирования: 22.04.2021

Принята в печать: 15.07.2021



*e-mail: anna.p.nikiforova@gmail.com

© А. П. Никифорова, С. Н. Хазагаева, И. С. Хамагаева, 2021

Аннотация.

Введение. Разработка новых технологий бактериальных препаратов, предназначенных для применения при производстве рыбных продуктов, является актуальным направлением исследований. При изготовлении рыбных продуктов применяется поваренная соль, оказывающая ингибирующее действие на большинство микроорганизмов. Цель данной работы – изучить устойчивость молочнокислых бактерий вида *Lactobacillus sakei* к различным концентрациям соли.

Объекты и методы исследования. Штаммы молочнокислых бактерий вида *L. sakei* (*L. sakei* LSK-45 и *L. sakei* DSM 20017). При проведении исследования бактерии культивировали на полужидкой среде MRS с добавлением хлорида натрия в различных концентрациях. О росте бактерий судили по оптической плотности среды и количеству жизнеспособных клеток. Морфологию клеток бактерий изучали путем микроскопирования препаратов, окрашенных по Граму.

Результаты и их обсуждение. Оба штамма *L. sakei* выдерживают концентрации соли до 6 %, о чем свидетельствует высокая плотность клеточной популяции 10^9 КОЕ/см³. При дальнейшем повышении концентрации до 10 % высокой устойчивостью к осмотическому стрессу характеризуется штамм *L. sakei* LSK-45. В конце культивирования плотность популяции снижается незначительно – до 10^8 КОЕ/см³, а выживаемость составляет 92 %. У *L. sakei* DSM 20017 отмечается частичная гибель клеток: количество жизнеспособных клеток снижается до 10^6 КОЕ/см³, а выживаемость до 62 %. Высокая устойчивость *L. sakei* LSK-45 к осмотическому стрессу обусловлена когезией клеток, которая усиливается при повышении концентрации соли и регулируется системой quorum sensing.

Выводы. Полученные данные демонстрируют гибкое реагирование *L. sakei* на изменение концентрации соли в питательной среде. При росте в экстремальных условиях *L. sakei* проявляют специальную стратегию выживания, основанную на коллективном поведении популяции микроорганизмов.

Ключевые слова. *Lactobacillus sakei*, хлорид натрия, молочнокислые бактерии, осмотический стресс, соль, солевой стресс, культивирование

Финансирование. Работа выполнена на базе ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» (ВСГУТУ) при поддержке гранта Президента РФ для молодых российских ученых-кандидатов наук (номер гранта МК-128.2020.11).

Для цитирования: Никифорова А. П., Хазагаева С. Н., Хамагаева И. С. Исследование устойчивости *Lactobacillus sakei* к осмотическому стрессу // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 574–583. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-574-583>.

Original article

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

Tolerance of *Lactobacillus sakei* to Osmotic Stress

Anna P. Nikiforova*, Sofia N. Khazagaeva, Irina S. Khamagaeva

East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

Received: March 29, 2021

Accepted in revised form: April 22, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021



*e-mail: anna.p.nikiforova@gmail.com

© A.P. Nikiforova, S.N. Khazagaeva, I.S. Khamagaeva, 2021

Abstract.

Introduction. The development of new technologies of bacterial cultures for fish products is an important area of research. Sodium chloride (NaCl) has an inhibitory effect on most microorganisms and is often used in fish industry. The present research objective was to study the effect of NaCl on the growth of lactic acid bacteria of the species *Lactobacillus sakei*.

Study objects and methods. The research featured strains of lactic acid bacteria *L. sakei* (*L. sakei* LSK-45 and *L. sakei* DSM 20017). The bacteria were cultivated in a semi-liquid MRS medium supplemented with sodium chloride at various concentrations. The optical density (OD) of the medium and the viable cell counts served as indicators of bacterial growth. The morphology of bacterial cells was studied by microscopic examination of Gram-stained bacteria.

Results and discussion. Both *L. sakei* strains proved tolerant to NaCl concentrations up to 6% as proved by the high density of the cell population – 10^9 CFU/cm³. When NaCl concentration reached 10%, *L. sakei* LSK-45 demonstrated the highest resistance to osmotic stress. At the end of cultivation, the population density dropped to 10^8 CFU/cm³, and the survival rate was 92%. The number of viable cells of *L. sakei* DSM 20017 decreased to 10^6 CFU/cm³, and the survival rate reached 62%. The high resistance of *L. sakei* LSK-45 to osmotic stress was caused by cell cohesion, which increased with the growing NaCl concentration and was regulated by the quorum sensing system.

Conclusion. *L. sakei* showed a flexible response to the changes in NaCl concentration. *L. sakei* LSK-45 strain had the highest resistance to osmotic stress.

Keywords. *Lactobacillus sakei*, sodium chloride, lactic acid bacteria, osmotic stress, salt, salt stress, cultivation

Funding. The research was performed on the premises of the East Siberian State University of Technology and Management (ESSUTM)  with the financial support from the Presidential grant for young Russian Candidates of Sciences No. MK-128.2020.11.

For citation: Nikiforova AP, Khazagaeva SN, Khamagaeva IS. Tolerance of *Lactobacillus sakei* to Osmotic Stress. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):574–583. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-574-583>.

Введение

Рыба и рыбные продукты занимают важное место в рационе питания жителей многих регионов мира. Они являются одним из важнейших источников белковых веществ, а также макро- и микронутриентов, таких как витамины, минеральные вещества (цинк, железо, йод и селен). Следует также отметить, что употребление рыбных продуктов (т. е. изготовленных из морских видов рыб) обеспечивает необходимый уровень омега-3 жирных кислот. По сравнению с традиционными рационами питания современная западная диета характеризуется дефицитом омега-3 жирных кислот и нерациональным соотношением омега-6:омега-3 полиненасыщенных жирных кислот. Омега-3 жирные кислоты имеют множество преимуществ для здоровья человека. Они положительно влияют на мозговую деятельность, сердечно-сосудистую систему и играют важную роль при внутриутробном развитии.

Большинство длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот не синтезируются млекопитающими и могут быть получены только из пищи. Рыбные продукты, в том числе рыбий жир, являются основными диетическими источниками ДГК (докозагексаеновой кислоты) и ЭПК (эйкозапентаеновой кислоты). Они являются незаменимыми кислотами и играют большую роль в нормальном развитии человека.

Известны различные способы консервирования рыбы, позволяющие сохранить, а также улучшить ее вкусовые свойства. Одним из традиционных

способов консервирования является ферментация. В некоторых регионах мира существуют традиционно производимые ферментированные рыбные продукты. Например, в странах Северной Европы производятся такие продукты как ракфиск (Норвегия) сюрстрёмминг (Швеция), хакарл (Исландия); в странах Азии – nam pla (Тайланд), jeotgal (Корея), budu (Малайзия) и др. [1, 2].

Одним из основных промысловых видов рыб Байкальского региона является байкальский омуль. Ассортимент продуктов из него достаточно разнообразен. Среди продуктов из этой рыбы особый интерес представляет омуль «с душком», который традиционно производится с применением ферментации. Готовый продукт обладает своеобразным запахом, нежной консистенцией и приятным маслянистым вкусом. Одной из особенностей продукта является его характерный аромат, интенсивность которого может варьироваться от слабой до выраженной [3].

При производстве этого продукта применяется «неуправляемая» ферментация, что является причиной высокой продолжительности изготовления и нестабильности качественных характеристик. Этот недостаток характерен для большинства традиционных ферментированных продуктов питания. В связи с этим большой научный интерес представляет применение стартовых культур различных микроорганизмов для производства ферментированных рыбных продуктов [2, 4, 5]. Ферментация с помощью стартовых культур в сочетании с применением других методов

увеличения хранимостпособности рыбопродуктов («барьерные технологии») может использоваться для повышения микробиологической безопасности и качества. Подбору бактериальных штаммов, оптимальных для производства ферментированных рыбных продуктов, посвящены исследования зарубежных ученых. Установлено, что применение бактерий рода *Pediococcus* позволяет улучшить микробиологические характеристики рыбного соуса и сократить время ферментации [4]. Известны исследования, показывающие применение культур бактерий *Lactobacillus plantarum* 120, *L. plantarum* 145 и *Pediococcus pentosaceus* 220 для производства традиционного ферментированного продукта Suau уи и позволяющие сократить продолжительность производственного процесса и повысить качество [2]. Также известно, что при промышленном производстве традиционного рыбного продукта раффиск некоторые производители добавляют сахара в небольших количествах и препараты молочнокислых бактерий [6].

Таким образом, подбор и применение стартовых культур, обладающих высокой биохимической активностью, является актуальным направлением исследований.

Молочнокислые бактерии играют важную роль при производстве пищевых продуктов. Они входят в состав бактериальных препаратов для мясной и молочной промышленности, являются важной частью микрофлоры традиционных ферментированных продуктов питания. В настоящее время молочнокислые бактерии при производстве рыбных продуктов применяются очень редко. Большой научный интерес представляет разработка бактериальных препаратов, предназначенных для использования при производстве рыбных продуктов. Бактерии этого вида являются частью микрофлоры некоторых ферментированных рыбных продуктов, таких как раффиск, jeotgal и др. [1, 6, 7]. В связи с этим перспективными для использования в составе бактериальных препаратов для производства ферментированных продуктов являются бактерии вида *Lactobacillus sakei*. Следует отметить свойства бактерий, такие как высокая биохимическая активность, способность синтезировать бактериоцины, а также ферментировать углеводы, присутствующие в рыбе [8].

При производстве мясных и рыбных продуктов обычно применяется поваренная соль, которая оказывает ингибирующее действие на большинство микроорганизмов. В связи с этим подбор штаммов микроорганизмов, применяемых для производства бактериальных препаратов для мясных и рыбных продуктов, должен проводиться с учетом толерантности бактерий к стрессовым факторам среды.

В литературе имеются данные отечественных и зарубежных ученых о механизмах адаптации бактерий, в том числе молочнокислых, к неблагоприятным

условиям [9–13]. Механизмы адаптации к стрессовым условиям различны и зависят от многих факторов.

Для осуществления активного метаболизма внутриклеточные условия, такие как ионный состав и уровень pH, должны оставаться относительно постоянными. Так как цитоплазматическая мембрана бактериальной клетки является проницаемой для воды, но образует эффективный барьер для большинства растворенных веществ, то изменение осмотической концентрации окружающей среды может быстро нарушить основные функции клеток. В подобных условиях бактериям необходимо адаптироваться к изменениям, происходящим в окружающей среде [11].

Адаптация большинства бактерий к осмотическому стрессу происходит за счет накопления в гиперосмотических условиях или высвобождения в гипоосмотических условиях растворенных веществ. Помимо влияния на осмотический баланс, растворенные вещества также могут стабилизировать ферменты. Таким образом, они обеспечивают защиту не только от осмотического стресса, но и от действия высоких и низких температур.

Молочно-кислые бактерии практически не способны синтезировать растворенные вещества. Таким образом, одним из механизмов защиты от изменения осмотической концентрации является поглощение растворенных веществ из питательной среды. Этот способ реагирования на изменение осмотических условий был ранее изучен на бактериях вида *L. plantarum* и *Lactococcus lactis* [11]. Было установлено, что основными осмопротекторами являются глицин-бетаин, холин, карнитин и сульфобетаин. Еще один механизм, позволяющий молочнокислым микроорганизмам справляться с осмотическим стрессом, – это регулирование внутриклеточных концентраций определенных аминокислот. Замечено, что концентрации пролина, глутаминовой кислоты, аланина и аспарагиновой кислоты в клетках бактерий увеличиваются в условиях высокого осмотического давления.

Следует отметить, что существуют и другие механизмы защиты бактерий от осмотического стресса.

Любое стрессовое воздействие приводит к изменению функционирования бактериальной клетки. Неблагоприятные условия культивирования вызывают переход популяции к несбалансированному росту, когда в результате изменения физико-химических условий меняется скорость реакций биохимического синтеза и соотношение макромолекулярных компонентов в клетках. Сложная система, состоящая из множества сенсорных компонентов генных регуляторных сетей, воспринимает сигналы среды и реагирует на них, запуская те или иные механизмы физиологической адаптации. В связи с этим клетки популяции

сталкиваются с необходимостью выбора стратегии выживания [9].

В ходе эволюции микроорганизмы выработали различные стратегии борьбы с вредными воздействиями. В условиях стресса клетки пытаются адаптироваться с помощью соответствующих молекулярных реакций в попытке смягчить негативные эффекты и восстановить потенциал роста или выживания. Бактерии постоянно отслеживают изменения в окружающей среде и при необходимости реагируют на изменившуюся обстановку [12].

Следует отметить ограниченную информацию о толерантности штаммов бактерий вида *L. sakei* к высоким концентрациям NaCl. Сведений о морфологических изменениях бактерий данного вида в литературе не обнаружено.

Цель данной работы – изучить устойчивость молочнокислых бактерий вида *L. sakei* к различным концентрациям соли.

Объекты и методы исследования

Экспериментальные исследования проводились в научно-исследовательских лабораториях кафедр Технология молочных продуктов. Товароведение и экспертиза товаров и Стандартизация, метрология и управление качеством ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления». Объектами экспериментальных исследований служили следующие штаммы молочнокислых бактерий вида *Lactobacillus sakei*:

а) штамм *L. sakei* LSK-45 (регистрационный номер В-8896 в коллекции);

б) штамм *L. sakei* DSM 20017 (регистрационный номер В-10905 в коллекции).

Используемые для проведения исследований штаммы были получены из фонда Национального биоресурсного центра – Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (НБЦ ВКПМ) ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (ГосНИИгенетика).

Культивирование молочнокислых бактерий проводили на полужидкой среде MRS при температуре 37 °С. Способность бактерий расти в присутствии хлорида натрия определяли на полужидкой среде MRS (ООО «НПЦ «Биокомпас-С»), в которую была добавлена поваренная соль в различных концентрациях – 0 (контроль), 2, 4, 6, 8 и 10 %. Устойчивость микроорганизмов к хлориду натрия определяли по уровню накопления биомассы (изменению оптической плотности) и количеству жизнеспособных клеток бактерий через определенное время культивирования. Измерение оптической плотности среды проводили при длине волны 590 нм на спектрофотометре PD-303 (APEL, Япония).

Количественный учет проводили методом предельных разведений на агаризованной среде MRS (ООО «НПЦ «Биокомпас-С»).

Морфологию клеток бактерий изучали путем изготовления препаратов, окрашенных по Граму. Микроскопирование полученных препаратов проводили с использованием микроскопа Микмед-6 (ЛОМО, Россия).

Статистическую обработку результатов исследований проводили с помощью компьютерной программы Microsoft Excel 2010. Исследования проводили в 2-ух повторностях. Высчитывали среднее

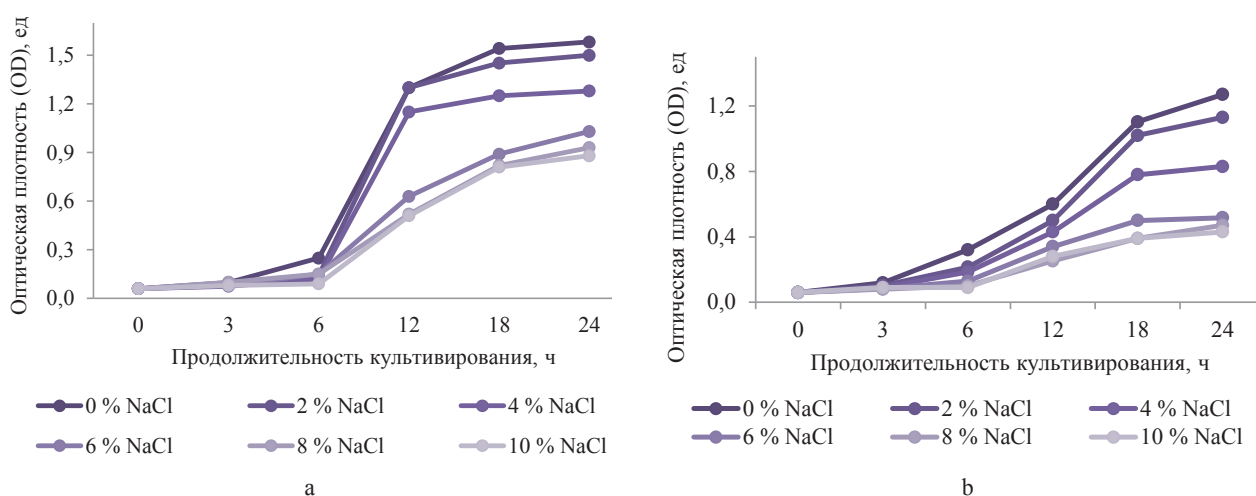


Рисунок 1. Влияние различных концентраций хлорида натрия на рост бактерий вида *Lactobacillus sakei*: а – *Lactobacillus sakei* LSK-45; б – *Lactobacillus sakei* DSM 20017

Figure 1. Effect of different concentrations of NaCl on the growth of *Lactobacillus sakei*: а – *Lactobacillus sakei* LSK-45; б – *Lactobacillus sakei* DSM 20017

Таблица 1. Влияние различных концентраций хлорида натрия на рост молочнокислых бактерий вида *Lactobacillus sakei*Table 1. Effect of different concentrations of NaCl on the growth of *Lactobacillus sakei*

Изучаемые штаммы	Количество жизнеспособных клеток бактерий, КОЕ/см ³ , при различных концентрациях хлорида натрия, %					
	0	2	4	6	8	10
<i>Lactobacillus sakei</i> LSK-45	2×10 ⁹	1×10 ⁹	1×10 ⁹	4×10 ⁸	3×10 ⁸	3×10 ⁸
<i>Lactobacillus sakei</i> DSM 20017	5×10 ⁹	3×10 ⁹	1×10 ⁹	1×10 ⁷	1×10 ⁷	3×10 ⁶

значение и ошибку средней величины. Нулевая гипотеза отклонялась при уровне значимости $P < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследований изучали влияние поваренной соли на рост молочнокислых бактерий. Данные о количестве жизнеспособных клеток бактерий и сведения о выживаемости бактерий приведены в таблице 1 и на рисунке 1. Данные, представленные на рисунке 1а, показывают, что с увеличением концентрации хлорида натрия до 6 % динамика роста биомассы практически не отличается от контрольного образца. При этом количество жизнеспособных клеток во всех образцах составляет 10⁹ КОЕ/см³ (табл. 1). Дальнейшее повышение концентрации NaCl до 10 % приводит к незначительному замедлению накопления биомассы и снижению плотности клеток в популяции *Lactobacillus sakei* LSK-45 до 10⁸ КОЕ/см³. Отмечена высокая выживаемость клеток *L. sakei* LSK-45 при высоких концентрациях хлорида натрия, которая составляет 91,2 % (рис. 2).

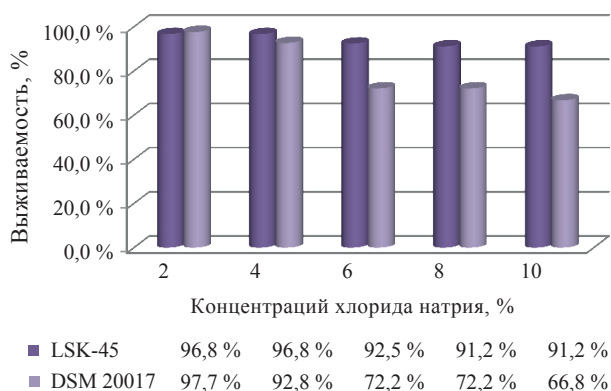
Что касается штамма *L. sakei* DSM 20017, то при концентрации хлорида натрия в питательной среде, равной 6 %, наблюдается резкое снижение активности наращивания биомассы. В конце культивирования плотность клеток достигает 10⁷ КОЕ/см³ (табл. 1). Подобная динамика наблюдается при концентрации хлорида натрия 8 %. При концентрации соли до 10 % отмечается дальнейшее замедление прироста биомассы, о чем свидетельствует снижение плотности клеток в популяции до 10⁶ КОЕ/см³ (рис. 1б). Следует отметить значительную гибель клеток *L. sakei* DSM 20017 при высоких концентрациях хлорида натрия. При концентрациях NaCl 6–8 % выживает 72 % клеток *L. sakei* DSM 20017, а при 10 % – 67 % (рис. 2).

Из анализа полученных данных следует, что *L. sakei* LSK-45 характеризуется высокой стойкостью к солевому стрессу в сравнении с *L. sakei* DSM 20017, которая зависит от штаммовой принадлежности микроорганизма. Это обусловлено тем, что штамм *L. sakei* LSK-45 был выделен из колбас, при производстве которых применяется поваренная соль.

Высокая выживаемость клеток в среде с концентрациями хлорида натрия до 10 % является

свойством, которое позволяет применять штамм *L. sakei* LSK-45 при производстве рыбных продуктов. Следует отметить, что массовая доля поваренной соли для малосоленой рыбы составляет 3–5 %, для слабосоленой – 5–7 %, для среднесоленой 7–12 %. Содержание соли в ферментированных рыбных продуктах значительно отличается, в зависимости от вида продукта, и может варьироваться от 1 до 20 % [4]. Например, в продукте раффиск может составлять от 3,5 до 7,4 %, в продукте Suan yu – 3 % [2, 6].

На следующем этапе исследований изучали влияние различных концентраций поваренной соли на морфологию молочнокислых бактерий (рис. 3). Популяция бактерий представляет собой не просто сумму клеток, а является своеобразной надорганизменной системой, одним из свойств которой является взаимодействие отдельных клеток с целью получения определенного результата [13]. Бактерии способны проявлять различные виды коллективного поведения, в том числе афiliation (когезию), кооперацию, координированную агрессию и избегание [14]. Когезия бактерий – это защитная реакция микроорганизмов (в частности против излишней солености питательной среды). При этом в

Рисунок 2. Влияние различных концентраций хлорида натрия на выживаемость бактерий вида *Lactobacillus sakei*Figure 2. Effect of different concentrations of NaCl on the survival rate of *Lactobacillus sakei*

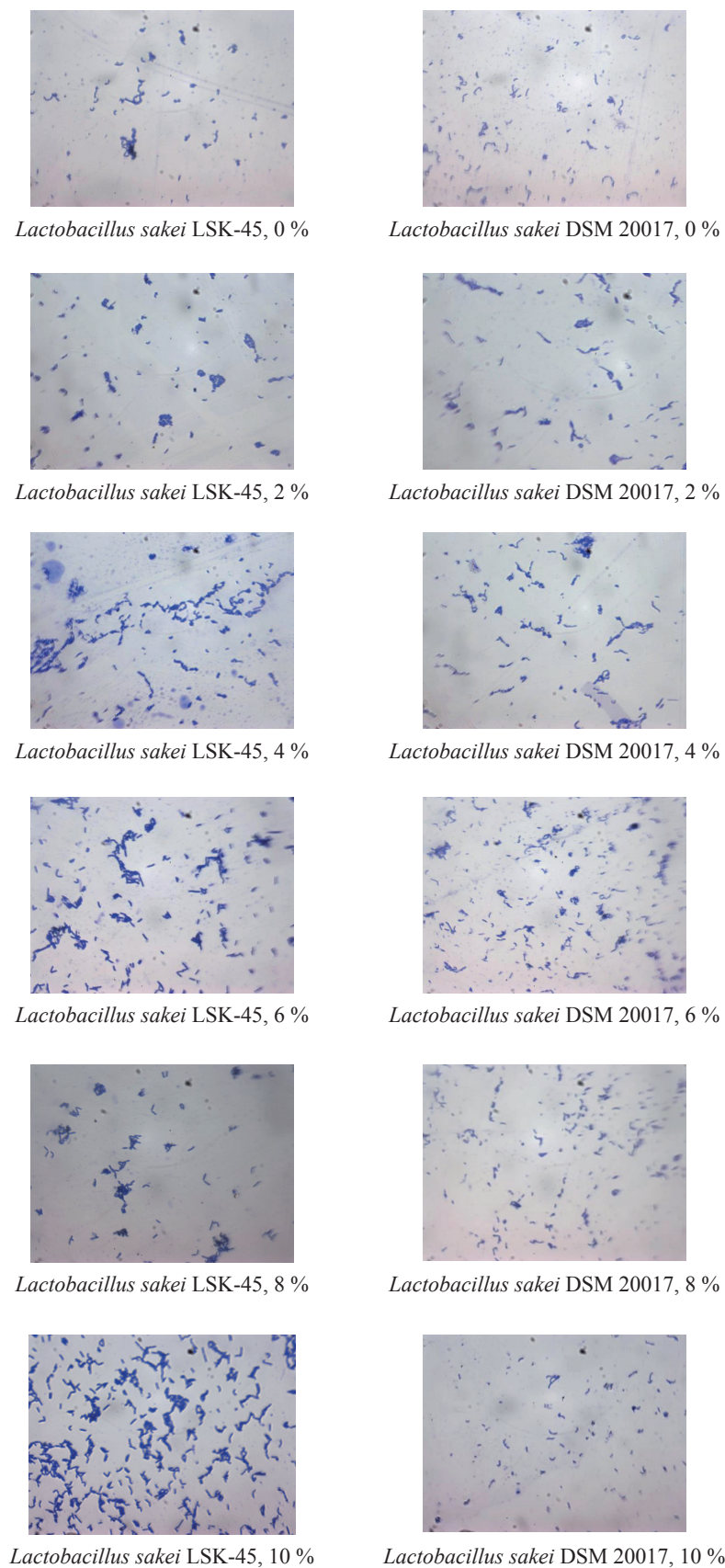


Рисунок 3. Морфология бактерий вида *Lactobacillus sakei* на среде MRS с различной концентрацией NaCl

Figure 3. Morphology of *Lactobacillus sakei* on MRS medium with different concentration of NaCl

основе когезии и адгезии бактерий лежат одинаковые механизмы [13].

Из данных, представленных на рисунке 3, видно, что у *L. sakei* LSK-45 с увеличением концентрации соли в среде усиливаются межклеточные контакты и когезия клеток. Процесс когезии регулируется системой «quorum sensing» (QS), представляющей собой тип регуляции экспрессии генов бактерий, функционирующий при высокой плотности популяции. С помощью сигнальных молекул QS систем, называемых аутоиндукторами, происходит межклеточная коммуникация бактерий, обеспечивающая их скоординированный ответ на изменение условий среды [15].

Бактерии используют QS для регулирования разнообразных физиологических процессов, в том числе механизмов толерантности к неблагоприятным факторам, таким как высокая кислотность среды, низкие температуры, присутствие антибиотиков и осмотический стресс [16, 17]. В случае молочнокислых бактерий и бифидобактерий, которые широко используются в молочной промышленности, система QS чрезвычайно важна для их выживания и обеспечения высокой биохимической активности. Кроме того, система QS связана с синтезом молочнокислыми бактериями противомикробных агентов, таких как бактериоцины [18].

Как следует из морфологических исследований, высокая плотность популяции *L. sakei* LSK-45 (10^8 – 10^9 КОЕ/см³) (табл. 1) запускает систему QS при осмотическом стрессе бактерий, обеспечивает когезию клеток и обуславливает повышенную вероятность коллективного выживания микроорганизмов.

Благодаря коммуникации (межклеточной передачи информации) бактерии могут скоординированно регулировать экспрессию генов во всей популяции. Это способствует выживанию *L. sakei* в неблагоприятных условиях среды. Такое поведение бактерий часто называют «социальным», в нем проявляются черты сходства с многоклеточными организмами.

При исследовании *L. sakei* DSM 20017 установлено, что при плотности клеточной популяции 10^7 КОЕ/см³ эффект QS отсутствует, а когезии клеток не происходит, т. к. при низкой плотности популяции бактерии продуцируют базальный уровень аутоиндукторов. Их концентрация недостаточна для активации экспрессии специфических генов у бактерий.

При дальнейшем понижении количества жизнеспособных клеток до 10^6 КОЕ/см³ отмечается наличие мелких единичных клеток бактерий. Это связано с осмотическим стрессом и последующим высыханием клеток и угнетением роста бактерий. Следует отметить, что при повышении концентрации соли в окружающей среде активность воды

снижается и она выходит из клеток, т. е. происходит обезвоживание микроорганизма (полный стресс), что приводит к высыханию и уменьшению размера клеток.

Таким образом, осмотический стресс приводит к уменьшению скорости роста, снижению общего количества образуемой биомассы, количества жизнеспособных клеток и выживаемости *L. sakei* DSM 20017.

Необходимо отметить наличие морфологически разнообразных межклеточных контактов, обеспечивающих адаптацию к высоким концентрациям соли. Морфологическая вариабельность клеток *L. sakei* обусловлена влиянием физико-химических факторов, т. е. воздействием различных концентраций соли, а также трансформацией клеток в цикле развития.

Для микроорганизмов, устойчивых к повышенным концентрациям соли, характерны модификации не только в морфологии, но и структуре клеток. Структурная адаптация клеточных мембран к осмотическому шоку состоит в изменении состава белков, липидов и жирных кислот. Жирные кислоты бактериальных липидов первыми вовлекаются в ответные реакции на стимулы внешней среды и могут служить маркерами физиологических изменений при воздействии тех или иных стрессовых факторов. В условиях солевого стресса в клеточных мембранах было обнаружено увеличение количества гликолипидов, по сравнению с амфотерными липидами, и отмечено изменение соотношения жирных кислот в фосфолипидах. Это важно для поддержания стабильности бислойной структуры мембран. Индуцированное стрессом ремоделирование мембранных липидов приводит к изменению физического состояния мембраны – ее ригидификации или флюидизации [19].

Результаты подтверждают данные проведенных ранее исследований о том, что бактерии вида *L. sakei* являются толерантными к хлориду натрия, но это свойство сильно зависит от штамма. Так, в работе С. Montanari и др. были изучены толерантность шести штаммов бактерий вида *L. sakei* к различным стрессовым факторам. Установлено, что все шесть изученных штаммов были способны расти при содержании хлорида натрия в питательной среде 8 % [20].

Полученные результаты демонстрируют гибкое реагирование *L. sakei* на изменение концентрации соли в питательной среде. Одним из механизмов адаптации к солевому стрессу является когезия, которая повышает выживаемость бактериальной популяции и устойчивость к факторам внешней среды.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее высокой устойчивостью

к солевому стрессу характеризуется штамм *Lactobacillus sakei* LSK-45. Он является перспективным для применения при ферментации рыбы. Отмечены активный рост биомассы и высокая плотность клеточной популяции *L. sakei* LSK-45 при высоких концентрациях поваренной соли (8–10 %). Это позволит применять этот штамм бактерий для производства стартовых культур для рыбоперерабатывающей промышленности.

Морфологические исследования свидетельствуют о том, что когезия клеток обеспечивает адаптацию *L. sakei* LSK-45 к высоким концентрациям хлорида натрия и регулируется системой «quorum sensing».

Критерии авторства

А. П. Никифорова – экспериментальная работа, анализ литературных данных, подготовка первоначального варианта текста и доработка текста статьи. С. Н. Хазагаева – консультации по вопросам проведения экспериментальных исследований. И. С. Хамагаева – формулирование основной концепции исследования, общее руководство исследованием, критический анализ первоначального варианта текста. А. П. Никифорова, С. Н. Хазагаева и И. С. Хамагаева имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Выражаем благодарность Совету по Грантам Президента РФ за финансирование исследования (номер гранта МК-128.2020.11).

Contribution

A.P. Nikiforova was responsible for the experimental work, review, initial manuscript, and proofreading. S.N. Khazagaeva provided consultations on the experimental research. I.S. Khamagaeva designed the basic research concept, supervised the research, and analyzed the initial version of the text. A.P. Nikiforova, S.N. Khazagaeva, and I.S. Khamagaeva have equal copyright for the article and bear equal responsibility for any possible cases of plagiarism.

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 the Council for Grants of the President of the Russian Federation for funding the study (grant No. МК-128.2020.11).

Список литературы

1. Fermented and ripened fish products in the northern European countries / T. Skåra [et al.] // Journal of Ethnic Foods. 2015. Vol. 2. № 1. P. 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2015.02.004>.
2. Quality, functionality, and microbiology of fermented fish: a review / J. Zang [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020. Vol. 60. № 7. P. 1228–1242. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1565491>.
3. Nikiforova A., Zamaratskaia G., Pickova J. Fatty acid composition of salted and fermented products from Baikal omul (*Coregonus autumnalis migratorius*) // Journal of Food Science and Technology. 2020. Vol. 57. № 2. P. 595–605. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04091-z>.
4. Selection of autochthonous strains as starter cultures for fermented fish products / B. Speranza [et al.] // Journal of Food Science. 2015. Vol. 80. № 1. P. M151–M160. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12721>.
5. Kongkiattikajorn J. Potential of starter culture to reduce biogenic amines accumulation in *som-fug*, a Thai traditional fermented fish sausage // Journal of Ethnic Foods. 2015. Vol. 2. № 4. P. 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2015.11.005>.
6. Exploring the brine microbiota of a traditional Norwegian fermented fish product (*Rakfisk*) from six different producers during two consecutive seasonal productions / G. A. Bjerke [et al.] // Foods. 2019. Vol. 8. № 2. <https://doi.org/10.3390/foods8020072>.
7. Bacterial community analysis in three types of the fermented seafood, *jeotgal*, produced in South Korea / E.-J. Song [et al.] // Bioscience, Biotechnology and Biochemistry. 2018. Vol. 82. № 8. P. 1444–1454. <https://doi.org/10.1080/09168451.2018.1469395>.
8. Zagorec M., Champomier-Vergès M.-C. *Lactobacillus sakei*: A starter for sausage fermentation, a protective culture for meat products // Microorganisms. 2017. Vol. 5. № 3. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5030056>.
9. Магданова Л. А., Голясная Н. В. Гетерогенность как адаптивное свойство бактериальной популяции // Микробиология. 2013. Т. 82. № 1. <https://doi.org/10.7868/S0026365613010072>.
10. Differential analysis of stress tolerance and transcriptome of probiotic *Lactocaseibacillus casei* zhang produced from solid-state (SSF-SW) and liquid-state (LSF-MRS) fermentations / P. Wu [et al.] // Microorganisms. 2020. Vol. 8. № 11. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8111656>.

11. Stress responses in lactic acid bacteria / M. Van de Guchte [et al.] // Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology. 2002. Vol. 82. № 1–4. P. 187–216. <https://doi.org/10.1023/A:1020631532202>.
12. Stress physiology of lactic acid bacteria / K. Papadimitriou [et al.] // Microbiology and Molecular Biology Reviews. 2016. Vol. 80. № 3. P. 837–890. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00076-15>.
13. Олескин А. В. Биосоциальность одноклеточных (на материале исследований прокариот) // Журнал общей биологии. 2009. Т. 70. № 3. С. 225–238.
14. Николаев Ю. А. Внеклеточные факторы адаптации бактерий к неблагоприятным условиям среды // Прикладная биохимия и микробиология. 2004. Т. 40. № 4. С. 387–397.
15. Абатуров А. Е., Крючко Т. А. Ингибирование бактериального кворум сенсинга (общие представления) // Здоровье ребенка. 2019. Т. 14. № 1. С. 54–59. <https://doi.org/10.22141/2224-0551.14.1.2019.157881>.
16. The response of LuxS/AI-2 quorum sensing in *Lactobacillus fermentum* 2-1 to changes in environmental growth conditions / Y. Gu [et al.] // Annals of Microbiology. 2018. Vol. 68. № 5. P. 287–294. <https://doi.org/10.1007/s13213-018-1337-z>.
17. Zhao X., Yu Z., Ding T. Quorum-sensing regulation of antimicrobial resistance in bacteria // Microorganisms. 2020. Vol. 8. № 3. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8030425>.
18. Kareb O., Aïder M. Quorum sensing circuits in the communicating mechanisms of bacteria and its implication in the biosynthesis of bacteriocins by lactic acid bacteria: A review // Probiotics and Antimicrobial Proteins. 2020. Vol. 12. № 1. P. 5–17. <https://doi.org/10.1007/s12602-019-09555-4>.
19. Шипко Е. С., Дуванова О. В. Изменение спектра жирных кислот как один из механизмов адаптации/персистенции микроорганизмов // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2019. № 5. С. 109–118. <https://doi.org/10.36233/0372-9311-2019-5-109-118>.
20. Phenotypic diversity of *Lactobacillus sakei* strains / C. Montanari [et al.] // Frontiers in Microbiology. 2018. Vol. 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02003>.

References

1. Skåra T, Axelsson L, Stefansson G, Ekstrand B, Hagen H. Fermented and ripened fish products in the northern European countries. Journal of Ethnic Foods. 2015;2(1):18–24. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2015.02.004>.
2. Zang J, Xu Y, Xia W, Regensten JM. Quality, functionality, and microbiology of fermented fish: a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020;60(7):1228–1242. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1565491>.
3. Nikiforova A, Zamaratskaia G, Pickova J. Fatty acid composition of salted and fermented products from Baikal omul (*Coregonus autumnalis migratorius*). Journal of Food Science and Technology. 2020;57(2):595–605. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04091-z>.
4. Speranza B, Racioppo A, Bevilacqua A, Beneduce L, Sinigaglia M, Corbo MR. Selection of autochthonous strains as starter cultures for fermented fish products. Journal of Food Science. 2015;80(1):M151–M160. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12721>.
5. Kongkiattikajorn J. Potential of starter culture to reduce biogenic amines accumulation in *som-fug*, a Thai traditional fermented fish sausage. Journal of Ethnic Foods. 2015;2(4):186–194. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2015.11.005>.
6. Bjerke GA, Rudi K, Avershina E, Moen B, Blom H, Axelsson L. Exploring the brine microbiota of a traditional Norwegian fermented fish product (Rakfisk) from six different producers during two consecutive seasonal productions. Foods. 2019;8(2). <https://doi.org/10.3390/foods8020072>.
7. Song E-J, Lee E-S, Park S-L, Choi H-J, Roh SW, Nam Y-D. Bacterial community analysis in three types of the fermented seafood, jeotgal, produced in South Korea. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry. 2018;82(8):1444–1454. <https://doi.org/10.1080/09168451.2018.1469395>.
8. Zagorec M, Champomier-Vergès M-C. *Lactobacillus sakei*: A starter for sausage fermentation, a protective culture for meat products. Microorganisms. 2017;5(3). <https://doi.org/10.3390/microorganisms5030056>.
9. Magdanova LA, Golyasnaya NV. Heterogeneity as an adaptive trait of microbial populations. Microbiology. 2013;82(1). (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0026365613010072>.
10. Wu P, An J, Chen L, Zhu Q, Li Y, Mei Y, et al. Differential analysis of stress tolerance and transcriptome of probiotic *Lactocaseibacillus casei* zhang produced from solid-state (SSF-SW) and liquid-state (LSF-MRS) fermentations. Microorganisms. 2020;8(11). <https://doi.org/10.3390/microorganisms8111656>.
11. Van de Guchte M, Serror P, Chervaux C, Smokvina T, Ehrlich SD, Maguin E. Stress responses in lactic acid bacteria. Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology. 2002;82(1–4):187–216. <https://doi.org/10.1023/A:1020631532202>.
12. Papadimitriou K, Alegria A, Bron PA, De Angelis M, Gobbetti M, Kleerebezem M, et al. Stress physiology of lactic acid bacteria. Microbiology and Molecular Biology Reviews. 2016;80(3):837–890. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00076-15>.

13. Oleskin AV. Biosocial phenomena in unicellular organisms (exemplified by data concerning Prokaryota). Journal of General Biology. 2009;70(3):225–238. (In Russ.).
14. Nikolaev YuA. Extracellular factors of bacterial adaptation to unfavorable environmental conditions. Applied Biochemistry and Microbiology. 2004;40(4):387–397. (In Russ.).
15. Abaturov AE, Kryuchko TA. Inhibition of bacterial quorum sensing (general concept). Child's health. 2019;14(1):54–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.22141/2224-0551.14.1.2019.157881>.
16. Gu Y, Li B, Tian J, Wu R, He Y. The response of LuxS/AI-2 quorum sensing in *Lactobacillus fermentum* 2-1 to changes in environmental growth conditions. Annals of Microbiology. 2018;68(5):287–294. <https://doi.org/10.1007/s13213-018-1337-z>.
17. Zhao X, Yu Z, Ding T. Quorum-sensing regulation of antimicrobial resistance in bacteria. Microorganisms. 2020;8(3). <https://doi.org/10.3390/microorganisms8030425>.
18. Kareb O, Aider M. Quorum sensing circuits in the communicating mechanisms of bacteria and its implication in the biosynthesis of bacteriocins by lactic acid bacteria: A review. Probiotics and Antimicrobial Proteins. 2020;12(1):5–17. <https://doi.org/10.1007/s12602-019-09555-4>.
19. Shipko ES, Duvanov OV. Changing the spectrum of fatty acids as one of the mechanisms of adaptation/persistence of microorganisms. Journal of Microbiology Epidemiology Immunobiology. 2019;(5):109–118. (In Russ.). <https://doi.org/10.36233/0372-9311-2019-5-109-118>.
20. Montanari C, Barbieri F, Magnani M, Grazia L, Gardini F, Tabanelli G. Phenotypic diversity of *Lactobacillus sakei* strains. Frontiers in Microbiology. 2018;9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02003>.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-584-592>
УДК 637.146.1

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Развитие молочнокислых микроорганизмов при ферментировании субстрата с повышенной концентрацией углеводов



В. В. Кондратенко^{ORCID}, Н. Е. Посокина^{*ORCID},
А. Ю. Колоколова^{ORCID}, А. И. Захарова^{ORCID}

Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования^{ORCID}, Видное, Россия

Поступила в редакцию: 18.04.2021

Принята после рецензирования: 26.05.2021

Принята в печать: 15.07.2021

*e-mail: Labtech45@yandex.ru



© В. В. Кондратенко, Н. Е. Посокина, А. Ю. Колоколова, А. И. Захарова, 2021

Аннотация.

Введение. Создание благоприятных условий для развития молочнокислых микроорганизмов является одним из решающих факторов в получении ферментированных продуктов высокого качества. Цикл их жизни напрямую зависит от количества и состава углеводов, находящихся в растительной ткани. Поскольку значимая часть углеводов расходуется на этапе инициирования процесса ферментации, то возникает необходимость в дополнительном обогащении. Цель исследования – изучить динамику развития молочнокислых микроорганизмов при ферментации растительного субстрата с модифицированным углеводным составом.

Объекты и методы исследования. Модельная среда на базе белокочанной капусты сорта «Парус», ферментированная штаммами молочнокислых микроорганизмов: на первом этапе ферментации – *Leuconostoc mesenteroides*, на втором этапе – *Lactobacillus casei* ВКМ 536, *Lactobacillus plantarum* ВКМ В-578, *Lactobacillus brevis* ВКМ В-1309 и их парными консорциумами. Исходное растительное сырье подвергали измельчению и удалению нативной микрофлоры для развития целевых молочнокислых микроорганизмов, затем инокулировали *L. mesenteroides*. После прохождения первого этапа ферментирования вносили целевые молочнокислые микроорганизмы с одновременной корректировкой углеводного состава субстрата.

Результаты и их обсуждение. Разработка режимов управляемой двухступенчатой микробной трансформации растительного сырья с использованием модифицирования углеводного состава субстрата предполагает выбор оптимального состава консорциума и установление оптимальной продолжительности ферментирования на основном этапе микробной обработки сырья. В результате данного исследования установлено, что при ферментировании растительного субстрата консорциумом (*L. casei* + *L. plantarum*) с увеличенной углеводной составляющей выраженность уменьшения концентрации в течение всего исследованного периода достаточно мала. В период от 5 до 30 дней уменьшение концентрации микроорганизмов не превысило одного порядка, что при начальной концентрации в 8 порядков является малозначимым.

Выводы. Обогащение углеводами растительного субстрата позволяет поддерживать концентрацию молочнокислых микроорганизмов на уровне, сравнимом с концентрацией на момент инокуляции. Экспериментально установлена малая вариативность концентраций микроорганизмов как в монокультурах, так и в их парных консорциумах в течение всего основного этапа ферментирования модельной среды с измененной углеводной составляющей. К концу основного этапа ферментирования концентрации микроорганизмов не опускаются ниже 10^7 КОЕ/г, что позволяет рассматривать получаемую в итоге систему «микрофлора – субстрат» как обладающую пробиотическими свойствами.

Ключевые слова. Ферментирование, белокочанная капуста, микроорганизмы, консорциумы, среда, сахара

Финансирование. Работа выполнена на базе Всероссийского научно-исследовательского института технологии консервирования (ВНИИТеК)^{ORCID} в рамках НИР 0585-2019-000913-С03 «Развить биотехнологические основы трансформации растительной ткани и ее биополимерных комплексов для разработки технологий управляемого ферментирования и производства некрахмальных гидроколлоидов», а также в рамках выполнения государственного задания ВНИИТеК по теме FNEN-2019-00015.

Для цитирования: Развитие молочнокислых микроорганизмов при ферментировании субстрата с повышенной концентрацией углеводов / В. В. Кондратенко [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 584–592. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-584-592>.

Original article

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

Development of Lactic acid Microorganisms during Fermentation of Substrate with an Increased Concentration of Carbohydrates

Vladimir V. Kondratenko^{ORCID}, Natalia E. Posokina*^{ORCID},
Anastasiya Yu. Kolokolova^{ORCID}, Anna I. Zakharova^{ORCID}

All-Russian Research Institute of Canning Technology^{ORCID}, Vidnoe, Russia

Received: April 18, 2021

Accepted in revised form: May 26, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021

*e-mail: Labtech45@yandex.ru



© V.V. Kondratenko, N.E. Posokina, A.Yu. Kolokolova, A.I. Zakharova, 2021

Abstract.

Introduction. Creating favorable conditions for the development of lactic acid microorganisms is one of the main factors in obtaining high-quality fermented products. The cycle of their life directly depends on the amount and composition of carbohydrates in plant tissue. Since a significant part of carbohydrates is consumed at the initial stage of fermentation process, additional fortification is needed. The research objective was to study the development rate of lactic acid microorganisms during the fermentation of plant substrate with a modified carbohydrate composition.

Study objects and methods. The research featured model medium based on white cabbage of the Parus variety. The medium was fermented with different strains of lactic acid microorganisms: at the first stage of fermentation – *Leuconostoc mesenteroides*, at the second stage – *Lactobacillus casei* VKM 536, *Lactobacillus plantarum* VKM B-578, *Lactobacillus brevis* VKM B-1309, and their paired consortia. The initial plant material was subjected to grinding and removal of native microflora for the development of target lactic acid microorganisms, then inoculated with *L. mesenteroides*. The target lactic acid microorganisms were introduced after the first stage of fermentation with simultaneous adjustment of the carbohydrate composition.

Results and discussion. The technology included modes of controlled two-stage microbial transformation of plant raw materials using modification of the carbohydrate composition of the substrate. A number of experiments made it possible to select the optimal composition of the consortium and establish the optimal fermentation time at the main stage of microbial processing. When the plant substrate was fermented by the consortium of *L. casei* + *L. plantarum* with an increased carbohydrate component, the decrease in the concentration was quite small: after 5–30 days, the decrease in the concentration of microorganisms did not exceed one order of magnitude, which was insignificant at an initial concentration of eight orders of magnitude. In other consortia, the decrease in the concentration of microorganisms was more pronounced.

Conclusion. The fortification of the vegetable substrate with carbohydrates made it possible to maintain the concentration of lactic acid microorganisms at a level comparable to the concentration at the time of inoculation. The concentrations of microorganisms varied slightly in both monocultures and their paired consortia during the entire main fermentation stage of the model medium with a modified carbohydrate component. By the end of the main fermentation stage, the concentration of microorganisms did not fall below 10^7 CFU/g. Therefore, the resulting system “microflora – substrate” proved to have probiotic properties. The study can be used to develop new technological modes of controlled step-by-step fermentation of plant raw materials in order to improve the quality indicators of the final product.

Keywords. Fermentation, white cabbage, microorganisms, consortia, medium, sugars

Funding. The research was conducted on the premises of All-Russian Research Institute of Canning Technology (VNIITeK)^{ORCID} within research project No. 0585-2019-000913-C03 “Improving the biotechnological bases for plant tissue and its biopolymer complexes transformation to develop the technologies for controlled fermentation and production of non-starch hydrocolloids”, as well as part of state assignment for the VNIITeK (topic FNEN-2019-00015).

For citation: Kondratenko VV, Posokina NE, Kolokolova AY, Zakharova AI. Development of Lactic acid Microorganisms during Fermentation of Substrate with an Increased Concentration of Carbohydrates. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):584–592. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-584-592>.

Введение

Овощи и фрукты имеют собственную микрофлору, состав которой зависит от особенностей растительной матрицы, а также от географического происхождения растительного сырья. Такая микрофлора включает в себя дрожжи (родов *Saccharomyces*, *Pichia*, *Candida*, *Torulaspora*), грибы (*Rhizopus* spp.), аэробные (*Bacillus* spp. и *Acetobacter* spp.) и анаэробные микроорганизмы (молочнокислые бактерии), которые отвечают за спонтанное (самопроизвольное) брожение сырых овощей и фруктов, способствуя их сохранению и стабильности [1–3].

При благоприятных условиях ферментирования овощей и фруктов происходит за счет молочнокислых бактерий с участием или без участия дрожжей и *Bacillus* spp. Молочнокислые бактерии являются продуцентами молочной кислоты и представляют собой неподвижные, неспорообразующие организмы. Увеличивая кислотность ферментируемой среды, они предотвращают развитие патогенных микроорганизмов. При этом, наряду с кислотами, они продуцируют ряд антагонистических комплексов, таких как бактериоцины и противогрибковые вещества [3–5]. Молочнокислые бактерии вносят

свой вклад в развитие вкуса и аромата, текстуры и срока годности ферментированных продуктов благодаря широкому спектру соединений, биосинтезируемых в процессе ферментирования, таких как органические кислоты, перекись водорода, антимикробные и ароматические соединения, экзополисахариды и т. д.

В своей работе X. Yang и др. исследовали динамику микробного сообщества и изменения метаболома при самопроизвольном ферментировании квашеной капусты из разных хозяйств Северного Китая [3]. В работе приведены результаты корреляции между микробиотой и летучими соединениями, которые в перспективе могут быть использованы для дальнейшего совершенствования процесса ферментирования и производства высококачественной квашеной капусты.

В молочнокислом ферментировании овощей основная роль принадлежит микроорганизмам следующих родов: *Lactobacillus*, *Weissella*, *Enterococcus*, *Pediococcus* и *Leuconostoc*. Из их числа самым распространенным и метаболически универсальным видом является *Lactobacillus plantarum*. Он достаточно легко приспосабливается к различным условиям обитания и, в зависимости от условий, может быть как гомоферментативным, так и гетероферментативным микроорганизмом. Его штаммы продуцируют специфические антибиотические вещества, которые угнетают развитие микроорганизмов порчи таких как, например, бактерии группы кишечных палочек и маслянокислые бактерии. Благодаря своим уникальным свойствам *L. plantarum* широко используют в процессах ферментирования, в том числе овощей и овощных соков [6, 7].

В научных статьях [8–14] представлены результаты исследований антибактериальной активности и функциональных свойств различных штаммов молочнокислых бактерий, выделенных из овощей и фруктов.

В работе W. Zhao и др. исследованы 139 штаммов молочнокислых бактерий, выделенных из традиционных румынских ферментированных овощей, на способность продуцировать экзополисахариды (ЭПС) и их антагонистическую активность против набора из девяти молочнокислых штаммов, трех штаммов *Bacillus* spp. и четырех грамотрицательных бактерий [8]. 85 из испытанных штаммов показали переменную антимикробную активность против *Listeria monocytogenes* ATCC 1911, 35 штаммов показали ограниченную зону ингибирования против *Escherichia coli* ATCC25922 и 26 штаммов – против *Salmonella enterica* ATCC 14024. Ни один из данных штаммов не показал противомикробную активность в отношении золотистого стафилококка ATCC 25923. Несколько штаммов проявляли антибактериальную активность в отношении более

чем одного индикаторного штамма. Например, *L. plantarum* 307, *Lactobacillus brevis* 308 и *L. plantarum/pentosus* 358 были активны против пяти используемых индикаторных штаммов, в то время как другие 23 молочнокислых штамма были активны против трех индикаторных штаммов. В работе отмечается, что молочнокислые бактерии, выделенные из румынских ферментированных овощей, можно рассматривать в качестве важных источников штаммов молочнокислых бактерий с функциональными свойствами, такими как производство экзополисахаридов (ЭПС) или бактериоцинов. Два штамма молочнокислых бактерий, продуцирующих высокие количества высокомолекулярных ЭПС, могут быть использованы для контроля реологических свойств ферментированных продуктов. Проявляющие антибактериальную активность штаммы могут быть использованы в пробиотическом комплексе или для увеличения срока хранения некоторых видов пищевых ферментированных продуктов.

В исследовании Monika и др. представлены результаты выделения, идентификации и характеристики молочнокислых бактерий, полученных из традиционных соленых огурцов Химачал-Прадеша (Индия) [9]. В традиционных соленых огурцах было обнаружено шесть различных штаммов молочнокислых бактерий, большинство из которых показали зону ингибирования патогенных микроорганизмов, восприимчивость к антибиотикам, выработку экзополисахаридов и активность таких полезных ферментов, как бета-галактозидаза, фитаза, бета-глюкозидаза, протеаза и амилаза. Таким образом, полученные штаммы обладают большим потенциалом для использования в качестве пробиотиков. Результаты исследования индийских ферментированных продуктов представлены также в статье [10], авторы которой установили ряд штаммов молочнокислых бактерий из ферментированных пищевых продуктов западной части Индии. Выделенные штаммы *L. plantarum* 86, *Weissella cibaria* 142 & 92 и *P. parvulus* A11 показали значительный пробиотический потенциал, высокую толерантность к низкому pH и солям желчи.

В своей работе X. Yang с соавторами исследовал около 30 ферментированных молочных и растительных продуктов, производимых в Аргентине [11]. Выделенные 64 изоляты были идентифицированы как штаммы молочнокислых бактерий и были подвергнуты скринингу на предмет соответствующих технологических свойств для производства ферментированных пищевых продуктов. Большинство штаммов проявляли умеренную или хорошую подкисляемость ($> 0,04$ ед. pH/ч) и протеолитическую способность (свободные аминокислоты > 1 ммоль/л), продуцировали диацетил и/или ацетон и были устойчивы к 4 % NaCl. Основываясь на данных по

кислотности и осмотоолерантности, были отобраны шесть штаммов. Их идентифицировали с помощью секвенирования 16S рДНК (97–100 % идентичности): *Lactobacillus rhamnosus* CR L 2159 и CRL2164, *L. plantarum* CRL2161 и CRL2162, *Weissella viridescens* CRL2160 и *Weissella paramesenteroides* CRL2163. Далее были изучены свойства этих штаммов для оценки возможности использования в производстве маринованных огурцов. При начальном pH 4,5 и 7 % NaCl *L. plantarum* CRL2162 и *L. rhamnosus* CRL2164 показали наилучшие результаты с высокой ингибирующей активностью в отношении *E. coli* и *Listeria innocua*. Среди отобранных штаммов не было явного антагонизма, который бы исключал их использование в смешанных культурах. Свойства отобранных образцов свидетельствуют об их потенциале в качестве заквасочных культур для получения стандартизированных ферментированных овощных продуктов высокого качества.

В исследовании J.-H. Ye и др. изучалось влияние ферментирования молочнокислыми бактериями на химический профиль автоклавированного пюре брокколи с использованием 7 молочнокислых изолятов брокколи (обозначенных как F1–F5, BF1 и BF2) [13]. Общие концентрации глюкозинолатов (глюкоиберин, прогоитрин и глюкорафанин) и 10 основных фенолов увеличились с уровня следа и 289 мкг общего фенола/г сухого веса (DW) соответственно в автоклавированном пюре брокколи до 55–359 мкг/г DW и от 903 до ~3105 мкг/г DW соответственно в ферментированном пюре брокколи. После ферментирования пюре брокколи изолятами F1–F5 увеличилось содержание флоретиновой кислоты, а после ферментирования изолятами в BF1 и BF2 повысился уровень глюкорафанина. Авторы пришли к выводу, что молочнокислое ферментирование является перспективным способом повышения содержания глюкозинолатов и полифенольных соединений в брокколи.

Y. J. Oh с соавторами в своем исследовании проанализировал таксономический состав квашеной капусты, ферментированной при температуре 20–22 °C в течение 14-дневного периода ферментирования [15]. Таксономический состав этой квашеной капусты соответствовал таксономическому составу квашеной капусты, ферментированной в традиционном холодном температурном диапазоне. Это позволило авторам предположить, что ферментирование при 20–22 °C может быть жизнеспособным вариантом для получения квашеной капусты со структурой бактериального сообщества, которая соответствует квашеной капусте, полученной более традиционным «холодным» брожением. Это может представлять особый интерес для производителей, которые могли бы ускорить свой производственный процесс, не жертвуя таксономическим составом, лежащим в основе потребительского интереса к пробиотикам и ферментированным продуктам.

В работе M. Zabat и др. представлены результаты исследований по выбору и характеристике смешанных заквасок для молочнокислого брожения овощных смесей моркови, капусты, свеклы и лука [16].

Таким образом, фрукты и овощи представляют собой продукты высокой питательной и функциональной ценности с свойствами, способствующими укреплению здоровья [17]. Однако из-за короткого срока их хранения огромное количество выбрасывается как отходы, приводящие к большим экономическим потерям и накоплению органических отходов. Разработка ферментированных растительных продуктов питания и напитков представляет собой альтернативу их устойчивому использованию, а также превращает их в носителей потенциальных пробиотиков, представляющих ценность для потребителей, страдающих аллергией на молочные белки или непереносимостью лактозы. Использование контролируемого производственного процесса с использованием полезных автохтонных микроорганизмов вместо традиционно применяемого спонтанного брожения рекомендуется для получения продуктов с желательными питательными и функциональными, сенсорными и технологическими свойствами. Таким образом, фрукты и овощи могут быть преобразованы в ферментированные продукты со специфическими свойствами, направленными на улучшение конкретных патологий или здоровья человека в целом.

Помимо повышения функциональных свойств и пользы для здоровья ферментированных фруктовых или овощных продуктов, чрезвычайно важно, чтобы отбор новых автохтонных микроорганизмов был направлен на улучшение органолептического качества ферментированного продукта и его приемлемости для потребителей. Эти аспекты могут быть удовлетворены путем отбора микроорганизмов, продуцирующих ключевые ароматические соединения и экзополисахариды для улучшения вкуса, консистенции и общей привлекательности конечного продукта. Эти исследования должны быть дополнены обширным изучением параметров процесса ферментирования для разработки коммерчески жизнеспособного ферментированного растительного продукта для рынка функциональных пищевых продуктов. Кроме того, подтверждение предлагаемых санитарных требований к выбранным автохтонным микроорганизмам и ферментированным растительным продуктам является еще одной важной целью, достигаемой для повышения коммерческой привлекательности ферментированных продуктов.

В этой связи является актуальным проведение исследований, направленных на разработку технологических режимов управляемого ступенчатого ферментирования растительного сырья для обеспечения гарантированных качественных показателей конечного продукта.

Целью проводимых работ стало изучение динамики развития парных консорциумов молочнокислых микроорганизмов в субстрате с углеводной корректировкой как одного из основных этапов разработки технологии «управляемой» ферментации растительного сырья.

Объекты и методы исследования

В работе использованы следующие штаммы микроорганизмов:

– *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *mesenteroides* 37Y, номер в коллекции ВКПМ В-8818. Происхождение штамма: ATCC 8293, DSM 20343, ССМ 1803, NCDO 523, NCIB 8023. Условия культивирования – среда MRS, температура 30 °С. Культурально-морфологические признаки: клетки – овальные кокки, колонии – мелкие, белого цвета и округлой формы. Штамм предоставлен Всероссийской коллекцией промышленных микроорганизмов ФГУП ГосНИИГенетика;

– *Lactobacillus brevis* В-1309. Культурально-морфологические особенности штамма: мелкие палочки с закругленными концами, размер 0,7–1,0×2,0–4,0 мкм. Грамположительные, неспорообразующие, гетерофакультативный анаэроб. Сбраживает лактозу, глюкозу, фруктозу и другие сахара;

– *Lactobacillus plantarum* 578/26. Грамположительные, неспорообразующие, аэротолерантные. Сбраживают фруктозу, глюкозу, лактозу и другие сахара, обладают способностью к синтезу бактериоцинов;

– *Lactobacillus casei* 536/17.

Штаммы предоставлены ФГБНУ «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи».

Подготовку культур проводили следующим образом: культуры, находящиеся на хранении, пересекали в жидкую питательную среду MRS, термостатировали при температуре 30 °С в течение 72 ч и определяли начальный титр суспензии микроорганизмов.

Стерильную модельную среду с модифицированным углеводным составом на основе белокочанной капусты сорта «Парус» (урожай 2020 г., ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства») готовили в соответствии с [18].

Процесс микробного ферментирования осуществляли в два последовательных этапа, описанных в [18–20].

Концентрацию микроорганизмов в модельной среде в контрольные моменты культивирования проводили по традиционной методике посевом в агаризованную питательную среду разведений отобранного образца. Посевы инкубировали при температуре 30 °С в течение 72/120 ч с последующим подсчетом общего количества всех видимых колоний.

Статистический анализ. Математическая обработка данных включала отсев статистических выбросов, нахождение функциональных зависимостей, адекватно описывающих поведение системы в

процессе ферментирования. Сравнительный анализ зависимостей проводили в Microsoft Excel и SYSTAT TableCurve 2D. Все эксперименты проводили в 3-х повторностях.

Результаты и их обсуждение

Разработка режимов управляемой двухступенчатой микробной трансформации растительного сырья с использованием модифицирования углеводного состава субстрата предполагает выбор оптимального состава консорциума и установление оптимальной продолжительности ферментирования на основном этапе микробной обработки сырья.

Для выбора оптимального состава консорциума определяли динамики концентрации микроорганизмов в процессе ферментирования.

Анализ экспериментальных данных показал, что функциональные зависимости, наиболее адекватно аппроксимирующие экспериментальные данные по кинетике развития микрофлоры на основном этапе ферментирования, имеют вид:

– *Lactobacillus casei*:

$$\lg N = \lg \left(10^6 \cdot \exp \left(a + b \cdot (\tau + 3)^{0.5} + c \cdot \exp \left(-(\tau + 3) \right) \right) \right); \quad (1)$$

– *Lactobacillus brevis*:

$$\lg N = \lg \left(\frac{10^6}{a + b \cdot (\tau + 3)} \right); \quad (2)$$

– *Lactobacillus plantarum*:

$$\lg N = \lg \left(10^6 \cdot \left(\frac{a + c \cdot (\tau + 3) + e \cdot (\tau + 3)^2}{1 + b \cdot (\tau + 3) + d \cdot (\tau + 3)^2 + f \cdot (\tau + 3)^3} \right)^2 \right); \quad (3)$$

– *L. brevis* + *L. casei*:

$$\lg N = \lg \left(10^6 \cdot (a + b \cdot (\tau + 3)^{0.5})^2 \right); \quad (4)$$

– *L. brevis* + *L. plantarum*:

$$\lg N = \frac{1}{a + b \cdot (\tau + 3)^{1.5}}; \quad (5)$$

– *L. casei* + *L. plantarum*:

$$\lg N = \lg \left(\frac{10^6}{a + b \cdot (\tau + 3)^{0.5} + c \cdot \exp \left(-(\tau + 3) \right)} \right) \quad (6)$$

где N – концентрация микроорганизмов, КОЕ/г; τ – продолжительность ферментирования, дней; a – константа; b, c, d, e и f – коэффициенты.

Характеристики аппроксимирующих функций для каждого варианта исследований представлены в таблице 1.

Начало отсчета продолжительности основного этапа ферментирования соответствовало моменту внесения инокулята целевых культур

Таблица 1. Константы и коэффициенты функций, аппроксимирующих кинетику развития микрофлоры

Table 1. Constants and coefficients of functions approximating the kinetics of microflora development

Монокультуры микроорганизмов и их консорциумы	Константа и коэффициенты					
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
Монокультуры						
<i>Lactobacillus casei</i>	5,8323	–0,4006	–0,8174	–	–	–
<i>Lactobacillus brevis</i>	$1,1561 \times 10^{-2}$	$1,0584 \times 10^{-3}$	–	–	–	–
<i>Lactobacillus plantarum</i>	12,2474	–0,1364	–8,6013	$4,0590 \times 10^{-2}$	1,7147	$5,2406 \times 10^{-3}$
Консорциумы						
<i>L. brevis</i> + <i>L. casei</i>	11,1985	–0,9842	–	–	–	–
<i>L. brevis</i> + <i>L. plantarum</i>	0,1208	$1,0460 \times 10^{-4}$	–	–	–	–
<i>L. casei</i> + <i>L. plantarum</i>	$-1,1955 \times 10^{-2}$	$8,4462 \times 10^{-3}$	$2,0243 \times 10^{-2}$	–	–	–

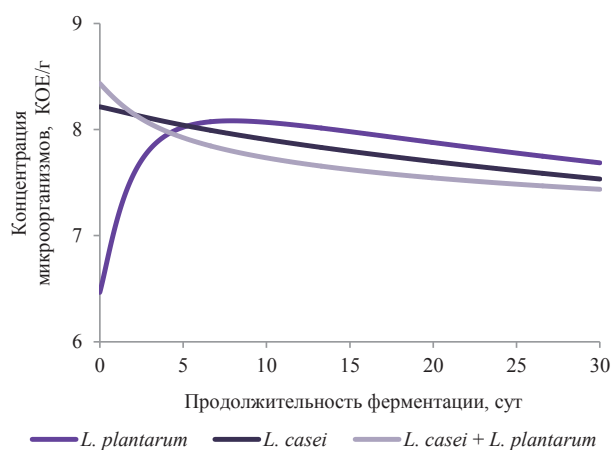


Рисунок 1. Кинетики концентраций монокультур *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei* и консорциума *L. casei* + *L. plantarum* в процессе ферментирования

Figure 1. Kinetics of the concentrations of monocultures of *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, and the consortium of *L. casei* + *L. plantarum* during fermentation

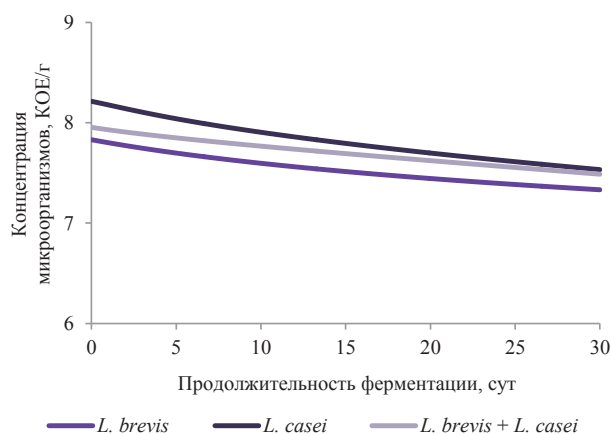


Рисунок 2. Кинетики концентраций монокультур *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus casei* и консорциума *L. brevis* + *L. casei* в процессе ферментирования

Figure 2. Kinetics of the concentrations of monocultures of *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus casei*, and the consortium of *L. brevis* + *L. casei* during fermentation

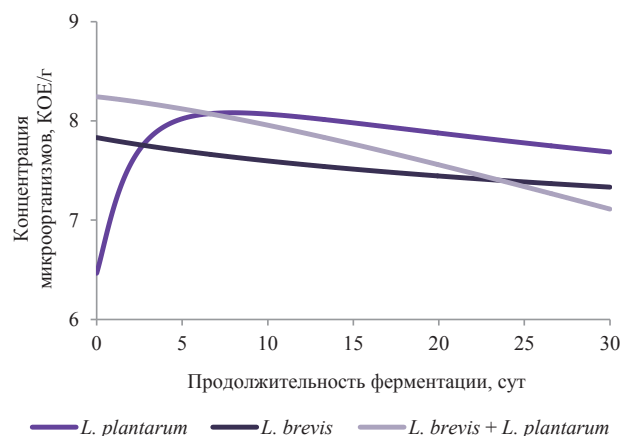


Рисунок 3. Кинетики концентраций монокультур *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis* и консорциума *L. brevis* + *L. plantarum* в процессе ферментирования

Figure 3. Kinetics of the concentrations of monocultures of *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis*, and the consortium of *L. brevis* + *L. plantarum* during fermentation

рода *Lactobacillus* в субстрат, прошедший этап предварительного ферментирования культурой *Leuconostoc mesenteroides*.

На рисунках 1–3 приведены кинетики концентраций монокультур молочнокислых микроорганизмов и их парных консорциумов в процессе ферментирования, описываемые функциями (1)–(6).

В варианте с консорциумом *L. casei* + *L. plantarum* и соответствующими монокультурами вначале основного этапа ферментирования – в течение первых 5–7 дней – имело место нарастание концентрации *L. plantarum*. Для монокультуры *L. casei* и консорциума отмечали устойчивое уменьшение концентрации. После 5 дней процесса общий вид кинетики как для монокультур, так и для консорциума совпадает. Однако выраженность уменьшения концентрации в течение всего исследованного периода основного этапа ферментирования достаточно мала: в период от 5 до 30 дней уменьшение концентрации

микроорганизмов не превысило одного порядка, что при начальной концентрации в 8 порядков является малозначимым.

Близкий вид кинетики концентрации микроорганизмов в процессе ферментирования имел место в отношении монокультуры *L. brevis*, а также консорциумов *L. brevis* + *L. casei* и *L. brevis* + *L. plantarum* (рис. 2 и 3). В силу нелинейности данных кинетик и некоторой их «вогнутости» общей их особенностью является фактическая стабилизация в пределах, близких к погрешности микробиологических анализов.

К концу исследованного периода ферментирования (30 дней) концентрации данных монокультур и консорциумов остаются на уровне, превышающем 10^7 КОЕ/г. Это позволяет относить получаемую в результате ферментирования систему «субстрат – микрофлора» к пробиотикам.

Таким образом, сравнительный анализ результатов экспериментальных данных с аналогичными, полученными в [18, 19], показывает необходимость углеводной корректировки при ферментации белокочанной капусты.

Выводы

Экспериментально установлена малая вариативность концентраций микроорганизмов как

в монокультурах, так и в их парных консорциумах на протяжении основного этапа ферментирования модельной среды с измененной углеводной составляющей. Установлено, что к концу основного этапа ферментирования концентрации микроорганизмов не снижается менее чем 10^7 КОЕ/г. Это позволяет рассматривать систему «микрофлора – субстрат» как обладающую пробиотическими свойствами.

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 interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Spontaneously fermented traditional beverages as a source of bioactive compounds: an overview / R. B. Cuvas-Limon [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020. P. 1–23. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1791050>.
2. Spontaneously fermented curly kale juice: Microbiological quality, nutritional composition, antioxidant, and antimicrobial properties / J. Szutowaska [et al.] // Journal of Food Science. 2020. Vol. 85. № 4. P. 1248–1255. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15080>.
3. Microbial community dynamics and metabolome changes during spontaneous fermentation of northeast sauerkraut from different households / X. Yang [et al.] // Frontiers in Microbiology. 2020. Vol. 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01878>.
4. Biologically active and health promoting food components of nuts, oilseeds, fruits, vegetables, cereals, and legumes / T. G. Albuquerque [et al.] // Chemical Analysis of Food. Techniques and Applications / editor Y. Pico. Academic Press, 2020. P. 609–656. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813266-1.00014-0>.
5. Szutowaska J. Functional properties of lactic acid bacteria in fermented fruit and vegetable juices: a systematic literature review // European Food Research and Technology. 2020. Vol. 246. № 3. P. 357–372. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03425-7>.
6. Behera S. S., Ray R. C., Zdolec N. *Lactobacillus plantarum* with functional properties: An approach to increase safety and shelf-life of fermented foods // BioMed Research International. 2018. Vol. 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/9361614>.
7. Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond / M. L. Marco [et al.] // Current Opinion in Biotechnology. 2017. Vol. 44. P. 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>.
8. Probiotics database: a potential source of fermented foods / W. Zhao [et al.] // International Journal of Food Properties. 2019. Vol. 22. № 1. P. 197–216. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1579737>.
9. Isolation and characterization of lactic acid bacteria from traditional pickles of Himachal Pradesh, India / Monika [et al.] // Journal of Food Science and Technology. 2017. Vol. 54. № 7. P. 1945–1952. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2629-1>.
10. Sáez G. D., Flomenbaum L., Zárate G. Lactic acid bacteria from argentinean foods: Isolation and characterization for their potential use as vegetable starters // Food Technology and Biotechnology. 2018. Vol. 56. № 3. P. 398–410. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5631>.
11. Effect of salt concentration on quality of northeast sauerkraut fermented by *Leuconostoc mesenteroides* and *Lactobacillus plantarum* salt effects on northeast sauerkraut fermentation / X. Yang [et al.] // Food Bioscience. 2019. Vol. 30. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100421>.

12. *Lactobacillus plantarum* survival during the osmotic dehydration and storage of probiotic cut apple / K. Emser [et al.] // Journal of Functional Foods. 2017. Vol. 38. P. 519–528. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.09.021>.
13. Fermentation-based biotransformation of glucosinolates, phenolics and sugars in retorted broccoli puree by lactic acid bacteria / J.-H. Ye [et al.] // Food Chemistry. 2019. Vol. 286. P. 616–623. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.030>.
14. An overview of plant-autochthonous microorganisms and fermented vegetable foods / S. Torres [et al.] // Food Science and Human Wellness. 2020. Vol. 9. № 2. P. 112–123. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2020.02.006>.
15. *Lactobacillus plantarum* PMO 08 as a probiotic starter culture for plant-based fermented beverages / Y. J. Oh [et al.] // Molecules. 2020. Vol. 25. № 21. <https://doi.org/10.3390/molecules25215056>.
16. Microbial community analysis of sauerkraut fermentation reveals a stable and rapidly established community / M. Zabat [et al.] // Foods. 2018. Vol. 7. № 5. <https://doi.org/10.3390/foods7050077>.
17. Кузнецова О. А., Дыдыкин А. С., Асланова М. А. Приоритетные научные направления в области питания населения // Мясная индустрия. 2018. № 7. С. 8–12.
18. Исследование динамики развития молочнокислых микроорганизмов при двухстадийном процессе ферментирования капусты белокочанной сорта Парус / В. В. Кондратенко [и др.] // Овощи России. 2019. Т. 49. № 5. С. 88–93. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-5-88-93>.
19. О коррекции углеводного состава сырья для микробной трансформации консорциумами микроорганизмов / В. В. Кондратенко [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50. № 4. С. 749–762. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-749-762>.
20. Семенова Ж. А., Посокина Н. Е., Терешонок В. И. Влияние углеводной корректировки сырья на рост молочнокислых микроорганизмов в процессе направленного ферментирования овощей // Овощи России. 2020. № 6. С. 99–103. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-99-103>.

References

1. Cuvas-Limon RB, Nobre C, Cruz M, Rodriguez-Jasso RM, Ruiz HA, Loredó-Trevino A, et al. Spontaneously fermented traditional beverages as a source of bioactive compounds: an overview. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020;1–23. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1791050>.
2. Szutowska J, Rybicka I, Pawlak-Lemanska K, Gwiazdowska D. Spontaneously fermented curly kale juice: Microbiological quality, nutritional composition, antioxidant, and antimicrobial properties. Journal of Food Science. 2020;85(4):1248–1255. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15080>.
3. Yang X, Hu W, Xiu Z, Jiang A, Yang X, Saren G, et al. Microbial community dynamics and metabolome changes during spontaneous fermentation of northeast sauerkraut from different households. Frontiers in Microbiology. 2020;11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01878>.
4. Albuquerque TG, Nunes MA, Bessada SMF, Costa HS, Oliveira MBPP. Biologically active and health promoting food components of nuts, oilseeds, fruits, vegetables, cereals, and legumes. In: Pico Y, editor. Chemical Analysis of Food. Techniques and Applications. Academic Press; 2020. pp. 609–656. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813266-1.00014-0>.
5. Szutowska J. Functional properties of lactic acid bacteria in fermented fruit and vegetable juices: a systematic literature review. European Food Research and Technology. 2020;246(3):357–372. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03425-7>.
6. Behera SS, Ray RC, Zdolec N. *Lactobacillus plantarum* with functional properties: An approach to increase safety and shelf-life of fermented foods. BioMed Research International. 2018;2018. <https://doi.org/10.1155/2018/9361614>.
7. Marco ML, Heeney D, Binda S, Cifelli CJ, Cotter PD, Foligne B, et al. Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. Current Opinion in Biotechnology. 2017;44:94–102. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>.
8. Zhao W, Liu Y, Latta M, Ma W, Wu Z, Chen P. Probiotics database: a potential source of fermented foods. International Journal of Food Properties. 2019;22(1):197–216. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1579737>.
9. Monika, Savitri, Kumar V, Kumari A, Angmo K, Bhalla TC. Isolation and characterization of lactic acid bacteria from traditional pickles of Himachal Pradesh, India. Journal of Food Science and Technology. 2017;54(7):1945–1952. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2629-1>.
10. Sáez GD, Flomenbaum L, Zárate G. Lactic acid bacteria from argentinean foods: Isolation and characterization for their potential use as vegetable starters. Food Technology and Biotechnology. 2018;56(3):398–410. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5631>.
11. Yang X, Hu W, Jiang A, Xiu Z, Ji Y, Guan Y, et al. Effect of salt concentration on quality of northeast sauerkraut fermented by *Leuconostoc mesenteroides* and *Lactobacillus plantarum* salt effects on northeast sauerkraut fermentation. Food Bioscience. 2019;30. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100421>.
12. Emser K, Barbosa J, Teixeira P, Bernardo de Moraes AMM. *Lactobacillus plantarum* survival during the osmotic dehydration and storage of probiotic cut apple. Journal of Functional Foods. 2017;38:519–528. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.09.021>.
13. Ye J-H, Huang L-Y, Terefe NS, Augustin MA. Fermentation-based biotransformation of glucosinolates, phenolics and sugars in retorted broccoli puree by lactic acid bacteria. Food Chemistry. 2019;286:616–623. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.030>.

14. Torres S, Veron H, Contreras L, Isla MI. An overview of plant-autochthonous microorganisms and fermented vegetable foods. *Food Science and Human Wellness*. 2020;9(2):112–123. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2020.02.006>.
15. Oh YJ, Kim TS, Moon HW, Lee SY, Lee SY, Ji GE, et al. *Lactobacillus plantarum* PMO 08 as a probiotic starter culture for plant-based fermented beverages. *Molecules*. 2020;25(21). <https://doi.org/10.3390/molecules25215056>.
16. Zabat M, Sano WH, Wurster JI, Cabral DJ, Belenky P. Microbial community analysis of sauerkraut fermentation reveals a stable and rapidly established community. *Foods*. 2018;7(5). <https://doi.org/10.3390/foods7050077>.
17. Kuznetsova OA, Dydykin AS, Aslanova MA. High priority scientific research in the field of population nutrition. *Meat Industry*. 2018;(7):8–12. (In Russ.).
18. Kondratenko VV, Posokina NE, Semenova JA, Tereshonok VI. Study of the dynamics of the development of lactic acid microorganisms in the two-stage process of fermenting cabbage varieties “Pams”. *Vegetable Crops of Russia*. 2019;49(5):88–93. (In Russ.). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-5-88-93>.
19. Kondratenko VV, Posokina NE, Lyalina OYu, Kolokolova AYU, Glazkov SV. Correction of the carbohydrate composition of raw materials for microbial transformation based on microbial consortia. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(4):749–762. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-749-762>.
20. Semenova JA, Posokina NE, Tereshonok VI. Influence of carbohydrate correction of raw materials on the growth of lactic acid microorganisms in the process of directed fermentation of vegetables. *Vegetable Crops of Russia*. 2020;(6):99–103. (In Russ.). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-99-103>.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-593-603>
УДК 004.032.26

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Моделирование процесса интенсификации экстракции изогумулона в роторно-пульсационном аппарате при помощи нейронных сетей



А. В. Шафрай¹, Е. А. Сафонова¹, Д. М. Бородулин¹,
Я. С. Головачева^{1,*}, С. А. Ратников¹, В. Б. В. Керлос²

¹ Кемеровский государственный университет^{ROR}, Кемерово, Россия

² Каирский университет^{ROR}, Гиза, Египет

Поступила в редакцию: 20.05.2021

Принята после рецензирования: 10.06.2021

Принята в печать: 15.07.2021

*e-mail: itumr@yandex.ru



© А. В. Шафрай, Е. А. Сафонова, Д. М. Бородулин,
Я. С. Головачева, С. А. Ратников, В. Б. В. Керлос, 2021

Аннотация.

Введение. В последние годы искусственные нейронные сети снова стали популярным инструментом в науке и технологиях. Их начали применять в пищевой промышленности относительно недавно, но с каждым годом количество научных исследований с их использованием растет. Поэтому моделирование технологических процессов с помощью нейронных сетей является актуальной темой. Цель работы – разработка искусственной нейронной сети, способной прогнозировать содержание изогумулона в хмелевом экстракте при заданных технологических параметрах работы роторно-пульсационного аппарата.

Объекты и методы исследования. Математическое моделирование произведено на основе экспериментальных данных, полученных в процессе работы аппарата. За выходной параметр было принято содержание изогумулона в хмелевом экстракте I (мг/дм³). Входные переменные: температура обработки t (°C), частота вращения ротора n (об/мин), время обработки τ (мин), зазор между зубьями ротора и статора s (мм).

Результаты и их обсуждение. Была произведена идентификация искусственной нейронной сети. Модель получила следующие параметры: 2 скрытых слоя; 30 нейронов в каждом скрытом слое; GELU использовалась в качестве функции активации нейронов; функция потерь – MSELoss; шаг обучения – 0,001; оптимизатор – Adam; применена регуляризация L2 со значением 0,00001; обучающая выборка состояла из 4 батчей по 16 записей в каждом. Обучение длилось 9801 эпоху. Точность искусственной нейронной сети определялась как средняя относительная погрешность и составила 1,67 %. В ходе исследования была построена регрессионная модель, погрешность которой оказалась низкой (2,85 %). Точность нейронной сети обладает лучшей способностью предсказывать значение выходной переменной, чем точность регрессионной модели. Точность искусственной нейронной сети будет выше, т. к. она замерялась на данных, которых не было в обучении (тестовая выборка). Регрессионная модель при тестировании на незнакомых данных показывает результаты гораздо хуже.

Выводы. Применение искусственных нейронных сетей для моделирования технологических процессов имеет большой потенциал и требует дальнейшего изучения и применения.

Ключевые слова. Искусственная нейронная сеть, моделирование, роторно-пульсационный аппарат, пиво, хмель

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Кемеровского государственного университета (КемГУ)^{ROR} (Индивидуальный грант для молодых ученых 2020 г.). На базе (оборудовании) Центра коллективного пользования научным оборудованием КемГУ в рамках соглашения № 075-12021-694 от 05.08.2021, заключенного между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России)^{ROR} и Кемеровским государственным университетом (уникальный идентификатор контракта RF----2296.61321X0032).

Для цитирования: Моделирование процесса интенсификации экстракции изогумулона в роторно-пульсационном аппарате при помощи нейронных сетей / А. В. Шафрай [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 593–603. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-593-603>.

Original article

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

Neuron Network Modeling of Intensification of Isogumulone Extraction in a Rotary Pulse Generator

Anton V. Shafrai¹, **Elena A. Safonova¹**, **Dmitry M. Borodulin¹**,
Yana S. Golovacheva^{1,*}, **Sergey A. Ratnikov¹**,
Wasfie Barsoom Wasef Kerlos²

¹ Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

² Cairo University, Giza, Egypt

Received: May 20, 2021

Accepted in revised form: June 10, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021

*e-mail: itumr@yandex.ru



© A.V. Shafrai, E.A. Safonova, D.M. Borodulin, Ya.S. Golovacheva, S.A. Ratnikov, W.B.W. Kerlos, 2021

Abstract.

Introduction. Artificial neural networks are a popular tool of contemporary research and technology, including food science, where they can be used to model various technological processes. The present research objective was to develop an artificial neural network capable of predicting the content of isogumulone in a hop extract at given technological parameters of the rotary pulse generator.

Study objects and methods. The mathematical modeling was based on experimental data. The isogumulone content in the hop extract I (mg/dm³) served as an output parameter. The input variables included: processing temperature t (°C), rotor speed n (rpm), processing time τ (min), and the gap between the rotor teeth and stator s (mm).

Results and discussion. The resulting model had the following parameters: two hidden layers, 30 neurons each; neuron activation function – GELU; loss function – MSELoss; learning step – 0.001; optimizer – Adam; L2 regularization at 0.00001; training set of four batches, 16 records each; 9,801 epochs. The accuracy of the artificial neural network (1.67%) was defined as the mean relative error. The error of the regression model was also low (2.85%). The neural network proved to be more accurate than the regression model and had a better ability to predict the value of the output variable. The accuracy of the artificial neural network was higher because it used test data not included in the training. The regression model when tested on test data showed much worse results.

Conclusion. Artificial neural networks proved extremely useful as a means of technological modeling and require further research and application.

Keywords. Artificial neural network, modeling, rotary-pulsating apparatus, beer, hop

Funding. The research was supported by Kemerovo State University (KemSU) as an individual grant for young scientists (2020). The research was conducted on the premises of the Research Equipment Sharing Center of Kemerovo State University, agreement No. 075-12021-694 dated August 5, 2021, between the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka) and Kemerovo State University (contract identifier RF----2296.61321X0032).

For citation: Shafrai AV, Safonova EA, Borodulin DM, Golovacheva YaS, Ratnikov SA, Kerlos WBW. Neuron Network Modeling of Intensification of Isogumulone Extraction in a Rotary Pulse Generator. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):593–603. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-593-603>.

Введение

Прогресс производственной деятельности предприятий России и повышение общего экономического уровня страны в настоящее время является одной из важнейших задач государства, решение которой невозможно без участия науки. Повышение эффективности производства может происходить за счет внедрения инновационных технологий, которые связаны с изобретением нового высококачественного оборудования для предприятий, автоматизацией действующих производств и разработкой современных способов прогнозирования качества готовой продукции. Последний аспект заключается в разработке моделей динамических объектов. В условиях научно-технического прогресса одним из приоритетных исследований является

развитие искусственного интеллекта и нейронных сетей как одного из его направлений.

Искусственные нейронные сети (ИНС) – инструмент, который с каждым годом все больше проникает в самые разнообразные разделы науки и техники. Такой успех связан с последними достижениями исследователей по созданию архитектур ИНС в сфере распознавания образов, детекции и сегментации изображений и работы с естественными языками. Данные достижения в последние годы стали доступны за счет открытости информации, исследований крупных ИТ-компаний, создания универсальных средств по работе с ИНС. Для выполнения сложных задач созданы сложные архитектуры ИНС, среди которых сверточные, рекуррентные и другие нейронные сети. Более

простые, полносвязные (fully-connected) нейронные сети хорошо подходят для решения задач анализа и моделирования экспериментальных данных. Иначе говоря, для решения задачи регрессии.

В научных исследованиях пищевой промышленности наиболее распространенным методом анализа данных является регрессионный анализ. Однако с каждым годом появляется все больше публикаций, в которых для моделирования процессов применяются ИНС [1–16]. Точность регрессионных моделей сопоставима с точностью ИНС, но зачастую уступает ей.

В данной работе ИНС применялись для обработки экспериментальных данных по определению содержания изогумулона в хмелевом экстракте. Его образцы получены с помощью роторно-пульсационного аппарата при различных технических и технологических характеристиках.

Данное исследование проведено в инженеринговом центре «FOOD ENGINEERING» кафедры Технологическое проектирование пищевых производств Кемеровского государственного университета.

В ходе исследования требовалось написать нейронную сеть, способную предсказать содержание изогумулона в хмелевом экстракте I (мг/дм³) при заданных входных параметрах: температура обработки t (°C), частота вращения ротора n (об/мин), время обработки τ (мин), зазор между зубьями ротора и статора s (мм). Температура обработки менялась в диапазоне от 55 до 85 °C с шагом 15 °C, частота вращения ротора – от 2000 до 3000 об/мин с шагом 500 об/мин, время обработки – от 1 до 3 мин с шагом 1 мин, зазор между зубьями ротора и статора – от 0,1 до 0,5 мм с шагом 0,2 мм.

Гипотеза исследования состояла в том, что модель, созданная с помощью ИНС, должна превзойти по точности модель, созданную с помощью регрессионного анализа. Обучение ИНС должно было происходить по тем же экспериментальным данным, что и построение регрессионной модели.

Объекты и методы исследования

Производство пива – сложный процесс, состоящий из нескольких стадий. Каждая представляет из себя отдельную и сложную в биохимическом, микробиологическом и аппаратурном плане технологию. Процесс приготовления пива включает следующие основные стадии: дробление, затираание, фильтрование, охмеление, брожение и созревание.

На стадии охмеления пивного сусла задаются органолептические показатели напитка (горечь, аромат). При его проведении классическим способом требуются большие затраты энергии, времени и сырья [17]. Разработан новый способ охмеления пивного сусла, который позволяет эффективно использовать сырье, интенсифицировать процесс

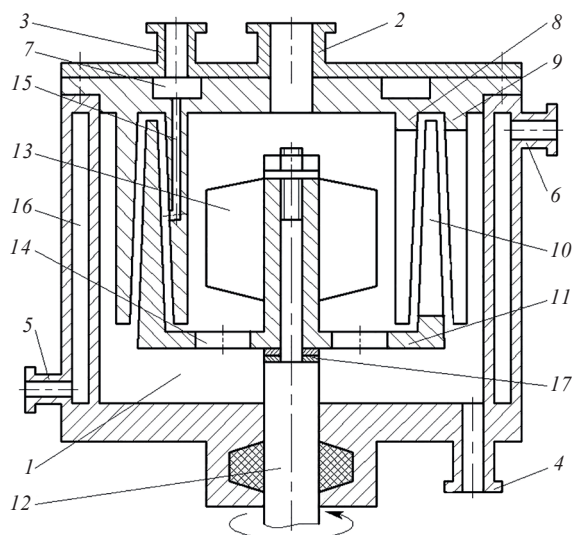
и снизить энергозатраты [18]. Способ состоит в охмелении пивного сусла хмелевым экстрактом, состоящим из хмеля и пивного сусла. Данный экстракт содержит повышенное количество изогумулона – основного компонента горьких веществ охмеленного сусла – за счет воздействия на него гидромеханической кавитации и низкочастотных упругих колебаний. Для их генерирования применялся роторно-пульсационный аппарат (РПА). В последнее время применение данных аппаратов для интенсификации процесса экстракции получило широкое распространение [19–25].

Один из таких аппаратов (рис. 1) разработан в инженеринговом центре «FOOD ENGINEERING» Кемеровского государственного университета. В РПА подаются исходные компоненты через патрубок 2. Внутри аппарата под действием центробежных сил материалы проходят сквозь зубья ротора 10 и статора 8. Твердые частицы, находящиеся в компонентах, измельчаются и истираются. Затем измельченный и перемешанный поток направляется в нижнюю часть ротора и выводится из него через отверстия в ступице 14 ротора и далее через штуцер 4 из аппарата.

На данном роторно-пульсационном аппарате было проведено исследование, полученные результаты которого легли в основу регрессионного анализа и разработки нейронной сети. Суть экспериментов заключалась в том, что в аппарате обрабатывалась суспензия, состоящая из гранулированного хмеля и экстрагента. Для приготовления хмелевого экстракта использовался гранулированный горький хмель «Magnum», а в качестве экстрагента – пивное сусло 12 % плотности. Для исследования процесса охмеления был поставлен полнофакторный эксперимент, значения факторов по уровням которого приведены в таблице 1.

Температура суспензии поддерживалась с помощью тепловой рубашки, соединенной водным универсальным термостатом BWT-U. Для ее контроля в лабораторный стенд был включен. В электрическую схему привода был установлен ЛАТР 9 типа АОСН-20-220-75 У 4 для регулирования частоты вращения вала, которое производилось изменением напряжения обмотки якоря. Для контроля значений данного параметра служил электронный тахометр типа ТЭ 30 5 Р. Межцилиндровый зазор регулировался с помощью регулировочных шайб 17 (рис. 1) вследствие того, что венцы ротора и статоров имеют коническую форму.

В полученных пробах экстракта определялось содержание изогумулона. Метод определения основан на экстракции его из сусла изооктаном и определении оптической плотности изооктанового экстракта на спектрофотометре при длине волны 275 нм. Для этого сусло освобождают от взвешенных частиц центрифугированием. Отбирают пипеткой 10 см³ очищенной жидкости, переносят в стеклянный цилиндр, добавляют 1 см³ 3 Н раствора соляной кислоты и 20 см³ изооктана, закрывают цилиндр пробкой и встряхивают в течение 30 с. Цилиндр



1 – рабочая полость; 2 – штуцер входа свежей реакционной массы; 3 – штуцер входа газовой смеси; 4 – штуцер выхода реакционной массы; 5, 6 – штуцера входа и выхода хладоносителя; 7 – газовая камера; 8 – венец статора внутренний; 9 – венец статора наружный; 10 – венец ротора; 11 – ступица ротора; 12 – вал; 13 – лопасти; 14 – отверстия в ступице ротора; 15 – каналы в зубьях статора; 16 – рубашка; 17 – регулировочные шайбы

Рисунок 1. Роторно-пульсационный аппарат

Figure 1. Rotary pulse generator

оставляют в покое для разделения слоев жидкости. После отстаивания пипеткой отбирают часть прозрачного верхнего слоя и переносят в кювету. В другую кювету наливают чистый изооктан. Кюветы помещают в спектрофотометр и определяют оптическую плотность D при длине волны 275 нм. Содержание изогумулona I (мг/дм³) рассчитывают по формуле:

$$I = 57,2 \cdot D - 5,9 \quad (1)$$

Результаты и их обсуждение

Регрессионный анализ был проведен в программе Statistica 8 в модуле «Общие регрессионные модели» инструментом «Регрессия поверхности отклика».

В результате анализа получена точная модель, показатели которой приведены в таблице 2. Коэффициент корреляции R имеет очень высокое значение – 0,9890. Это означает сильную корреляционную связь, практически приближающуюся к функциональной, между содержанием изогумулona в хмелевом экстракте и входными параметрами. Дисперсия выходного параметра составляет 97,82 %. Об этом говорит коэффициент детерминации R^2 . Высокий показатель критерия Фишера (212,0087) доказывает гипотезу об адекватности модели, что делает ее пригодной для моделирования выходной величины. Нулевое значение p -уровня указывает на то, что модель с вероятностью 0,00 % будет являться лишь случайным совпадением для данных экспериментальных значений, что также говорит об адекватности модели.

Статистические показатели коэффициентов регрессионной модели приведены в таблице 3. Большая разница в значениях t -критерия Стьюдента показывает статистическую значимость различных коэффициентов. Наиболее значимым среди однофакторных коэффициентов является величина зазора между зубьями ротора и статора s , а наименее значимым – частота вращения ротора n . Остальные значения находятся в промежутке между ними с хорошими значениями. При взаимном влиянии двух факторов коэффициенты, в которых входит зазор между зубьями ротора и статора, имеют наименьшие показатели t -критерия, а в которые не входит – наибольшие, что является интересной закономерностью. Статистическая значимость (p -уровень) зеркально отражает значения t -критерия Стьюдента. Она показывает статистическую силу коэффициентов и характеризует случайность особенности экспериментальных данных.

В результате регрессионного анализа можно прийти к выводу, что модель адекватна и пригодна для тестирования. Общий вид математической модели выглядит следующим образом:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i x_i + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 a_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

Подставляя значения коэффициентов из таблицы 4 в уравнение 1, получается итоговая регрессионная модель:

Таблица 1. Значение факторов экспериментов по уровням

Table 1. Factor score of the experiments by level

Уровень	Температура обрабатываемой среды t , °C	Частота вращения ротора n , об/мин	Межцилиндровый зазор s , мм	Время обработки τ , мин
Низший	55	2000	0,1	1
Нулевой	70	2500	0,3	2
Верхний	85	3000	0,5	3

Таблица 2. Общие параметры регрессионной модели

Table 2. General parameters of the regression model

Параметр	Значение
Множественный R	0,9890
Множественный R^2	0,9782
F-критерий	212,0087
p-значение	0

$$I = -24,3122 + 0,4754t - 0,0037t^2 + 0,0066n - 2,7623\tau - 0,1701\tau^2 + 47,5444s + 0,2694s^2 + 0,0001t \cdot n + 0,0288t \cdot \tau + 0,0015n \cdot \tau - 0,0404t \cdot s - 0,0019n \cdot s - 0,1732\tau \cdot s \quad (3)$$

Получив законченный вид регрессионной модели, были подсчитаны моделируемые значения содержания изогумулона в хмелевом экстракте. Критерием точности послужила средняя относительная погрешность, которая составила 2,85 %, что является хорошим результатом.

Создание и обучение нейронной сети происходило на языке Python на платформе Colab Laboratory от компании Google. В ходе работы использовалась свободно распространяемая библиотека PyTorch.

Как было отмечено выше, для данного исследования были выбраны полносвязные нейронные сети. Их основная особенность состоит в том, что нейрон в каждом слое связан со всеми нейронами предыдущего слоя и со всеми нейронами следующего слоя. Идентификация архитектуры ИНС сводится к выбору основных параметров сети. Этот процесс осуществляется на основе эмпирических рекомендаций, особенностях экспериментальных

Таблица 3. Статистические показатели коэффициентов модели

Table 3. Statistical indicators of the coefficients of the model

Член модели	Значение	t-критерий	p-уровень
Свободный член	-24,3122	-3,3961	0,001161
t	0,4754	3,7903	0,000328
t^2	-0,0037	-4,4442	0,000035
n	0,0066	1,6671	0,100238
n^2	-0,0000	-1,5121	0,135287
τ	-2,7623	-2,3322	0,022749
τ^2	-0,1701	-0,9176	0,362158
s	47,5444	8,7076	0,000000
s^2	-70,2694	-15,1670	0,000000
t·n	0,0001	4,0417	0,000141
t· τ	0,0288	3,3005	0,001559
n· τ	0,0015	5,6676	0,000000
t·s	-0,0404	-0,9257	0,357976
n·s	-0,0019	-1,4664	0,147276
τ ·s	-0,1732	-0,2643	0,792347

Таблица 4. Параметры ИНС

Table 4. Parameters of the artificial neural network

Параметр	Значение
Количество скрытых слоев	2
Количество нейронов в скрытых слоях	30
Функции активации нейронов	GELU
Функции потерь	MSELoss
Шаг обучения	0,001
Оптимизатор	Adam
Регуляризация	L2 = 0,00001
Размер батчей	4
Количество батчей	16
Количество эпох	9801

данных и личном опыте исследователя. Список параметров, а также их значения, определенные для создаваемой ИНС, приведены в таблице 4.

Набор данных для обучения ИНС (датасет) был сформирован из экспериментальных данных полнофакторного эксперимента. Он содержал 81 запись. Датасет был разбит на обучающую (64 записи) и тестовую (17 записей) части и перемешаны в случайном порядке. Весь датасет был нормализован для повышения скорости сходимости алгоритма обучения. Нормализация происходила с помощью уменьшения на минимальное значение и деления на максимальное. Таким образом, все данные были расположены на промежутке от 0 до 1.

Наилучшая конфигурация ИНС включила в себя два скрытых полносвязных слоя с тридцатью нейронами в каждом. Входной слой содержал четыре нейрона для приема входных данных: температуры обработки, частоты вращения ротора, времени обработки, зазора между зубьями ротора и статора. Выходной слой содержал один нейрон, который и рассчитывал прогнозное значение содержания изогумулона в хмелевом экстракте.

В качестве функции активации использовалась GELU, формула которой представлена далее:

$$GELU(x) = x * \Phi(x) \quad (4)$$

где x – аргумент функции; $\Phi(x)$ – кумулятивная функция распределения для Гауссова распределения.

График функции представлен на рисунке 2.

Для функции потерь (лосс-функция) была выбрана MSELoss или среднеквадратическая ошибка, которая имеет следующий вид:

$$MSELoss(y, \hat{y}) = \frac{\sum_{i=0}^N (\hat{y}_i - y_i)^2}{N} \quad (5)$$

где y – вектор выходных значений из датасета; $\hat{y}$ – вектор моделируемых выходных значений; N – количество данных.

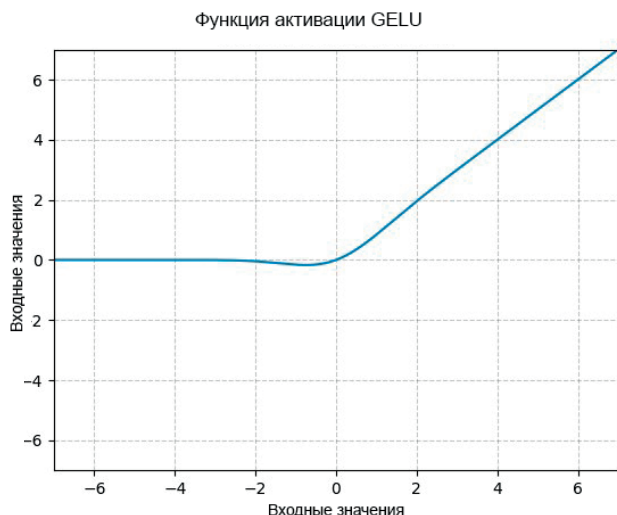


Рисунок 2. График функции GELU

Figure 2. Diagram of GELU

Среди оптимизаторов наилучшим образом подошел Adam (adaptive moment estimation, т. е. адаптивная оценка момента), который является дальнейшей модификацией стохастического градиентного спуска и RMSProp. У него действуют следующие правила обновления весов:

$$W_{t+1} = W_t - \alpha \frac{EMA_{\beta_1}(\nabla f)^t}{\sqrt{EMA_{\beta_2}(\nabla f^2)^t} + \varepsilon} \quad (6)$$

где W_{t+1} – новые параметры сети; W_t – текущие параметры сети; α – скорость обучения; $\sqrt{EMA_{\beta_2}(\nabla f^2)^t}$ – экспоненциальное скользящее среднее градиента; β_1 и β_2 – параметры экспоненциального скользящего среднего; ε – сглаживающий параметр, исключающий деление на 0.

Наиболее хорошие результаты оптимизатор показал с шагом обучения, равным 0,001, что значительно отличается от стандартного шага (0,0003), заложенного по умолчанию. Это довольно интересное обстоятельство, потому что Adam считается таким оптимизатором, который наилучшим образом работает при стандартных параметрах.

Для нивелирования эффекта переобучения была применена регуляризация Тихонова (L2 или weight decay), которая вносит дополнительный штраф в лосс-функцию. Значение регуляризации составило 0,00001.

Обучающая выборка была разбита на шестнадцать батчей по четыре записи в каждом. Обучение продолжалось на протяжении 9801 эпохи.

Точность ИНС определяют различными способами, которые зависят от поставленной задачи. В проведенном исследовании требовалось решить задачу регрессии и смоделировать содержание изогумулona в хмелевом экстракте при определенных технологических и конструктивных параметрах работы РПА. Для определения точности математических моделей технологических процессов используют относительную точность, поэтому именно она и оценивала точность нейронной сети.

В результате обучения средняя относительная погрешность ИНС составила 1,67 % (рис. 3). Также была рассчитана средняя абсолютная ошибка, которая составила 0,3495 мг/дм³ (рис. 4). Замер погрешностей проводился каждую сотую эпоху. В данных графиках по оси абсцисс откладывались эпохи (каждая сотая), по оси ординат – средняя относительная погрешность в % (рис. 3) и средняя абсолютная погрешность в мг/дм³ (рис. 4).

Визуализация точности приведена на рисунке 5. На изображении по оси абсцисс отсчитываются порядковые номера тестовых значений, а по оси ординат – величины тестовых значений. Синими

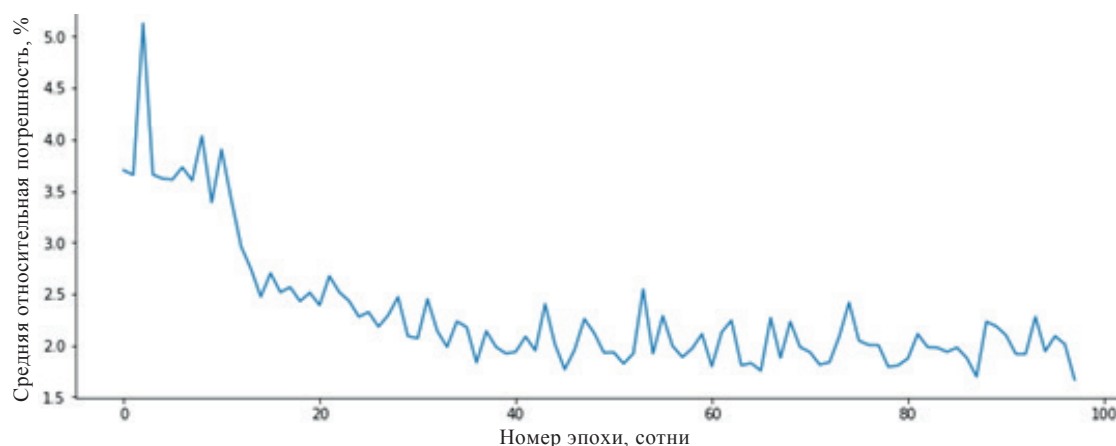


Рисунок 3. Средняя относительная погрешность

Figure 3. Mean relative error

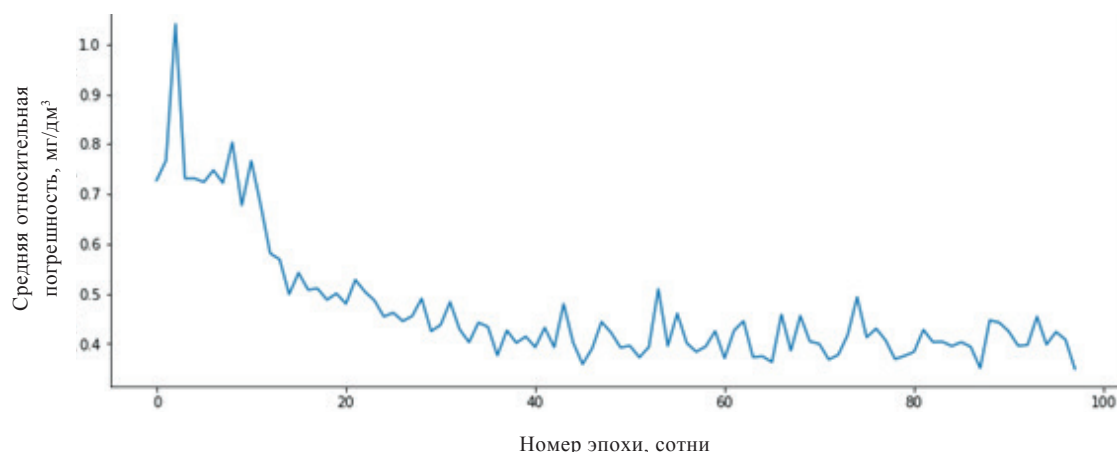


Рисунок 4. Средняя абсолютная погрешность

Figure 4. Mean absolute error

кругами обозначены экспериментальные данные, а красными – моделируемые.

Целью создания математической модели для любого технологического процесса всегда является его оптимизация. Критерием оптимальности в данном исследовании служит максимизация содержания изогумулону в хмелевом экстракте. В соответствии с этим был создан набор данных для тестирования на регрессионной модели и нейронной сети с целью определения наилучших технологических и конструктивных показателей, при которых работа РПА приведет к наибольшей концентрации изогумулону.

Набор данных содержал 1050 записей, в котором температура обработки варьировалась от 55 до 85 °С с шагом 5 °С, частота вращения ротора – от 2000 до 3000 об/мин с шагом 200 об/мин, время обработки – от 1 до 3 мин с шагом 0,5 мин, зазор между зубьями ротора и статора – 0,1 до 0,5 мм с шагом 0,1 мм.

Подготовленные данные были подставлены в обе модели. Предполагалось, что модели могут показать значения технологических параметров процесса работы РПА, при которых содержание изогумулону будет наибольшим и при которых не были проведены экспериментальные исследования, потому что не попали в план эксперимента. Таким образом, модели могли интерполировать содержание изогумулону и предсказать оптимальные технологические параметры, но результаты моделирования определили значения параметров, которые совпали с экспериментальными.

Регрессионная модель показала, что максимальное содержание изогумулону будет при следующих параметрах: температура обработки – 85 °С, частота вращения ротора – 3000 об/мин, время обработки – 3, зазор между зубьями ротора и статора – 0,5 мм. Нейронная сеть: температура обработки – 85 °С, частота вращения ротора – 3000 об/мин, время обработки – 3, зазор между зубьями ротора и статора – 0,3 мм.

Если сравнивать экспериментальные значения с моделируемыми, то во время экспериментов наибольшее количество изогумулону было получено при следующих значениях параметров: температура обработки – 85 °С, частота вращения ротора – 3000 об/мин, время обработки – 3, зазор между зубьями ротора и статора – 0,3 мм, что совпало с результатами нейронной сети. Таким образом, нейронная сеть лучше показала себя на этапе оптимизации технологического процесса.

Оптимальные значения параметров работы РПА как моделируемых, так и экспериментально подтвержденных можно обосновать следующим. Повышение температуры обрабатываемой среды увеличивает показатели по содержанию изогумулону, т. к. он образуется в результате изомеризации гумулонов при кипячении хмеля. При увеличении частоты вращения ротора до значения 3000 об/мин начинает происходить генерирование низкочастотных упругих колебаний и кавитационной энергии, которые воздействуют на обрабатываемую среду. Известно, что данные явления оказывают интенсификацию процессов диспергирования и экстрагирования. Максимальные показатели по выходу изогумулону получены при зазоре $s = 0,3$ мм. Можно предположить, что при зазоре $s = 0,1$ мм частицы гранулированного хмеля подвергаются сильному разрушению, а при зазоре $s = 0,5$ мм не происходит хорошей экстракции компонентов хмеля в пивное сусло.

Выводы

Сравнивая точность регрессионной модели (97,15 %) с искусственными нейронными сетями (98,33 %) становится понятно, что ИНС обладает лучшей способностью предсказывать значение выходной переменной. Также точность ИНС будет выше из-за того, что она замерялась на данных, которых не

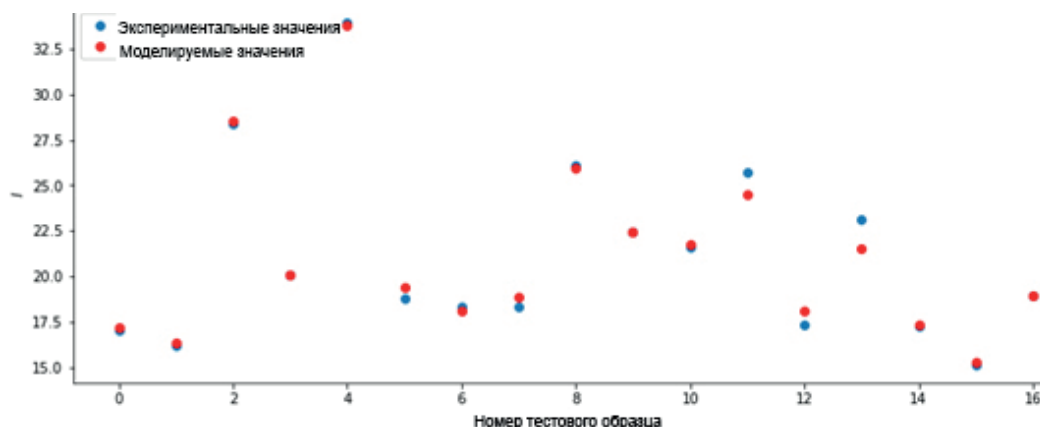


Рисунок 5. Сравнение точности экспериментальных и моделируемых значений

Figure 5. Experimental vs. simulated values

было в обучении (тестовая выборка). Регрессионная модель при тестировании на незнакомых данных показывает результаты гораздо хуже.

Также нейронная сеть смогла лучше оптимизировать процесс, определив технологические и конструкционные параметры, при которых содержание изогумулона при работе РПА будет максимальным, что было подтверждено экспериментальными исследованиями. Таким образом, длительность стадии охмеления пивного сусла сократилась в 1,5–2 раза по сравнению с традиционным способом. Также исследование позволяет уменьшить нормы внесения гранулированного хмеля в сусло в 2 раза, т. к. полученный хмелевой экстракт имеет повышенное содержание изогумулона.

Применение искусственных нейронных сетей для моделирования технологических процессов имеет большой потенциал и требует дальнейшего изучения и применения.

Критерии авторства

А. В. Шафрай – создание регрессионной модели

и модели на основе нейронной сети, написание рукописи. Е. А. Сафонова – аналитический обзор литературы, организация исследований. Д. М. Бородулин – общая редакция рукописи, методология исследований. Я. С. Головачева, С. А. Ратников и К. В. Б. Керлос – получение фактического материала.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

A.V. Shafrai developed the regression model and the neural network model and wrote the manuscript. E.A. Safonova reviewed scientific publications and supervised the research. D.M. Borodulin edited the manuscript and designed the research methodology. Ya.S. Golovacheva, S.A. Ratnikov, and K.V.B. Kerlos obtained the factual material.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Machine learning approach for the classification of corn seed using hybrid features / A. Ali [et al.] // International Journal of Food Properties. 2020. Vol. 23. № 1. P. 1110–1124. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1778724>.
2. Black tea withering moisture detection method based on convolution neural network confidence / T. An [et al.] // Journal of Food Process Engineering. 2020. Vol. 43. № 7. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13428>.
3. Bhargava A., Barisal A. Automatic detection and grading of multiple fruits by machine learning // Food Analytical Methods. 2020. Vol. 13. № 3. P. 751–761. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01690-6>.
4. Detection of rice plant diseases based on deep transfer learning / J. Chen [et al.] // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2020. Vol. 100. № 7. P. 3246–3256. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10365>.
5. 1D convolutional neural network for the discrimination of aristolochic acids and their analogues based on near-infrared spectroscopy / X. Chen [et al.] // Analytical Methods. 2019. Vol. 11. № 40. P. 5118–5125. <https://doi.org/10.1039/c9ay01531k>.

6. Codina G. G., Dabija A., Oroian M. Prediction of pasting properties of dough from mixolab measurements using artificial neuronal networks // *Foods*. 2019. Vol. 8. № 10. <https://doi.org/10.3390/foods8100447>.
7. Comparison of the decision tree, artificial neural network and multiple regression methods for prediction of carcass tissues composition of goat kids / B. Ekiz [et al.] // *Meat Science*. 2020. Vol. 161. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108011>.
8. Artificial neural network modeling and optimization of wheat starch suspension microfiltration using twisted tape as a turbulence promoter / B. Ikonc [et al.] // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2019. Vol. 43. № 11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14219>.
9. Modeling the effect of vibration on the quality of stirred yogurt during transportation / A. Lu [et al.] // *Food Science and Biotechnology*. 2020. Vol. 29. № 7. P. 889–896. <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00741-7>.
10. Sadeghi E., Haghighi Asl A., Movagharnejad K. Mathematical modelling of infrared-dried kiwifruit slices under natural and forced convection // *Food Science and Nutrition*. 2019. Vol. 7. № 11. P. 3589–3606. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1212>.
11. Sadeghi E., Movagharnejad K., Haghighi Asl A. Mathematical modeling of infrared radiation thin-layer drying of pumpkin samples under natural and forced convection // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2019. Vol. 43. № 12. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14229>.
12. Stangierski J., Weiss D., Kaczmarek A. Multiple regression models and Artificial Neural Network (ANN) as prediction tools of changes in overall quality during the storage of spreadable processed Gouda cheese // *European Food Research and Technology*. 2019. Vol. 245. № 11. P. 2539–2547. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03369-y>.
13. Using a combined neural network – genetic algorithm approach for predicting the complex rheological characteristics of microfluidized sugarcane juice / A. Tarafdar [et al.] // *LWT*. 2020. Vol. 123. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109058>.
14. Classification by artificial neural network for mushroom color changing under effect UV-A irradiation / M. V. Torshizi [et al.] // *Carpathian Journal of Food Science and Technology*. 2020. Vol. 12. № 2. P. 157–167. <https://doi.org/10.34302/crpfjst/2020.12.2.16>.
15. Vacuum drying of sweet cherry: Artificial neural networks approach in process optimization / A. Vakula [et al.] // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2020. Vol. 44. № 11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14863>.
16. Predicting mechanical properties of golden delicious apple using ultrasound technique and Artificial Neural Network / H. Vashighi-Shojae [et al.] // *Food Analytical Methods*. 2020. Vol. 13. № 3. P. 699–705. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01689-z>.
17. Mosher M., Trantham K. *Brewing science: A multidisciplinary approach*. Cham: Springer, 2017. 408 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46394-0>.
18. Способ охмеления пивного сусла: пат. 2634870С1 Рос. Федерация. № 2016129114 / Бородулин Д. М. [и др.]; заявл. 15.07.2016; опубл. 07.11.2017; Бюл. № 31. 5 с.
19. Исследование процесса растворения полидисперсных материалов в установке с роторно-пульсационным аппаратом / А. А. Кухленко [и др.] // *Инженерно-физический журнал*. 2015. Т. 88. № 1. С. 25–36. <https://doi.org/10.1007/s10891-015-1164-z>.
20. Иванов Е. В., Матвеева Н. А. Экстрагирование растительного сырья с периодическим интенсивным гидродинамическим режимом // *Вестник международной академии холода*. 2015. № 4. С. 16–22.
21. Романова Н. К., Китаевская С. В., Решетник О. А. Оптимизация процесса экстракции ягод клюквы в роторно-пульсационном аппарате // *Вестник технологического университета*. 2018. Т. 21. № 10. С. 166–170.
22. Сафонова Е. А., Потапов А. Н., Вагайцева Е. А. Интенсификация технологических процессов производства пива при использовании роторно-пульсационного аппарата // *Техника и технология пищевых производств*. 2015. Т. 36. № 1. С. 74–81.
23. Совершенствование процесса получения растительного масла из семян винограда / А. Т. Телешев [и др.] // *Научное обозрение*. 2015. № 15. С. 219–225.
24. Gutova S. G., Novoseltseva M. A., Kagan E. S. Mathematical modeling of isohumulone extraction process in beer wort hoppingn // *Proceedings – 2019 International Russian Automation Conference*. Sochi. 2019. <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867778>.
25. Определение рациональных параметров работы вибрационного смесителя для получения мучных сыпучих смесей / Д. М. Бородулин [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>.
26. Просеков А. Ю. Роль межфазных поверхностных явлений в производстве дисперсных продуктов с пенной структурой (обзор) // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2001. № 8. С. 24–27.
27. Просеков А. Ю. *Физико-химические основы получения пищевых продуктов с пенной структурой*. Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2001. 172 с.

References

1. Ali A, Qadri S, Mashwani WK, Belhaouari SB, Naeem S, Rafique S, et al. Machine learning approach for the classification of corn seed using hybrid features. *International Journal of Food Properties*. 2020;23(1):1110–1124. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1778724>.
2. An T, Yu H, Yang C, Liang G, Chen J, Hu Z, et al. Black tea withering moisture detection method based on convolution neural network confidence. *Journal of Food Process Engineering*. 2020;43(7). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13428>.
3. Bhargava A, Barisal A. Automatic detection and grading of multiple fruits by machine learning. *Food Analytical Methods*. 2020;13(3):751–761. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01690-6>.
4. Chen J, Zhang D, Nanehkaran YA, Li D. Detection of rice plant diseases based on deep transfer learning. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020;100(7):3246–3256. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10365>.
5. Chen X, Chai Q, Lin N, Li X, Wang W. 1D convolutional neural network for the discrimination of aristolochic acids and their analogues based on near-infrared spectroscopy. *Analytical Methods*. 2019;11(40):5118–5125. <https://doi.org/10.1039/c9ay01531k>.
6. Codina GG, Dabija A, Oroian M. Prediction of pasting properties of dough from mixolab measurements using artificial neuronal networks. *Foods*. 2019;8(10). <https://doi.org/10.3390/foods8100447>.
7. Ekiz B, Baygul O, Yalcintan H, Ozcan M. Comparison of the decision tree, artificial neural network and multiple regression methods for prediction of carcass tissues composition of goat kids. *Meat Science*. 2020;161. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108011>.
8. Ikonc B, Bera O, Pavlicevic J, Kojic P, Jokic A, Ikonc P, et al. Artificial neural network modeling and optimization of wheat starch suspension microfiltration using twisted tape as a turbulence promoter. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2019;43(11). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14219>.
9. Lu A, Wei X, Cai R, Xiao S, Yuan H, Gong J, et al. Modeling the effect of vibration on the quality of stirred yogurt during transportation. *Food Science and Biotechnology*. 2020;29(7):889–896. <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00741-7>.
10. Sadeghi E, Haghighi Asl A, Movagharnejad K. Mathematical modelling of infrared-dried kiwifruit slices under natural and forced convection. *Food Science and Nutrition*. 2019;7(11):3589–3606. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1212>.
11. Sadeghi E, Movagharnejad K, Haghighi Asl A. Mathematical modeling of infrared radiation thin-layer drying of pumpkin samples under natural and forced convection. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2019;43(12). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14229>.
12. Stangierski J, Weiss D, Kaczmarek A. Multiple regression models and Artificial Neural Network (ANN) as prediction tools of changes in overall quality during the storage of spreadable processed Gouda cheese. *European Food Research and Technology*. 2019;245(11):2539–2547. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03369-y>.
13. Tarafdar A, Kaur BP, Nema PK, Babar OA, Kumar D. Using a combined neural network – genetic algorithm approach for predicting the complex rheological characteristics of microfluidized sugarcane juice. *LWT*. 2020;123. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109058>.
14. Torshizi MV, Asghari A, Tabarsa F, Danesh P, Akbarzadeh A, et al. Classification by artificial neural network for mushroom color changing under effect UV-A irradiation. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*. 2020;12(2):157–167. <https://doi.org/10.34302/crpjfst/2020.12.2.16>.
15. Vakula A, Pavlic B, Pezo L, Tepic Horecki A, Danicic T, Raicevic L, et al. Vacuum drying of sweet cherry: Artificial neural networks approach in process optimization. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2020;44(11). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14863>.
16. Vasighi-Shojae H, Gholami-Parashkouhi M, Mohammadzamani D, Soheili A. Predicting mechanical properties of golden delicious apple using ultrasound technique and Artificial Neural Network. *Food Analytical Methods*. 2020;13(3):699–705. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01689-z>.
17. Mosher M, Trantham K. *Brewing science: A multidisciplinary approach*. Cham: Springer; 2017. 408 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46394-0>.
18. Borodulin DM, Safonova EA, Ivanets VN, Lapina TP, Milenkij IO. Method for hopping beer wort. Russia patent RU 2634870C1. 2017.
19. Kukhlenko AA, Orlov SE, Ivanova DB, Vasilishin MS. Process of dissolution of polydisperse materials in a unit with a rotary pulsation apparatus. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2015;88(1):25–36. (In Russ.). <https://doi.org/10.1007/s10891-015-1164-z>.
20. Ivanov EV, Matveeva NA. Plant raw material extraction with periodic intensive hydrodynamic regime. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2015;(4):16–22. (In Russ.).

21. Romanova NK, Kitaevskaya SV, Reshetnik OA. Optimization of cranberry extraction in the rotor-pulsating machine. *Bulletin of the Technological University*. 2018;21(10):166–170. (In Russ.).
22. Safonova EA, Potapov AN, Vagaytseva EA. Intensification of technological processes of beer production using rotary-pulsation apparatus. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2015;36(1):74–81. (In Russ.).
23. Teleshev AT, Chagava YaD, Asaturyan ZhM, Kaziev GZ, Kudryavtsev AB. Improvement of the process of producing plant oil from grape seeds. *Scientific Review*. 2015;(15):219–225. (In Russ.).
24. Gutova SG, Novoseltseva MA, Kagan ES. Mathematical modeling of isohumulone extraction process in beer wort hoppingn. *Proceedings – 2019 International Russian Automation Conference; 2019; Sochi*. Sochi: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2019. <https://doi.org/10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867778>.
25. 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>.
26. Prosekov AYu. Rol' mezhfaznykh poverkhnostnykh yavleniy v proizvodstve dispersnykh produktov s pennoy strukturoy (obzor) [The role of interfacial surface phenomena in the production of dispersed products with a foam structure (review)]. *Storage and Processing of Farm Products*. 2001;(8):24–27. (In Russ.).
27. Prosekov AYu. Fiziko-khimicheskie osnovy polucheniya pishchevykh produktov s pennoy strukturoy [Physico-chemical foundations for obtaining food products with a foam structure]. *Kemerovo: Kemerovo Technological Institute of Food Industry; 2001*. 172 p. (In Russ.).

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-604-614>
УДК 637.674

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Влияние замены сахарозы глюкозно-фруктозным сиропом на показатели качества мороженого пломбир



Т. В. Шобанова*^{ID}, А. А. Творогова^{ID}

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности^{ROR}, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 17.03.2021

Принята после рецензирования: 27.04.2021

Принята в печать: 15.07.2021

*e-mail: t.shobanova@yandex.ru



© Т. В. Шобанова, А. А. Творогова, 2021

Аннотация.

Введение. В последние годы возрастает производство продукции функциональной направленности с низким гликемическим индексом за счет снижения или исключения сахарозы из рецептуры. Научную новизну определяет экспериментальное подтверждение синергетического влияния массовой доли жира и глюкозно-фруктозных сиропов на динамическую вязкость, термо- и формоустойчивость продукта, а также на снижение криоскопической температуры при замене сахарозы на глюкозно-фруктозный сироп. Цель работы – изучение влияния замены сахарозы глюкозно-фруктозными сиропами на показатели качества мороженого пломбир.

Объекты и методы исследования. Мороженое пломбир с массовой долей сахарозы 14 % и с заменой 3, 5 и 14 % сахарозы. Применялись реологические, термометрические, термостатические и расчетные методы исследований.

Результаты и их обсуждение. Определены гликемический индекс образцов мороженого с заменой сахарозы на глюкозно-фруктозный сироп (38–57) и гликемическая нагрузка на порцию 70 г (5,3–7,8); контроль – 60 и 8,5 соответственно. Получены экспериментальные данные, свидетельствующие об отсутствии отрицательного влияния замены сахарозы глюкозно-фруктозным сиропом на показатели качества мороженого пломбир. Динамическая вязкость смесей для мороженого составила 580–640 мПа·с (контроль 563 мПа·с). Диаметр воздушных пузырьков после закалывания не превышал 30 мкм, средний размер кристаллов льда составил 30–34 мкм. Обоснована необходимость понижения температуры выгрузки из фризера мороженого пломбир при использовании глюкозно-фруктозного сиропа с –4,6 до –5–7 °С.

Выводы. Использование глюкозно-фруктозных сиропов в производстве мороженого пломбир позволяет полностью и частично заменять сахарозу при сохранении показателей качества традиционного продукта (динамическая вязкость, термо- и формоустойчивость, дисперсность воздушной фазы и кристаллов льда). При этом происходит снижение гликемического индекса в 1,6 раза при полной замене сахарозы на глюкозно-фруктозный сироп. Исследования показали перспективность исследований по замене сахарозы в мороженом пломбир на ингредиенты с более низким гликемическим индексом.

Ключевые слова. Пломбир, сахароза, глюкозно-фруктозный сироп, криоскопическая температура, гликемический индекс, вымороженная вода

Для цитирования: Шобанова Т. В., Творогова А. А. Влияние замены сахарозы глюкозно-фруктозным сиропом на показатели качества мороженого пломбир // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 604–614. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-604-614>.

Original article

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

The Effect of Replacing Sucrose with Glucose-Fruit Syrup on the Quality Indicators of Plombières Ice-Cream

Tatyana V. Shobanova*^{ID}, Antonina A. Tvorogova^{ID}

All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry^{ROR}, Moscow, Russia

Received: March 17, 2021

Accepted in revised form: April 27, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021

*e-mail: t.shobanova@yandex.ru



Abstract:

Introduction. As functional products with a low glycemic index are becoming more and more popular, sucrose is gradually leaving food formulations. Glucose-fructose syrups (GFS) serve as substitutes for sucrose because they have a low glycemic index. The present research objective was to prove that GFS can be used for industrial production of functional foods, e.g. Plombières ice-cream with a low glycemic index. The list of technologically significant quality indices to be studied included dynamic viscosity, overrun, thermal and dimensional stability, and dispersion of the air phase and ice crystals. The experiment confirmed the synergistic effect of the mass fraction of fat and GFS on the dynamic viscosity, thermal and dimensional stability of the product, and a decrease of cryoscopic temperature.

Study objects and methods. The research featured Plombières ice-cream. The control sample had a mass fraction of sucrose 14%; the experimental samples had a partial (3 and 5%) and complete replacement (14%) of sucrose. Rheological research methods helped to determine the dynamic viscosity; thermometric methods were used to measure the cryoscopic temperature of the mix and the temperature at unloading ice cream from the freezer, weighing methods – to determine the overrun, thermostatic methods – to establish thermal and shape stability, calculating methods – to define the share of frozen water, glycemic index, glycemic load, and sweetness.

Results and discussions. The glycemic index of the test samples was 38–57, of the control sample – 60. The glycemic load per portion of 70 g was 5.3–7.8 (8.5 for control). The dynamic viscosity of ice cream mixes was 580–640 mPa·s (control – 563 mPa·s), the cryoscopic temperature –2.52–3.48°C, (control –2.32°C), and the temperature of unloading of the ice cream from the freezer at the share of frozen water of 50% was –5–7°C (control –4.6°C). As for thermal stability, after 90 min, the mass fraction of melt in the control sample was 35%, while in the sample with a complete replacement of sucrose, it was only 2%. In all the test samples, the structural elements had almost the same size. The diameter of air bubbles did not exceed 30 µm after hardening; the average size of ice crystals was 30–34 µm. The experimental data revealed no negative effect of replacing sucrose with GFS on the quality indicators of Plombières ice-cream.

Conclusion. Glucose-fructose syrups can completely or partially replace sucrose while maintaining the quality parameters of Plombières ice-cream, e.g. dynamic viscosity, thermal and dimensional stability, dispersion of the air phase and ice crystals. The glycemic index decreased 1.6 times with a complete replacement of sucrose. Therefore, GFS can lower the glycemic index of Plombières ice-cream.

Keywords. Ice cream, sucrose, glucose-fructose syrup, cryoscopic temperature, glycemic index, frozen water

For citation: Shobanova TV, Tvorogova AA. The Effect of Replacing Sucrose with Glucose-Fruit Syrup on the Quality Indicators of Plombières Ice-Cream. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):604–614. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-604-614>.

Введение

Несмотря на увеличение спроса во всем мире на продукты функциональной направленности, высокой популярностью у потребителей пользуется мороженое пломбир (за рубежом – мороженое премиум-класса). Эта разновидность мороженого характеризуется высокими потребительскими показателями из-за своего сбалансированного химического состава и высокой массовой доли жира [1]. Входящие в состав мороженого жиры, белки и сахара выполняют свою функциональную роль в технологии и формировании показателей качества.

Сахара в мороженом представлены добавленным сахаром – сахарозой и входящей в состав СОМО лактозой. Доля сахарозы в мороженом пломбир превышает 35 %. Она выполняет роль не только сухого вещества в мороженом, но и усилителя вкуса жира и источника сладости.

В связи с высоким содержанием сахарозы мороженое относят к продуктам со средним гликемическим индексом (ГИ), что может ограничивать его потребление. ГИ – это показатель

скорости насыщения крови сахаром после приема того или иного продукта питания [6]. Все продукты питания можно разделить на три категории по гликемическому индексу: низкий – не более 55, средний – от 56 до 69, высокий – свыше 70. Замена сахарозы компонентами с низким ГИ может стать альтернативным способом производства мороженого для лиц, ограничивающих потребление сахарозы. ТР ТС 033/2013 предусмотрена возможность использования в производстве мороженого других сахаров вместо сахарозы на том же уровне.

Еще одним важным показателем, учитываемым при решении вопросов здорового питания, является гликемическая нагрузка (Glycemic Load – GL). Данный показатель позволяет судить о фактическом уровне гликемической нагрузки при потреблении конкретного количества углеводов в одной порции и в суточном пищевом рационе [7].

За рубежом в качестве замены сахарозы используют продукты переработки крахмалов из картофеля, кукурузы, пшеницы и тапиоки. К ним относятся и глюкозно-фруктозные сиропы (ГФС)

Таблица 1. Молекулярная масса сахаров и коэффициент понижения ими точки замерзания

Table 1. Molecular weight of sugars and the coefficient of lowering their freezing point

Сахара	Молекулярная масса сахаров	Коэффициент понижения точки замерзания
Мальтодекстрин (ДЭ 10)	504	0,21
Кукурузная патока (ДЭ 43)	428	0,80
Мальтоза	342	0,98
Сахароза	342	1,00
Лактоза	342	1,00
ГФС-42	180	1,76
ГФС-55	180	1,78
Декстроза (глюкоза)	180	1,86
Фруктоза	180	1,92
Галактоза	180	1,92

с низким гликемическим индексом. Кроме того, в небольших количествах для восполнения сухих веществ сахарозы используют мальтодекстрины, сухие глюкозные сиропы, патоку и пищевые волокна [8]. Эффективным заменителем сахарозы по сладости является фруктоза, характеризующаяся низким значением ГИ 20.

При подборе заменителей сахарозы учитываются их молекулярные массы, т. к. растворимость углеводов и их сладость находятся в обратной зависимости от их молекулярной массы, а вязкость их растворов в прямой. В мороженом внесенные сахара пребывают в виде истинного раствора, что оказывает влияние на криоскопическую температуру, от которой зависит доля вымороженной влаги. В таблице 1 представлены данные по влиянию молекулярной массы сахаров на коэффициент понижения точки замерзания [9, 10].

Сахара с высокой молекулярной массой, по сравнению с сахарозой, повышают количество центров кристаллизации влаги за счет увеличения доли вымороженной воды при фризировании.

При использовании сахаров с меньшей молекулярной массой, чем у сахарозы, в производстве смесей для мороженого понижается их криоскопическая температура. Следовательно, доля вымороженной влаги в процессе фризирования тоже становится ниже [11, 12].

В настоящее время на российских предприятиях, производящих пищевую продукцию, используются в большом ассортименте различные заменители сахара. Большинство из них относятся к пищевым добавкам, что вызывает недоверие у потребителей [13].

Глюкозно-фруктозные сиропы получают изомеризацией части D-глюкозы в D-фруктозу с итоговым содержанием фруктозы от 20 до 50 % от массовой доли сухого вещества. ГФС,

которые содержат более 50 % фруктозы в своем составе, называется высокофруктозным [10, 14]. Благодаря высокому содержанию фруктозы ГФС незначительно слаще сахарозы, они меньше склонны к кристаллизации и хорошо растворимы в воде. Глюкозно-фруктозные сиропы, которые содержат от 55 до 60 % фруктозы, более устойчивы к самопроизвольной кристаллизации при температуре 10–15 °С. Это делает возможным их хранение без дополнительного подогрева [15, 16].

За счет схожего вкусового профиля и уровня сладости с сахарозой и дешевизны, по сравнению с тростниковым и свекловичным сахаром, ГФС широко используют в производстве различных напитков, мучной и кондитерской продукции, а также мороженого и ряда других изделий [17–19]. Производство и внедрение ГФС в пищевую промышленность началось с конца 1960-х в США, где они производились из кукурузного крахмала и назывались high-fructose corn syrup (HFCS) (кукурузные сиропы с высоким содержанием фруктозы). Их производили с содержанием фруктозы 42 (HFCS-42) или 55 % (HFCS-55), реже с более высокой массовой долей. В России, как и в странах Европы, для производства ГФС в качестве заменителя кукурузы используется пшеница [20].

Разновидность ГФС – концентрат фруктозный пшеничный (ГФС-70). Его получают из пшеничного крахмала посредством ферментативного гидролиза, последующего осахаривания до высокого содержания глюкозы и частичной изомеризации ее во фруктозу, концентрирования и упаривания. Массовая доля сухих веществ в ГФС-70 составляет не менее 76,0 %. Из них на долю фруктозы приходится не менее 73,0 %, глюкозы – не менее 22,0 %, других сахаров – не более 5,0 %.

Фруктоза и глюкоза являются моносахарами и обладают сладостью по отношению к сахарозе – 1,75 и 0,75 соответственно. Расчетная относительная сладость ГФС-70 составляет 1,05.

Глюкозно-фруктозные сиропы являются полноценными заменителями сахарозы как по сладости, так и по сухому веществу. Также они обладают рядом преимуществ, такими как быстрое усвоение организмом и более низкая стоимость [13, 21, 22].

За счет сладости этих продуктов, которая близка к сладости сахарозы, можно говорить о целесообразности их применения в мороженом для полной и частичной замены сахарозы по сладости и сухому веществу. Применение заменителей сахарозы с низкой молекулярной массой отрицательно влияет на формирование структуры и дисперсность структурных элементов. Учитывая структурирующую роль жира, можно сделать вывод о целесообразности проведения замены сахарозы на низкомолекулярные сахара в мороженом с высокой массовой долей жира [2–5].

Целью исследования являлось изучение влияния замены сахарозы глюкозно-фруктозными сиропами на технологически значимые показатели качества мороженого пломбир: динамическую вязкость, взбитость, термо- и формоустойчивость, дисперсность воздушной фазы и кристаллов льда для обоснования применения сиропов в промышленных условиях для производства продукта с низким гликемическим индексом.

Объекты и методы исследования

Образцы мороженого пломбир были выработаны на экспериментальном стенде ВНИХИ в лаборатории технологии мороженого в соответствии с традиционной схемой производства мороженого.

Для определения гликемического индекса и гликемической нагрузки (ГН) применялись расчетные методы. При расчете ГИ мороженого учитывали гликемический индекс каждого из углеводов и их долю в общей массовой доле углеводов. При расчете ГН продукта учитывали значение ГИ углеводов и их долю.

Определение динамической вязкости смесей для мороженого проводили на вискозиметре Brookfield DV-II+Pro с программным обеспечением Rheocalc V3.1-1 с измерительным шпинделем SC4-31. Исследования выполняли при постоянной температуре смеси $4 \pm 0,5$ °С.

Для определения температуры замерзания смесей применяли прибор для определения температуры замерзания – криоскоп ОСКР-1.

Для определения взбитости мороженого использовали расчетный метод, основанный на измерении масс смеси и мороженого. Взбитость мороженого (B , %) вычисляли по формуле:

$$B = (M_2 - M_3 / M_3 - M_1) \times 100 \% \quad (1),$$

где M_1 – масса стакана, г; M_2 – масса стакана, заполненного смесью, г; M_3 – масса стакана, заполненного мороженым, г.

Термоустойчивость мороженого определяли при температуре $20 \pm 0,5$ °С в течение 2 ч. Образец мороженого ($m_{\text{мор}}$) с температурой -18 °С взвешивали и помещали на сито в термостат. По прошествии 60 мин взвешивали массу плава в чашке ($m_{\text{пл}}$), установленной под ситом. Затем определяли массу плава через каждые 10 мин в течение часа. Данный метод основан на способности мороженого сопротивляться таянию в процессе его выдерживания при температуре $20 \pm 0,5$ °С.

За конечный результат принимали массовую долю плава (W) в % в каждой точке измерения, которую вычисляли по формуле 2:

$$W = \frac{m_{\text{пл}}}{m_{\text{мор}}} \times 100 \quad (2)$$

Формоустойчивость образцов определяли при

температуре $20 \pm 0,5$ °С в течение 60 мин. Подготовку пробы мороженого проводили следующим образом: из исследуемого образца с температурой -18 °С металлическим пробником, предварительно выдержанным не менее 4 ч при температуре -18 °С, отбирали пробу, помещали ее в заранее охлажденную до температуры -18 °С чашку Петри и затем переносили в термостат. Данный метод основан на способности мороженого сохранять форму в процессе выдерживания образца при температуре $20 \pm 0,5$ °С. Образцы оценивались визуально. Для этого каждые 10 мин их фотографировали сверху и под углом 45° .

Состояние воздушной фазы и кристаллов льда определяли с помощью микроскопических исследований с использованием микроскопа Olympus CX 41 со встроенной фотокамерой, а также термо- и крио-столиком PE 120. Проводили качественную (микроструктурную) и количественную оценку (по кривым распределения частиц по размерам, их среднему размеру и количественной доли до 50 мкм (порог органолептической ощутимости для кристаллов)) дисперсности воздушной фазы и кристаллов льда. Полученные изображения обрабатывались с помощью программного обеспечения ImageScore M. Полученные данные обрабатывали с помощью средств MS Excel и TableCurve 2D v5.01. Для каждого образца обсчитывалось не менее 3-х фотографий. Определяли кривую распределения и модель с коэффициентом детерминации не менее 0,9.

Результаты и их обсуждение

Обоснование композиционного состава экспериментальных партий мороженого пломбир. При исследовании возможности различной степени замены сахарозы ГФС-70 в мороженом пломбир учитывали наличие в нем высокой массовой доли жира и сухих веществ, оказывающих положительное влияние на формирование структуры и вкусовых ощущений. При исследовании влияния ГФС-70 на показатели качества мороженого увеличение массовой доли стабилизационной системы и массовой доли общих сухих веществ в связи с увеличением моносахаров в составе продукта не было предусмотрено. В таблице 2 представлены характеристики мороженого пломбир с м.д.ж. 12 %.

Были изготовлены экспериментальные образцы: № 1 – контроль, содержащий 14 % сахарозы; № 2 – 11 % сахарозы и 3 % ГФС-70; № 3 – 11 % сахарозы, 5 % ГФС-70 и 8 % СОМО; № 4 – образец с полной замены сахарозы на ГФС-70 (14 %). Во всех образцах продукта суммарная массовая доля сахаров составляла не менее 14 %, что позволило относить этот продукт к категории «мороженое пломбир».

Определение гликемического индекса и гликемической нагрузки в экспериментальных образцах мороженого пломбир. Гликемический индекс

Таблица 2. Химический состав мороженого пломбир с м.д.ж. 12 %

Table 2. Chemical composition of Plombières ice-cream with mass fraction of fat = 12%

Массовая доля сух. в-в, %	Образец			
	№ 1 (контроль)	№ 2	№ 3	№ 4
Молочный жир	12	12	12	12
СОМО	10	10	8	10
Сахароза	14	11	11	–
Стабилизатор	0,45	0,45	0,45	0,45
ГФС-70	–	3	5	14
Итого	36,0	36,0	36,0	36,0

100 г мороженого определяли расчетным путем с учетом гликемического индекса углеводов и доли каждого из них в общей массовой доле углеводов. Результаты расчета приведены в таблице 3.

Как следует из данных, приведенных в таблице 3, при частичной замене сахарозы на ГФС-70 гликемический индекс снизился не более чем в 1,1 раза, при полной замене – более чем в 1,5 раза. При этом во всех образцах с ГФС-70 расчетная сладость была не ниже, чем при использовании сахарозы.

При расчете гликемической нагрузки продукта массой 70 г учитывали значение ГИ и долю углеводов в нем. ГН образцов мороженого пломбир (масса порции 70 г) представлена в таблице 4.

Как следует из данных таблицы 4, гликемическая нагрузка 1 порции мороженого пломбир при полной замене сахарозы на ГФС снижается в 1,6 раза. А ГН при потреблении порции мороженого пломбир без сахарозы составляет 6,6 % от рекомендуемого уровня низкого значения этого показателя (80 %).

Исследование физических показателей мороженого пломбир. С целью определения технологических параметров процесса производства в экспериментальных образцах определяли:

- динамическую вязкость смесей для мороженого пломбир;
- криоскопическую температуру смесей для мороженого;

Таблица 3. Гликемический индекс и степень сладости образцов

Table 3. Glycemic index and sweetness

Образец	Гликемический индекс	Степень сладости относительно сахарозы
№ 1 (контроль)	60	1,00
№ 2	57	1,02
№ 3	55	1,18
№ 4	38	1,09

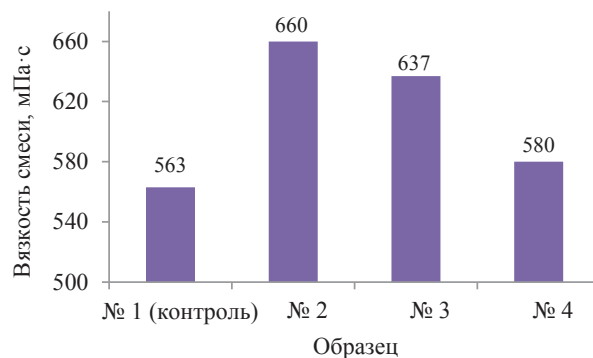


Рисунок 1. Динамическая вязкость смесей в исследуемых образцах

Figure 1. Dynamic viscosity of the Plombières mixes

– температуру мороженого на выходе из цилиндра фризера;

– взбитость мороженого на выходе из фризера.

Определение динамической вязкости смесей для мороженого. Увеличение вязкости смеси для мороженого является желаемым и положительно влияет на дисперсность структурных элементов (воздушные пузырьки и кристаллы льда).

Полученные результаты исследования динамической вязкости при градиенте сдвига на срез $0,83 \text{ с}^{-1}$ представлены на рисунке 1.

Исследования динамической вязкости показали, что замена сахарозы глюкозно-фруктозным сиропом приводит к повышению динамической вязкости на 3–17 %. При этом наибольший синергизм сахарозы

Таблица 4. Гликемическая нагрузка образцов

Table 4. Glycemic load

Образец	Содержание углеводов, г	Гликемический индекс, %	Гликемическая нагрузка на порцию 70 г
№ 1 (контроль)	13,7	62	8,5
№ 2	13,7	57	7,8
№ 3	14,3	56	8,0
№ 4	13,7	39	5,3

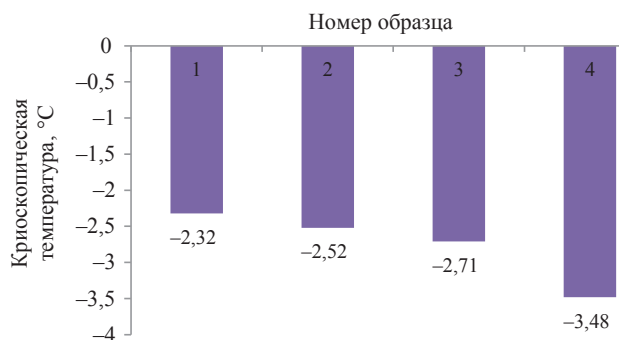


Рисунок 2. Криоскопическая температура смесей для мороженого пломбир

Figure 2. Cryoscopic temperature of the Plombières mixes

и ГФС по этому показателю отмечен при замене 3 % сахарозы.

Исследование влияния ГФС-70 на криоскопическую температуру смесей, температуру выгрузки из фризера и взбитость мороженого. Результаты определения криоскопической температуры смесей представлены на рисунке 2. В связи с увеличением в продукте содержания моносахаров (фруктозы и глюкозы) и по мере повышения доли замены сахарозы на ГФС-70 криоскопическая температура снижалась. Этот показатель в образце с полной заменой сахарозы на ГФС-70 (№ 4) был ниже в 1,5 раза, чем в контрольном образце (№ 1).

Определена температура мороженого на выходе из фризера с учетом криоскопической температуры смесей и необходимости достижения во фризере не менее 50 % доли вымороженной воды (табл. 5).

Доля вымороженной воды (ω , %) – относительное количество воды, превратившееся в лед при замораживании. Количество вымороженной воды определяли по формуле Рауля-Чижова:

$$\omega = 1 - \frac{t_{кр}}{T} \quad (3)$$

где $t_{кр}$ – криоскопическая температура, °C; T – температура, при которой определяется доля вымороженной воды, °C

Таблица 5. Физические показатели образцов при фризеровании

Table 5. Physical indicators during freezing

Показатель	№ 1 (контроль)	№ 2	№ 3	№ 4
Температура смеси, °C	5,4	5,7	5,5	5,0
Температура мороженого при выгрузке из фризера, °C	-4,6	-5,0	-5,4	-7,0
Взбитость, %	76	68	68	62

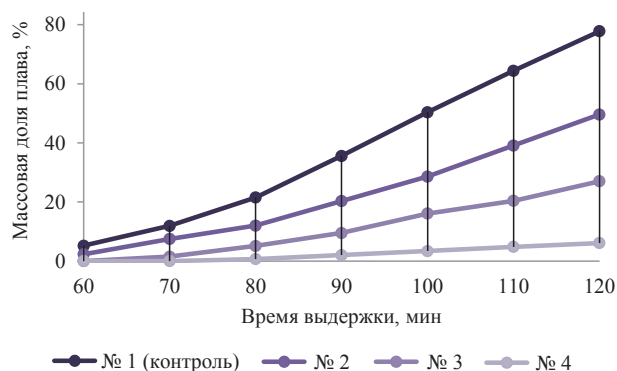


Рисунок 3. Влияние ГФС-70 на термоустойчивость мороженого пломбир

Figure 3. Effect of GFS-70 on the thermal stability of Plombières ice-cream

Физические показатели смеси и мороженого представлены в таблице 5.

Как следует из данных, приведенных в таблице 5, температура мороженого с полной заменой сахарозы на ГФС-70 и контрольного образца, как и криоскопическая температура, отличались в 1,5 раза.

Взбитость мороженого с использованием ГФС-70 как для полной, так и для частичной замены сахарозы незначительно отличалась от взбитости контрольного образца. Однако тенденция снижения способности смеси к насыщению воздухом по мере повышения содержания ГФС-70 прослеживалось.

Исследование влияния ГФС-70 на термо- и формоустойчивость мороженого. Определено влияние ГФС-70 на термоустойчивость мороженого пломбир. Динамика таяния исследуемых образцов мороженого отражена на рисунке 3.

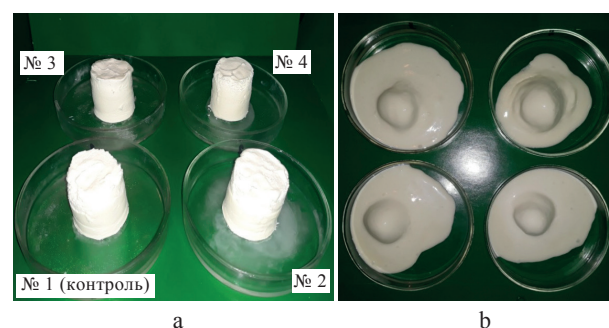


Рисунок 4. Форма порций мороженого пломбир: а – в начале; б – через 60 мин выдерживания при температуре 20 °C

Figure 4. Form of ice cream portions: а – at the onset; б – after 60 min of exposure to 20°C

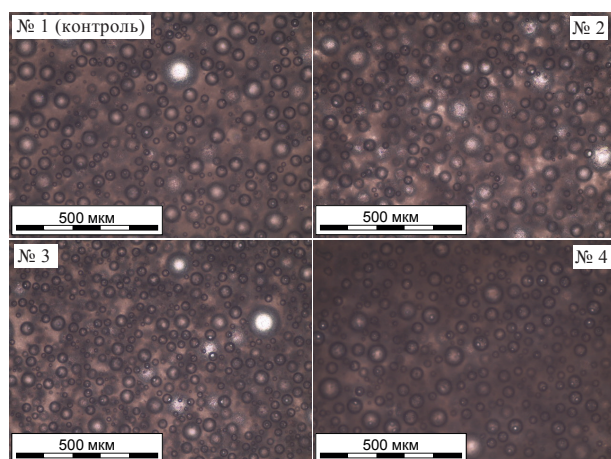


Рисунок 5. Микрофотографии состояния воздушной фазы в мороженом после закаливания

Figure 5. Micrographs of the air phase after hardening

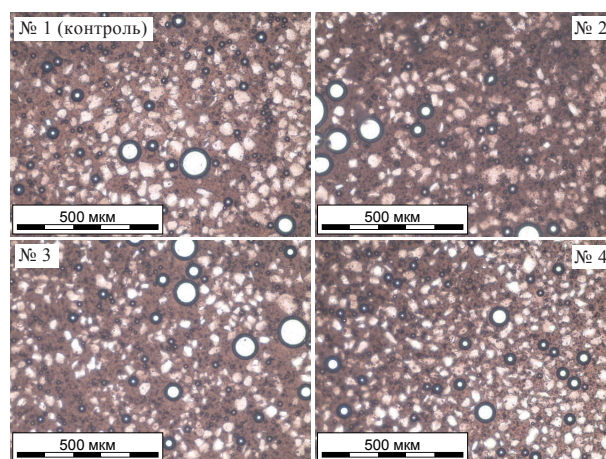


Рисунок 6. Микрофотографии кристаллов льда после закаливания

Figure 6. Micrographs of ice crystals after hardening

Как следует из данных, приведенных на рисунке 3, все образцы мороженого характеризуются высокой термоустойчивостью. При этом, несмотря на увеличение содержания моносахаров в образцах с ГФС-70, количество плава в них было меньше, чем в контрольном образце. По истечении 90 мин массовая доля плава в контрольном образце составила 35 %, а при полной замене сахарозы всего 2 %.

На рисунке 4 представлено состояние формы образцов мороженого пломбир с различными массовыми долями сахарозы и ГФС-70 в процессе выдерживания. По формоустойчивости образцы с частичной (№ 2, 3) и полной (№ 4) заменой сахарозы сиропом незначительно отличались от контрольного образца (№ 1).

Исследование дисперсности воздушной фазы и кристаллов льда в мороженом. Проведена качественная и количественная оценка дисперсности воздушных пузырьков и кристаллов льда. Качественная оценка дисперсности воздушной фазы и кристаллов льда представлена на рисунках 5 и 6.

Количественную оценку дисперсности воздушной фазы и кристаллов льда в процессе хранения проводили с учетом среднего диаметра этих структурных элементов и распределения их по размерам (рис. 7 и 8).

Установлено, что во всех образцах как с частичной, так и с полной заменой сахарозы сиропом диаметр воздушных пузырьков после закаливания не отличался и составлял 30 мкм, как и в контрольном образце.

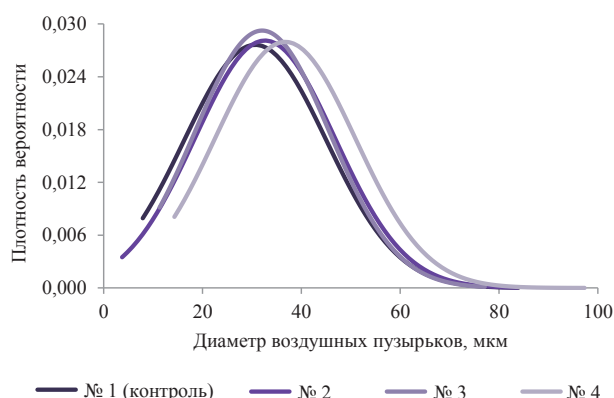


Рисунок 7. Кривые распределения воздушных пузырьков через 3 месяца хранения мороженого

Figure 7. Curves of distribution of air bubbles after 3 months of storage

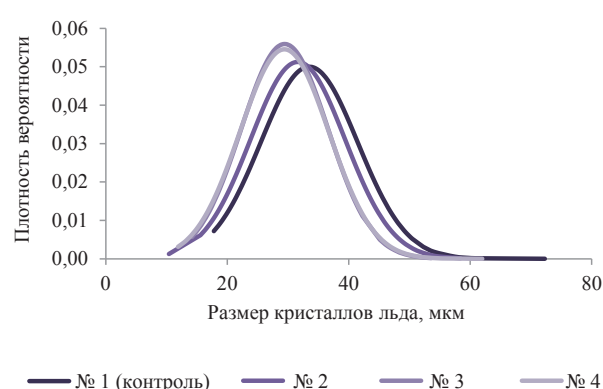


Рисунок 8. Кривые распределения кристаллов льда через 3 месяца хранения мороженого

Figure 8. Curves of ice crystal distribution after 3 months of storage

Наименьший средний диаметр воздушных пузырьков после закаливания отмечен в образце с 5 % сиропа – не более 26 мкм.

Определены уравнения кривых распределения воздушных пузырьков по размерам (табл. 6) и площади под кривыми распределения на интервалах до 50 мкм, от 50 до 70 мкм и более 70 мкм (табл. 7). Из полученных данных следует, что количество пузырьков воздуха размером менее 50 мкм в экспериментальных образцах доминирует. При этом доля площади под кривой распределения для этой группы структурных элементов составляет 82–92 %, в контрольном образце 91 %.

В образце № 4 (с полной заменой сахарозы) через 3 месяца хранения произошло снижение

дисперсности воздушных пузырьков. Количественная доля пузырьков размером до 50 мкм составила около 82 %, пузырьков размером до 70 мкм было больше на 9 %, чем в контрольном образце (№ 1). При этом средний диаметр не превышал 35 мкм.

Установлено, что средний размер кристаллов льда во всех образцах мороженого после закаливания не отличался и составил 30–34 мкм. По данным плотности вероятности распределения размеров кристаллов льда следует, что наибольшая дисперсность кристаллов льда достигнута в образцах № 3 и 4 (с массовыми долями ГФС-70 5 и 14 % соответственно) (рис. 8). Такая же тенденция отмечена при анализе долей площади под кривой распределения кристаллов льда (табл. 9), описываемых уравнениями (табл. 8).

Таблица 6. Уравнение кривых распределения

Table 6. Equation of distribution curves

Образец	Уравнение	Коэффициент				R^2
		a	b	c	d	
№ 1 (контроль)	$\ln y = a + bx + cx^2 + dx^3$	–5,85133	0,14772251	–0,00241	3,95E-09	0,99
№ 2		–6,22416	0,16273642	–0,00249	3,56E-10	0,99
№ 3		–6,30314	0,17304089	–0,0027	–5,30E-09	0,99
№ 4		–6,90247	0,18125873	–0,00247	2,40E-09	0,99

Таблица 7. Площади на интервалах под кривыми распределения воздушных пузырьков

Table 7. Areas at intervals under the curves of distribution of air bubbles

Образец	Срок хранения	Площадь на интервале менее 50 мкм, ед. ²	Площадь на интервале от 50 до 70 мкм, ед. ²	Площадь на интервале более 70 мкм, ед. ²
№ 1 (контроль)	3 мес	0,91	0,09	~ 0
№ 2		0,89	0,11	
№ 3		0,91	0,09	
№ 4		0,82	0,18	

Таблица 8. Уравнение кривых распределения

Table 8. Equation of distribution curves

Образец	Уравнение	Коэффициент				R^2
		a	b	c	d	
№ 1 (контроль)	$\ln y = a + bx + cx^2 + dx^3$	–11,814351	0,52639044	–0,00786	1,90E-09	0,99
№ 2		–11,221225	0,5217306	–0,00825	–2,44E-09	
№ 3		–11,4062	0,57859946	–0,09821	1,09E-10	
№ 4		–10,988349	0,5493637	–0,00934	–6,67E-10	

Таблица 9. Площади на интервалах под кривыми распределения кристаллов льда через 3 месяца хранения

Table 9. Areas at intervals under the curves of distribution of ice crystals after 3 months of storage

Образец	Площадь на интервале менее 50 мкм, ед. ²	Площадь на интервале от 50 до 70 мкм, ед. ²	Площадь на интервале более 70 мкм, ед. ²
№ 1 (контроль)	0,98	0,02	0
№ 2	0,99	0,01	
№ 3	1	0	
№ 4	1	0	

Как следует из данных, приведенных на рисунках 6 и 8 и таблицах 8 и 9, использование ГФС-70 в рецептурах мороженого пломбир приводит к увеличению дисперсности кристаллов льда. Увеличение содержания сиропа в продукте приводит к формированию более мелких кристаллов льда. Через 3 месяца хранения количественная доля кристаллов льда размером не более 50 мкм (порог органолептической ощутимости) в образцах № 3 и 4 составила 100 %. Это влияет на положительное решение вопроса о возможности изготовления мороженого пломбир в производственных условиях.

Выводы

В ходе исследований выявлены закономерности влияния замены сахарозы в мороженом пломбир на глюкозно-фруктозный сироп:

- отмечена положительная тенденция к увеличению динамической вязкости смеси (на 3–17 %) и устойчивости к таянию;
- высокая способность смеси к насыщению воздухом;
- формирование кристаллов льда и воздушных пузырьков с высокой дисперсностью;
- понижение криоскопической температуры на 0,2–1,2 °C и температуры выгрузки мороженого

из фризера на 0,4–2,4 °C для достижения доли вымороженной воды не менее 50 %.

Установлено, что при замене сахарозы глюкозно-фруктозными сиропами снижается гликемический индекс продукта в 1,6 раза при полной замене сахарозы.

Критерии авторства

А. А. Творогова – постановка и научное руководство исследованиями. Т. В. Шобанова – обзор литературы, проведение и обработка результатов экспериментальных исследований.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

A.A. Tvorogova defined the goal and supervised the research. T.V. Shobanova reviewed scientific publications, conducted the research, and processed the experimental results.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Control of the process of structure formation of “premium” class ice cream using monostabilizers / A. A. Tvorogova [et al.] // Refrigeration science and technology proceedings: Proceedings of the 25-th IIR International Congress of Refrigeration. Montreal. 2019. P. 2901–2907.
2. Шобанова Т. В., Творогова А. А. Влияние жировой фазы на технологически значимые показатели мороженого пломбир без эмульгаторов // Пищевые системы. 2018. Т. 1. № 2. С. 4–11. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-4-11>.
3. Гофф Г. Д., Гартел Р. У. Мороженое. СПб.: Профессия, 2016. 537 с.
4. Milliatti M. C., Lannes S. C. S. Impact of stabilizers on the rheological properties of ice creams // Food Science and Technology. 2018. Vol. 38. № 4. P. 733–739. <https://doi.org/10.1590/fst.31818>.
5. Исследование структурирующей способности жира в мороженом пломбир без эмульгаторов / А. А. Творогова [и др.] // Холодильная техника. 2019. № 5. С. 36–39.
6. Татаренко Д. А. Каким должно быть правильное питание и как влияет на него Инсулиновый индекс и Гликемический индекс // Современные научные исследования и инновации. 2019. Т. 98. № 6.
7. Никберг И. И. О гликемическом и инсулиновом индексах пищевых продуктов // Новости медицины и фармации. 2011. Т. 371–372. № 11–12. С. 18–19.
8. Голыбин В. А., Ефремов А. А. Технология крахмала, крахмалопродуктов и глюкозно-фруктозных сиропов. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2013. 140 с.
9. Macdonald I. A. A review of recent evidence relating to sugars, insulin resistance and diabetes // European Journal of Nutrition. 2016. Vol. 55. P. 17–23. <https://doi.org/10.1007/s00394-016-1340-8>.
10. Сарафанова Л. А. Современные пищевые ингредиенты. Особенности применения. СПб.: Профессия, 2009. 205 с.
11. Ice cream: Uses and method of manufacture / S. S. Deosarkar [et al.] // Encyclopedia of food and health / editors B. Caballero, P. M. Finglas, F. Toldrá. Academic Press, 2016. P. 391–397. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00384-6>.
12. Honey and syrups: Healthy and natural sweeteners with functional properties / Á.-M. González-Montemayor [et al.] // Natural beverages. Volume 13: The science of beverages / editors A. M. Grumezescu, A. M. Holban. Academic Press, 2019. P. 143–177. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816689-5.00006-7>.
13. Старовойтова О. В., Мухаметзянова Е. Ю., Решетник О. А. Глюкозно-фруктозный сироп в производстве мучного кондитерского изделия // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 22. С. 131–134.

14. Effects of long-term consumption of high fructose corn syrup containing peach nectar on body weight gain in sprague dawley rats / G. Ozcan Sinir [et al.] // Food Science and Technology. 2017. Vol. 37. № 2. P. 337–343. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.25416>.

15. Гнездилова А. Н., Музыкантова А. В., Виноградова Ю. В. Молочный концентрированный сладкий продукт // Молочнохозяйственный вестник. 2017. Т. 25. № 1. С. 84–90.

16. Walker R. W., Dumke K. A., Goran M. I. Fructose content in popular beverages made with and without high-fructose corn syrup // Nutrition. 2014. Vol. 30. № 7–8. P. 928–935. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2014.04.003>.

17. White J. S. Challenging the fructose hypothesis: New perspectives on fructose consumption and metabolism // Advances in Nutrition. 2013. Vol. 4. № 2. P. 246–256. <https://doi.org/10.3945/an.112.003137>.

18. Navale A. Glucose transporters and their cellular form, role and function // Molecular Nutrition: Carbohydrates / editor V. B. Patel. Academic Press, 2019. P. 21–34. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849886-6.00003-3>.

19. Serna-Saldivar S. O. Maize: Foods from maize // Reference Module in Food Science. 2016. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.00126-8>.

20. Яргин С. В. Глюкозно-фруктозный сироп: комментарий для российского читателя // Главный врач Юга России. 2017. Т. 57. № 4. С. 64–66.

21. Агзамова Л. И., Мингалеева З. Ш. Изучение влияния глюкозно-фруктозного сиропа на потребительские свойства готового изделия // Вестник технологического университета. 2014. Т. 17. № 21. С. 229–231.

22. High fructose syrup production from mixed food and beverage waste hydrolysate at laboratory and pilot scales / T. H. Kwan [et al.] // Food and Bioproducts Processing. 2018. Vol. 111. P. 141–152. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.08.001>.

References

1. Tvorogova AA, Kazakova NV, Shobanova TV, Belozarov GA. Control of the process of structure formation of “premium” class ice cream using monostabilizers. Refrigeration science and technology proceedings: Proceedings of the 25-th IIR International Congress of Refrigeration; 2019; Montreal. Montreal: International Institute of Refrigeration; 2019. p. 2901–2907.

2. Shobanova TV, Tvorogova AA. Influence of fat phase on technologically important indicators of ice cream plombir without emulsifiers. Food Systems. 2018;1(2):4–11. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-4-11>.

3. Goff GD, Gartel RU. Ice cream. St. Petersburg: Professiya; 2016. 537 p. (In Russ.).

4. Milliatti MC, Lannes SCS. Impact of stabilizers on the rheological properties of ice creams. Food Science and Technology. 2018;38(4):733–739. <https://doi.org/10.1590/fst.31818>.

5. Tvorogova AA, Shobanova TV, Sitnikova PB, Babadzhanyan YaV. Issledovanie strukturiruyushchey sposobnosti zhira v morozhenom plombir bez ehmul'gatorov [Structuring ability of fat in Plombières ice-cream without emulsifiers]. Kholodilnaya Tekhnika. 2019;(5):36–39. (In Russ.).

6. Tatarenko DA. Kakim dolzhno byt' pravil'noe pitanie i kak vliyaet na nego Insulinovyy indeks i Glikemicheskiy indeks [Healthy diet and how the Insulin Index and the Glycemic Index affect it]. Modern scientific researches and innovations. 2019;98(6). (In Russ.).

7. Nikberg II. O glikemicheskom i insulinovom indeksakh pishchevykh produktov [About the glycemic and insulin indices of foods]. News of Medicine and Pharmacy. 2011;371–372(11–12):18–19. (In Russ.).

8. Golybin VA, Efremov AA. Tekhnologiya krakhmala, krakhmaloproduktov i glyukozno-fruktoznykh siropov [Technology of starch, starch products, and glucose-fructose syrups]. Voronezh: Voronezh State University of Engineering Technologies; 2013. 140 p. (In Russ.).

9. Macdonald IA. A review of recent evidence relating to sugars, insulin resistance and diabetes. European Journal of Nutrition. 2016. Vol. 55. P. 17–23. <https://doi.org/10.1007/s00394-016-1340-8>.

10. Sarafanova LA. Sovremennye pishchevye ingredienty. Osobennosti primeneniya [Modern food ingredients. Application features]. St. Petersburg: Professiya; 2009. 205 p. (In Russ.).

11. Deosarkar SS, Khedkar CD, Kalyankar SD, Sarode AR. Ice cream: Uses and method of manufacture. In: Caballero B, Finglas PM, Toldrá F, editors. Encyclopedia of food and health. Academic Press; 2016. pp. 391–397. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00384-6>.

12. González-Montemayor Á-M, Flores-Gallegos AC, Serrato-Villegas LE, López-Pérez MG, Montañez-Sáenz JC, Rodríguez-Herrera R. Honey and syrups: Healthy and natural sweeteners with functional properties. In: Grumezescu AM, Holban AM, editors. Natural beverages. Volume 13: The science of beverages. Academic Press; 2019. pp. 143–177. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816689-5.00006-7>.

13. Starovoytova OV, Mukhametzhanova EYu, Reshetnik OA. Glyukozno-fruktoznyy sirop v proizvodstve muchnogo konditerskogo izdeliya [Glucose-fructose syrup in bakery]. Bulletin of the Technological University. 2017;20(22):131–134. (In Russ.).

14. Ozcan Sinir G, Suna S, Inan S, Bagdas D, Tamer CE, Copur OU, et al. Effects of long-term consumption of high fructose corn syrup containing peach nectar on body weight gain in sprague dawley rats. *Food Science and Technology*. 2017;37(2):337–343. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.25416>.
15. Gnezdilova AI, Muzykantova AV, Vinogradova YuV. Sweet concentrated milk product. *Molochnokhozayistvenny Vestnik*. 2017;25(1):84–90. (In Russ.).
16. Walker RW, Dumke KA, Goran MI. Fructose content in popular beverages made with and without high-fructose corn syrup. *Nutrition*. 2014;30(7–8):928–935. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2014.04.003>.
17. White JS. Challenging the fructose hypothesis: New perspectives on fructose consumption and metabolism. *Advances in Nutrition*. 2013;4(2):246–256. <https://doi.org/10.3945/an.112.003137>.
18. Navale A. Glucose transporters and their cellular form, role and function. In: Patel VB, editor. *Molecular nutrition: Carbohydrates*. Academic Press; 2019. pp. 21–34. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849886-6.00003-3>.
19. Serna-Saldivar SO. Maize: Foods from maize. *Reference Module in Food Science*. 2016. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.00126-8>.
20. Yargin SV. A glucose-fructose syrup: commentary for Russian readers. *Glavnyi Vrach Uga Russia*. 2017;57(4):64–66. (In Russ.).
21. Agzamova LI, Mingaleeva ZSh. Izuchenie vliyaniya glyukozno-fruktoznogo siropa na potrebitel'skie svoystva gotovogo izdeliya [Effect of glucose-fructose syrup on the consumer properties of the finished product]. *Bulletin of the Technological University*. 2014;17(21):229–231. (In Russ.).
22. Kwan TH, Ong KL, Haque MA, Tang WT, Kulkarni S, Lin CSK. High fructose syrup production from mixed food and beverage waste hydrolysate at laboratory and pilot scales. *Food and Bioproducts Processing*. 2018;111:141–152. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.08.001>.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-615-627>
УДК 532.135

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Параметрическая идентификация реологической модели Карро с использованием регуляризации А. Н. Тихонова на основе CFD-модели



А. А. Хвостов^{1,2}, Г. О. Магомедов³, В. И. Ряжских^{1,2},
А. В. Ковалев⁴, А. А. Журавлев^{2,*}, М. Г. Магомедов³

¹ Воронежский государственный технический университет^{ROR}, Воронеж, Россия

² Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, Россия

³ Воронежский государственный университет инженерных технологий^{ROR}, Воронеж, Россия

⁴ Воронежский государственный университет^{ROR}, Воронеж, Россия

Поступила в редакцию: 21.04.2021

Принята после рецензирования: 13.05.2021

Принята в печать: 15.07.2021

*e-mail: zhuraa1@rambler.ru



© А. А. Хвостов, Г. О. Магомедов,
В. И. Ряжских, А. В. Ковалев, А. А. Журавлев, М. Г. Магомедов, 2021

Аннотация.

Введение. Использование реологической модели Карро для описания пространственных течений неньютоновских сред приводит к необходимости оценки параметров модели, характеризующих вязкость среды при предельных значениях скоростей сдвига, что неосуществимо инструментальными методами. Для оценки этих параметров предлагается метод идентификации параметров модели Карро с использованием алгоритма регуляризации.

Объекты и методы исследования. Помадная конфетная масса по рецептуре неглазированных конфет «Сливочная помадка». Использовали стандартные методы исследования свойств сырья и полуфабрикатов, методы математической обработки экспериментальных данных, моделирования и оптимизации.

Результаты и их обсуждение. Для параметрической идентификации реологической модели Карро разработан алгоритм на основе метода регуляризации А. Н. Тихонова. Минимизация невязки расчета достигается как по результатам вискозиметрических измерений, так и по CFD-модели, которая обеспечивает расчет гидродинамического режима течения при предельных значениях скоростей сдвига. CFD-модель установившегося неизотермического течения нелинейно-вязкой среды по цилиндрическому капилляру формализована на основе уравнений сохранения массы, энергии и импульса с учетом общепринятых допущений. На примере помадной массы показана идентификация реологических параметров модели Карро. Предсказание вязкости помадной массы осуществляется с ошибкой, не превышающей 14,07 %.

Выводы. Алгоритм параметрической идентификации позволяет оценить реологические параметры структурированных жидкообразных сред с реологическим законом Карро в тех случаях, когда отсутствует экспериментальная информация о поведении среды при предельных скоростях сдвига. При этом устраняются вычислительные проблемы, характерные для реологической модели Оствальда-де Вилля, возникающие при решении практических задач пространственных течений неньютоновских сред с предельными значениями вязкости.

Ключевые слова. Регуляризация, идентификация, реологическая модель, модель Карро, гидродинамика, CFD-модель

Для цитирования: Параметрическая идентификация реологической модели Карро с использованием регуляризации А. Н. Тихонова на основе CFD-модели / А. А. Хвостов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 615–627. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-615-627>.

Original article

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

Carreau's Rheological Model and A.N. Tikhonov's Regularization Method: Parametric Identification Based on a CFD model

Anatoly A. Khvostov^{1,2}, Gazibeg O. Magomedov³, Victor I. Ryazhskih^{1,2},
Aleksey V. Kovalev⁴, Aleksey A. Zhuravlev^{2,*}, Magomed G. Magomedov³

¹ Voronezh State Technical University , Voronezh, Russia

² Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky
and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia

³ Voronezh State University of Engineering Technologies , Voronezh, Russia

⁴ Voronezh State University , Voronezh, Russia

Received: April 21, 2021

Accepted in revised form: May 13, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021

*e-mail: zhuraa1@rambler.ru



© A.A. Khvostov, G.O. Magomedov, V.I. Ryazhskih,
A.V. Kovalev, A.A. Zhuravlev, M.G. Magomedov, 2021

Abstract.

Introduction. Carreau's rheological model can describe the three-dimensional flows of non-Newtonian media. However, it requires modeling parameters for the viscosity of the medium at the limiting values of shear rates, which cannot be achieved by instrumental methods. The present article introduces a novel method that can identify the parameters of Carreau's model using a regularization algorithm.

Study objects and methods. The study featured fondant mass produced according to the traditional formulation for Creamy Fondant unglazed candies. Standard methods were used to describe the properties of the raw materials and semi-finished products, as well as methods of mathematical processing, modeling, and optimization.

Results and its discussion. The research produced an algorithm based on A.N. Tikhonov's regularization method of the parametric identification of Carreau's rheological model. The calculation residual was minimized by the viscometric measurements and the CFD model, which provided the calculation of the hydrodynamic flow regime at the limiting values of shear rates. The CFD model of a steady non-isothermal flow of a nonlinear viscous medium through a cylindrical capillary was based on the equations of conservation of mass, energy, and momentum. The rheological parameters of Carreau's model were illustrated by the case of fondant mass. The error for the viscosity prediction did not exceed 14.07%.

Conclusion. The parametric identification algorithm made it possible to evaluate the rheological parameters of structured liquid media with Carreau's rheological law in cases that lack experimental information on the behavior of the medium at limiting shear rates. The algorithm eliminated the computational problems typical of Ostwald and de Ville's rheological model, which usually arise when solving practical problems of three-dimensional flows of non-Newtonian media with limiting viscosity values.

Keywords. Regularization, identification, rheological model, Carreau fluid model, hydrodynamics, CFD-model

For citation: Khvostov AA, Magomedov GO, Ryazhskih VI, Kovalev AV, Zhuravlev AA, Magomedov MG. Carreau's Rheological Model and A.N. Tikhonov's Regularization Method: Parametric Identification Based on a CFD model. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):615–627. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-615-627>.

Введение

Полнота описания технологических процессов пищевых производств как сложных систем определяется степенью детализации свойств и закономерностей всех подсистем и связей между ними. Дополнение новых подсистем, уточнение их связи с другими подсистемами, а также оценка влияния на эффективность функционирования всей системы позволяет выявить ее новые свойства, повысить качество оценки ее состояния, точность прогнозов и эффективность управления технологическим процессом как системой в целом.

Глубина и интенсивность протекания отдельных процессов, а также показатели качества полуфабрикатов и готовой продукции зависят от реологических свойств, главным из которых является вязкость. Пищевые массы представляют собой структурированные дисперсные системы, обладающие аномалией вязкости. Реологические свойства пищевых масс определяют выбор способа их

дальнейшей переработки, способность к сохранению или изменению сформированной структуры [1–3]. Реологические свойства пищевого сырья и полуфабрикатов влияют на термогидродинамику процессов их перемешивания, транспортирование по трубам, формование, нагрев, охлаждение и пр.

При проектировании оборудования пищевых производств используются расчетные методики, базирующиеся на следующих допущениях: изотермичность и ламинарность режима, осреднение основных параметров процесса (скорость, вязкость, температура, концентрация). При этом не учитываются нестационарность реологических и теплофизических свойств, а также их пространственная неоднородность [3–5].

Сделанные допущения оказываются справедливы для многих процессов, обладающих высокой инерционностью, интенсивным перемешиванием и протекающих в аппаратах, допускающих упрощение до простейших геометрических форм (например,

цилиндрические и плоскощелевые каналы). Однако при расчетах низкоинерционных процессов в аппаратах со сложной геометрией (спиральные каналы, каналы с застойными зонами, области резких сужений и расширений и пр.) необходимы нестационарные пространственные модели, учитывающие существенную геометрическую неоднородность полей скоростей, давлений, температур и скоростей сдвига [6, 7]. В этой связи гидромеханические процессы необходимо рассматривать сопряженно с процессами теплообмена, использовать модели неизотермического течения сплошной среды, а также зависимость теплофизических свойств среды от температуры, а вязкость – как нелинейную функцию температуры и скорости сдвига [8, 9].

Основой для гидродинамических расчетов служит реологическая модель сплошной среды, создание которой возможно в рамках структурно-параметрического синтеза. Это требует проведения структурной идентификации реологической модели и оценки ее параметров.

Для описания реологического поведения структурированных жидкообразных пищевых сред широко используется уравнение Оствальда-де Вилля, устанавливающее связь между вязкостью μ (Па·с) и скоростью сдвига $\dot{\gamma}$ (с⁻¹) в виде степенного уравнения [1, 2]:

$$\mu = K \dot{\gamma}^{n-1} = \mu^* \left(\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}^*} \right)^{n-1} \quad (1)$$

где K – консистентная переменная, Па·с ^{n} ; n – индекс течения; $\dot{\gamma}^*$ – скорость сдвига приведения, с⁻¹, μ^* – вязкость при скорости сдвига приведения, Па·с.

Несмотря на то, что уравнение Оствальда-де Вилля не имеет теоретического обоснования и является всего лишь удачным эмпирическим приближением, степенная зависимость (1) показала свою состоятельность при описании реологических кривых $\mu(\dot{\gamma})$ широкого спектра пищевых масс, расплавов полимеров, биологических сред, продуктов нефтепереработки и др. [1–5, 10, 11].

Однако уравнение Оствальда-де Вилля имеет существенные недостатки. Во-первых, при использовании степенного уравнения (1) возникают существенные вычислительные проблемы при расчетах в окрестности предельных значений скорости сдвига $\dot{\gamma} \rightarrow 0$ и $\dot{\gamma} \rightarrow \infty$. В этом случае модель некорректна. Нестационарные пространственные модели течения сплошной среды используют поле скоростей, распределенное по сечению в диапазоне от нулевого значения на стенке до некоторого максимального значения. При этом в точке экстремума первая производная скорости по пространственной координате (скорость сдвига) может обращаться в ноль, что приводит, в соответствии с (1), к сингулярности ввиду бесконечного значения вязкости ($\lim_{\dot{\gamma} \rightarrow 0} \mu(\dot{\gamma}) = \infty$). С другой стороны, в отсутствии проскальзывания на стенке канала скорость сдвига

стремится к бесконечности. При этом вязкость обращается в ноль ($\lim_{\dot{\gamma} \rightarrow \infty} \mu(\dot{\gamma}) = 0$).

Бесконечная вязкость при нулевой скорости сдвига приводит к ошибочному результату, когда в расчетной области встречается область нулевой скорости сдвига. Например, при течении в канале любой геометрии при выполнении условий прилипания скорости течения среды будет изменяться от нуля на стенке канала, проходить через экстремум и снижаться до нуля на противоположной стенке. Это приведет к появлению нулевой скорости сдвига и бесконечной вязкости в точке экстремума. При этом замена нулевых значений сдвиговой вязкости в точке экстремума некоторыми конечными значениями приводит к искажению расчетных значений вязкости в этой области. Предсказанное распределение скоростей в этом случае будет более плоским в центре, чем экспериментальный профиль [11]. Другим примером является процесс заполнения формы нелинейно-вязкой средой при ее литье под давлением. Отливка сопровождается высокими скоростями потока в начале процесса заполнения и низкими значениями скорости потока в момент его завершения. Здесь прогнозируемое значение вязкости по модели Оствальда-де Вилля (1) в конце заполнения будет слишком высоким. Это приведет к завышенным значениям необходимого давления отливки.

Вторая проблема заключается в невозможности описания полной реологической кривой $\mu(\dot{\gamma})$ одним уравнением (1), что имеет место при изменении $\dot{\gamma}$ на несколько десятичных порядков. Проблема решается разбиением реологической кривой $\mu(\dot{\gamma})$ на несколько отдельных участков, в пределах которых соблюдается линейная зависимость $\ln \mu$ от $\ln \dot{\gamma}$, которая достигается подбором значения скорости сдвига приведения $\dot{\gamma}^*$.

Согласно основным положениям физико-химической механики дисперсных систем, сформулированными академиком П. А. Ребиндером, структурированные жидкообразные среды характеризуются двумя уровнями постоянной (ньютоновской) вязкости [1, 2]. Один из них μ_0 – наибольшая вязкость практически неразрушенной структуры при $\dot{\gamma} \rightarrow 0$ (первое ньютоновское плато); при скорости сдвига $\dot{\gamma} \rightarrow \infty$ структурированная жидкообразная среда обладает наименьшей вязкостью предельно разрушенной структуры μ_∞ (второе ньютоновское плато). В переходной области (области лавинного разрушения структуры) $\mu_0 \geq \mu(\dot{\gamma}) \geq \mu_\infty$.

Преодоление вычислительных проблем, связанных с получением неустойчивого решения при использовании уравнения Оствальда-де Вилля, достигается путем его регуляризации за счет введения в уравнение (1) дополнительных параметров: предельных вязкостей μ_0 и μ_∞ . На сегодня предложено несколько реологических уравнений, учитывающих конечные значения вязкости при предельных значениях скорости сдвига.

Трехпараметрические уравнения Штейнера, Ферри, де Хавена и Сиско, учитывающие одну из

двух предельных вязкостей – μ_0 или μ_∞ , являются математическим описанием неполных реологических кривых структурированных жидкообразных сред [12, 13]. Четырехпараметрические уравнения Кросса, Карро и его модификация (Карро-Яшида) имеют сходную между собой структуру и обеспечивают высокую точность описания полных реологических кривых нелинейно-вязких сред за счет одновременного учета двух ньютоновских вязкостей μ_0 и μ_∞ [2, 12–14].

Наиболее распространенной является модель Карро, коэффициенты которой имеют некоторое теоретическое обоснование:

$$\mu = \mu_\infty + (\mu_0 - \mu_\infty) \left[1 + (\lambda \dot{\gamma})^2 \right]^{\frac{n-1}{2}} \quad (2)$$

где μ_0 – наибольшая вязкость практически неразрушенной структуры, Па·с; μ_∞ – наименьшая вязкость предельно разрушенной структуры, Па·с; $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига, с^{-1} , n – показатель нелинейности реологической кривой $\mu(\dot{\gamma})$; λ – время релаксации, с.

Модель Карро учитывает предельные ньютоновские состояния структурированной жидкообразной среды $\lim_{\dot{\gamma} \rightarrow 0} \mu(\dot{\gamma}) = \mu_0$ и $\lim_{\dot{\gamma} \rightarrow \infty} \mu(\dot{\gamma}) = \mu_\infty$ и описывает ее нелинейно-вязкое поведение в интервале скоростей сдвига от $\dot{\gamma} \rightarrow 0$ до $\dot{\gamma} \rightarrow \infty$. Степень отклонения от ньютоновского характера течения среды характеризуется показателем нелинейности n , смысл которого тождественен индексу течения уравнения Оствальда-де Вилля (1). Обратной величиной к времени релаксации λ является критическая скорость сдвига, при которой происходит резкое снижение вязкости, связанное с лавинообразным разрушением структуры при сдвиговом течении [2].

Модель Карро (2) может быть использована для устранения вычислительных проблем, возникающих при решении широкого круга задач ламинарных пространственных течений нелинейно-вязких сред в изотермической и не изотермической постановках. Однако, ввиду существенной нелинейности модели Карро, получение аналитического решения таких задач, даже с учетом общепринятых допущений (ламинарный, установившийся, изотермический режим течения, пренебрежение сжимаемостью жидкости, инерционными и массовыми силами), не представляется возможным.

Известны также реологические уравнения, включающие гиперболические и экспоненциальные функции скорости и напряжения сдвига (уравнения Прандтля-Эйринга, Пауэлла-Эйринга, Рейнера, Михайлова-Лихтхайма и пр.), а также уравнения, содержащие шесть и более коэффициентов. По причине редкого использования таких уравнений они в данной работе не рассматриваются.

Основным методом определения вязкости является сдвиговая вискозиметрия (ротационная и капиллярная), широко используемая в производственных условиях и научно-исследовательской практике для изучения вязкостных свойств ньютоновских и

неньютоновских пищевых и биологических сред, сырья и продуктов нефтехимии и пр. [1–3, 10–12].

Серийно выпускаемые ротационные вискозиметры, укомплектованные различными измерительными системами (коаксиальные цилиндры, конус-плоскость, конус-конус и пр.) с возможностью реализации режимов измерения с контролируемым напряжением или скоростью сдвига (CS- или CR-режим соответственно), позволяют определять вязкость в интервале низких и средних скоростей сдвига от 10^{-3} до 10^2 с^{-1} . Использование в капиллярных вискозиметрах капилляров разного диаметра и длины, а также измерения в режимах постоянного расхода или давления делают возможным изучение вязкостных свойств в интервале средних и высоких скоростей сдвига от 10^{-1} до 10^5 с^{-1} .

Существующие методы сдвиговой вискозиметрии и их приборное оформление не позволяют оценить вязкость в предельных случаях при $\dot{\gamma} \rightarrow 0$ и $\dot{\gamma} \rightarrow \infty$, что объясняется рядом причин.

Верхняя граница скорости сдвига определяется следующими эффектами:

- 1) переход от ламинарного к турбулентному режиму течения и возникновение неустойчивости течения потока материала в измерительной системе;
- 2) значительные тепловыделения в слое испытуемого материала вследствие диссипации механической работы при высоких скоростях сдвига и невозможность обеспечения изотермичности течения;
- 3) появление эффекта Вайсенберга.

Невозможность проведения измерений на ротационных и капиллярных вискозиметрах в условиях $\dot{\gamma} \rightarrow 0$ объясняется следующими причинами:

- 1) весьма существенная продолжительность реологических измерений (несколько десятков минут), с которой связана стабильность (как физико-химическая, так и структурная) исследуемого материала в условиях эксперимента;
- 2) предъявление высоких, зачастую невыполнимых, требований к техническим средствам задания и измерения малых линейных и угловых перемещений крутящего момента за длительное время;
- 3) наличие трудно поддающихся устранению паразитных сопротивлений (трение в подшипниковых опорах и механических передачах подвижных частей вискозиметра), которые вносят в результаты измерений систематические ошибки.

Частичному разрешению проблемы измерения предельной вязкости при $\dot{\gamma} \rightarrow 0$ способствует применение в реометрической практике сдвиговых пластометров с реализацией испытаний на ползучесть [3]. Однако следует с осторожностью относиться к результатам, получаемым на пластометрах по причине отсутствия теоретического обоснования приборной инвариантности методов ротационной (капиллярной) вискозиметрии и методов испытания на ползучесть. При этом возникает необходимость в статистической проверке корреляции между

результатами вискозиметрии и испытаний на пластометрах.

Другой применяемый на практике подход – экстраполяция результатов вискозиметрии на уровни $\dot{\gamma} \rightarrow 0$ и $\dot{\gamma} \rightarrow \infty$. Недостатком экстраполяционного подхода к определению значений предельных вязкостей является высокая доля субъективизма, связанного с интуицией и предпочтениями экспериментатора, приводящая к значительным погрешностям предсказания вязкости в предельных случаях.

Таким образом, методы и приборное оформление сдвиговой вискозиметрии неньютоновских сред не дают информации о полной реологической кривой $\mu(\dot{\gamma})$ и не позволяют провести идентификацию реологических параметров модели Карро (2). Кроме того, общепринятые методы обработки вискозиметрических данных дают информацию о вязкости среды по осредненным по объему измерительной ячейки значениям скорости или напряжения сдвига.

Решение проблемы видится в уточнении результатов натурных вискозиметрических экспериментов посредством дополнительной информации о гидродинамическом поведении материала в измерительной системе вискозиметра.

Источником такой информации может служить вычислительный реологический эксперимент с привлечением методов вычислительной гидродинамики или CFD-подхода (Computational fluid dynamics). Суть CFD-подхода заключается в численном решении для выбранной реологической модели уравнений неразрывности, сохранения импульса и энергии при соответствующих начальных и граничных условиях [15]. CFD-модель дает пространственную картину потока продукта в вискозиметрической системе ротационного или капиллярного типа с учетом большого числа эффектов (тепловых, пристенных, входных, кинетических пр.), возникающих в ходе натурального реологического эксперимента, учет которых в реальном эксперименте не всегда возможен.

Для эффективного применения CFD-моделирования имеется ряд коммерческих программных продуктов, таких как ANSYS, FlowVision, COMSOL Multiphysics, и программ с открытым кодом. Например, OpenFOAM, Salome и Code Saturn.

В этой связи сдвиговая вискозиметрия как физический метод определения вязкости переходит на качественно новый уровень – приборно-вычислительную вискозиметрию. Последняя представляет собой совокупность методов экспериментальной вискозиметрии, вычислительных экспериментов на CFD-моделях, а также математического аппарата для структурного и параметрического анализа и синтеза реологических свойств и моделей.

Целью работы явилась разработка математического метода идентификации параметров

реологической модели Карро с использованием алгоритма регуляризации по результатам сдвиговой вискозиметрии и вычислительного эксперимента, проведенного на CFD-модели течения структурированной жидкообразной среды в измерительной системе вискозиметра.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований явилась помадная конфетная масса, приготовленная традиционным способом по рецептуре неглазированных помадных конфет белого сорта «Сливочная помадка». Для приготовления образцов применяли сырье, соответствующее требованиям нормативных документов: сахарный песок (ГОСТ 33222-2015), патока (ГОСТ 33917-2016), молоко сгущенное (ГОСТ 31688-2012), масло сливочное (ГОСТ 32261-2013), ванилин (ГОСТ 16599-71).

В работе использовали органолептические, физико-химические и вискозиметрические методы анализа. Органолептические показатели помадной конфетной массы определяли по ГОСТ 5897-90; массовую долю влаги – по ГОСТ 5900-2014; органолептические и физико-химические показатели помадной конфетной массы соответствовали ГОСТ 4570-2014.

Ротационную вискозиметрию конфетной массы проводили на ротационном вискозиметре Rheotest RN 4.1 с использованием цилиндрической измерительной системы S3 в режиме CR. Диапазон изменения скорости сдвига от 0,47 до 20 с⁻¹. Обработку данных проводили согласно ГОСТ 1929-87.

Капиллярную вискозиметрию осуществляли на автоматическом капиллярном вискозиметре АКВ-2ЖВ. Для исключения входных потерь давления использовали два капилляра одного диаметра (0,0032 м) и разной длины (0,1 и 0,15 м). Обработку данных проводили согласно ГОСТ 7163-84.

В течение всей продолжительности эксперимента конфетную массу термостатировали при температуре 60 °С. Для этого использовали циркуляционный термостат Thermovisc B100F8TFT.

Предметом исследований явилась реологическая модель помадной конфетной массы, а также математический метод ее параметрической идентификации с использованием алгоритма регуляризации А. Н. Тихонова на основе CFD-модели течения нелинейно-вязкой жидкообразной среды в измерительной системе вискозиметра.

В работе использовали методы и программные средства для математической обработки экспериментальных данных, моделирования и оптимизации. Для обработки результатов натурных реологических экспериментов и построения графических зависимостей использовали программу MS Excel 2010 и математический пакет Mathcad 15. CFD-моделирование течения помадной массы в измерительной системе вискозиметра проведено с использованием пакета конечно-элементного анализа ANSYS.

Результаты и их обсуждение

Результаты ротационной вискозиметрии представлены на рисунке 1 в виде зависимости вязкости от скорости сдвига (графические пиктограммы). На рисунке 2 представлены результаты (графические пиктограммы) капиллярной вискозиметрии в виде зависимостей перепада давления на концах капилляра от объемного расхода конфетной массы для двух капилляров с разным отношением длины к диаметру L/D после исключения входных потерь давления согласно методике [11].

Результаты ротационной и капиллярной вискозиметрии указывают на то, что конфетная масса при сдвиговом течении проявляет аномалию вязкости. Это выражается в непропорциональном уменьшении вязкости при увеличении скорости сдвига и является псевдопластичной средой.

Поскольку ротационная и капиллярная вискозиметрия не позволяют провести натурный эксперимент при предельных значениях скорости сдвига $\dot{\gamma} \rightarrow 0$ и $\dot{\gamma} \rightarrow \infty$, что не позволяет оценить предельные значения вязкости μ_0 и μ_∞ , то для параметрической идентификации реологической модели Карро (2) предлагается использовать алгоритм регуляризации Тихонова, нашедший практическое применение при решении обратных задач теплофизики, нефтегазодобычи, спектроскопии, геофизики, биологии и пр. [16–20].

Для случая дискретной задачи идентификации параметров реологической модели Карро (2) регуляризация заключается в минимизации параметрической функции [16]:

$$F_\alpha(\beta) = F_1(\beta) + \alpha F_2(\beta) \xrightarrow{\beta} \min \quad (3)$$

где $\beta = (\mu_0, \mu_\infty, \lambda, n)$ – вектор реологических параметров модели (2); $F_1(\beta)$ – регуляризующая функция; $F_2(\beta)$ – стабилизирующая (корректирующая) функция;

α – параметр регуляризации ($\alpha > 0$), контролирующий вклад стабилизирующей функции в минимизацию критерия оптимальности.

Минимизация параметрической функции (3) обеспечивает нахождение регуляризованного решения $\mu(\dot{\gamma}, \beta)$ в виде модели Карро (2) по результатам ротационной вискозиметрии с одновременной коррекцией значений вектора реологических параметров $\beta = (\mu_0, \mu_\infty, \lambda, n)$ по CFD-модели капиллярной вискозиметрии. В качестве корректирующего параметра, входящего в $F_2(\beta)$, предлагается использовать перепад давления в капилляре, являющийся интегральным показателем потокового течения и поддающийся прямому измерению.

Регуляризующая $F_1(\beta)$ и стабилизирующая $F_2(\beta)$ функции представлены в виде суммы квадратов отклонений расчетных значений от соответствующих экспериментальных:

$$F_1(\beta) = \sum_{i=1}^n [\mu_i(\dot{\gamma}_i, \beta) - \mu_i^y(\dot{\gamma}_i)]^2; \quad (4)$$

$$F_2(\beta) = \sum_{j=1}^m [\Delta P_j(Q_j, \beta) - \Delta P_j^y(Q_j)]^2 \quad (5)$$

где i, j – номер измерения при ротационной и капиллярной вискозиметрии; n, m – количество измерений при ротационной и капиллярной вискозиметрии; $\dot{\gamma}_i$ – скорость сдвига в i -ом эксперименте; $\mu_i^y(\dot{\gamma}_i)$ – экспериментальное значение вязкости, полученное в i -ом эксперименте; $\mu_i(\dot{\gamma}_i, \beta)$ – расчетное значение вязкости, полученное по модели Карро (2) при скорости сдвига $\dot{\gamma}_i$; Q_j – объемный расход среды через капилляр в j -ом эксперименте; $\Delta P_j^y(Q_j)$ – экспериментальное значение перепада давления, полученное в j -ом эксперименте; $\Delta P_j(Q_j, \beta)$ – расчетное значение перепада давления, полученное по CFD-модели при объемном расходе среды Q_j .

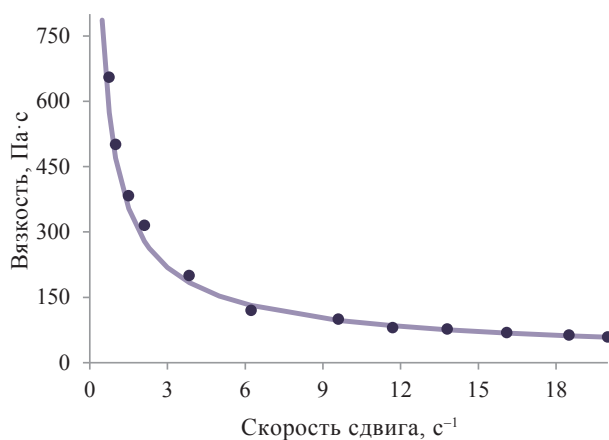


Рисунок 1. Результаты ротационной вискозиметрии

Figure 1. Rotational viscometry results

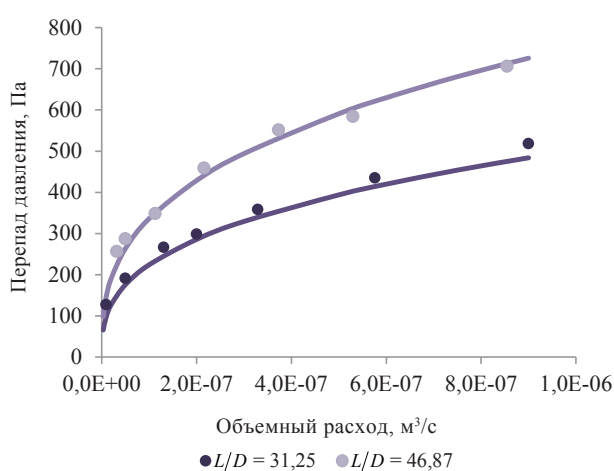


Рисунок 2. Результаты капиллярной вискозиметрии

Figure 2. Capillary viscometry results

Связь между реологической кривой $\mu(\dot{\gamma})$ в виде уравнения Карро (2) и перепадом давления в капилляре может быть формализована с помощью CFD-модели, реализованной в вычислительном пакете конечно-элементного анализа ANSYS [15].

С учетом (4) и (5) имеем критерий минимизации параметрической функции:

$$F_{\alpha}(\beta) = \sum_{i=1}^n [\mu_i(\dot{\gamma}_i, \beta) - \mu_i^y(\dot{\gamma}_i)]^2 + \alpha \sum_{j=1}^m [\Delta P_j(Q_j, \beta) - \Delta P_j^y(Q_j)]^2 \xrightarrow{\beta} \min \quad (6)$$

Вектор реологических параметров β , доставляющий минимум параметрической функции (6), зависит от параметра регуляризации α , отражающего баланс между предпочтительным выбором результатов ротационной вискозиметрии и коррекцией результатов по CFD-модели. При $\alpha \approx 0$ минимизация параметрической функции (6) эквивалентна минимизации функции (4) по данным ротационной вискозиметрии без учета результатов капиллярной вискозиметрии. Когда параметр регуляризации α слишком велик, минимизация параметрической функции (6) эквивалентна поиску минимума функции (5). Получаемые в этом случае значения вектора реологических параметров β обеспечивают решение, наиболее точно предсказывающее результаты капиллярной вискозиметрии без учета данных, полученных на ротационном вискозиметре.

Таким образом, оптимальному значению параметра регуляризации α^* соответствует вектор реологических параметров модели Карро (2) $\beta_{\alpha^*} = (\mu_0, \mu_{\infty}, \lambda, n)$, при котором одновременно достигается удовлетворительная аппроксимация результатов ротационной и капиллярной вискозиметрии.

Параметр регуляризации может быть выбран на основании принципов невязки, максимума правдоподобия, методов отношений, перекрестной значимости (cross-validation), по минимуму функции чувствительности [16, 18, 21]. В работе для выбора параметра регуляризации α предлагается использовать метод L -кривой [17, 22]. Под ней понимают параметрически заданную кривую от параметра α , определяемую соотношениями:

$$x(\alpha) = \ln(F_1(\beta_{\alpha})), y(\alpha) = \ln(F_2(\beta_{\alpha})) \quad (7)$$

где β_{α} – вектор реологических параметров для фиксированного значения параметра регуляризации α , рассчитанный из условия минимизации (6).

Метод L -кривой заключается в нахождении значения параметра регуляризации α^* , при котором достигается максимальная кривизна $k(\alpha)$ параметрически заданной L -кривой:

$$k(\alpha) = \frac{x'(\alpha)y''(\alpha) - x''(\alpha)y'(\alpha)}{\sqrt{(x'(\alpha)^2 + y'(\alpha)^2)^3}} \xrightarrow{\alpha} \max \quad (8)$$

где $x'(\alpha)$, $y'(\alpha)$, $x''(\alpha)$, $y''(\alpha)$ – первая и вторая производная (7) по переменной α .

Для проведения параметрической идентификации реологической модели Карро предлагается алгоритм регуляризации на основе результатов сдвиговой вискозиметрии и вычислительного эксперимента, проведенного на CFD-модели потока среды.

На первом этапе для ряда заданных значений параметра регуляризации α осуществляют поиск значений вектора реологических параметров β_{α} , минимизирующего функцию (6). Для этого могут быть использованы известные алгоритмы численной многомерной оптимизации [23].

На втором этапе осуществляют выбор оптимального значения параметра регуляризации α^* по методу L -кривой. Для этого используют условие максимизации критерия (8).

При CFD-моделировании в вычислительном пакете конечно-элементного анализа ANSYS была использована методика, включающая следующие этапы: создание геометрической модели расчетной области моделирования; математическая постановка задачи с выбором физического интерфейса и управляющих уравнений; определение физических свойств частей объекта; задание начальных и граничных условий для различных элементов объекта; задание параметров и генерация конечно-элементной сетки; выбор и задание параметров решающего устройства; проведение вычислительного эксперимента, визуализация и анализ результатов [15].

При составлении математической модели течения нелинейно-вязкой среды по цилиндрическому капилляру длиной L и диаметром D приняты следующие допущения: движение среды установившееся, осесимметричное, ламинарное, среда несжимаема, источники тепла отсутствуют, гравитационные силы и диссипативные члены не учитываются. Расчетная область моделирования задана границами: Ω_1 – входное сечение капилляра; Ω_2 – цилиндрическая поверхность капилляра (стенка); Ω_3 – выходное сечение капилляра.

Уравнения сохранения массы, энергии и импульса при заданных условиях и допущениях имеют вид [15, 24]:

$$\begin{cases} \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \nabla \cdot [-P\mathbf{I} + \mu(\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^{\phi})] \\ \rho c_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot \lambda \nabla T \\ \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

где ρ – плотность, кг/м³; $|\mathbf{u}|$ – скорость, м/с; P – давление, Па; $\mathbf{I}$ – единичный тензор; μ – вязкость, Па·с; c_p – удельная теплоемкость, Дж/кг·К; T – температура, К; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К.

Реологическое уравнение нелинейно-вязкой среды имеет вид реологической модели Карро (2).

Система уравнений (9) дополнена граничными условиями:

$$\begin{aligned}\Omega_1: \mathbf{u} &= -u_0 \mathbf{n}, \quad -\mathbf{n} \cdot \mathbf{q} = \rho \Delta H \mathbf{u} \cdot \mathbf{n}; \\ \Omega_2: \mathbf{u} &= 0, \quad -\mathbf{n} \cdot \mathbf{q} = \alpha (T_{oc} - T); \\ \Omega_3: [-P\mathbf{I} + \mathbf{K}]\mathbf{n} &= P_{atm} \mathbf{n}, \quad -\mathbf{n} \cdot \mathbf{q} = 0\end{aligned}\quad (10)$$

где u_0 – скорость входного потока, м/с; $\mathbf{n}$ – вектор нормали к соответствующей границе расчетной области; $\mathbf{q}$ – плотность теплового потока; ΔH – изменение энтальпии, Дж/кг; T_{oc} – температура термостатирующей жидкости (воды), омывающей капилляр, К; α – коэффициент теплоотдачи от конфетной массы к термостатирующей жидкости без учета тепловой инерционности стенки капилляра Вт/м²·К; P_{atm} – атмосферное давление, Па.

Изменение энтальпии ΔH зависит от разности температур и давлений:

$$\Delta H = \int_{T_{ex}}^T c_p dT + \int_{P_{ex}}^{P_{atm}} \frac{1}{\rho} (1 - \alpha_{расш} T) dP, \quad (11)$$

где $\alpha_{расш}$ – температурный коэффициент объемного расширения, К⁻¹; T_{ex} , P_{ex} – температура и давление во входном потоке, К и Па соответственно.

Удельная теплоемкость, плотность и коэффициент теплопроводности конфетной массы, в зависимости от температуры, определяются уравнениями:

$$c_p = -3782,1 + 18,708T; \quad (12)$$

$$\rho = 1969,9 - 1,952T; \quad (13)$$

$$\lambda = 0,6205 - 0,0008T \quad (14)$$

Верификация CFD-модели (9) с учетом граничных условий (10) проведена в вычислительном пакете ANSYS по следующим исходным данным: геометрические размеры капилляра (диаметр и длина), а также значения объемных расходов конфетной массы через капилляр соответствовали параметрам, использованных в капиллярной

вискозиметрии; температура конфетной массы и термостатирующей жидкости $T = 333,15$ К и $T_{oc} = 293,15$ К соответственно; коэффициент теплоотдачи от конфетной массы к термостатирующей жидкости $\alpha = 5$ Вт/м²·К; температурный коэффициент объемного расширения $\alpha_{расш} = 2,5 \times 10^{-4}$ К⁻¹.

Вычислительный эксперимент проведен в соответствии с представленным выше алгоритмом в интервале изменения параметра регуляризации $1 \times 10^{-4} \leq \alpha \leq 10$. Значения вектора реологических параметров β_α (при фиксированном α) определялись из условия минимизации параметрической функции (6). Поскольку целевая функция (6) может иметь несколько экстремумов, был использован комбинированный метод случайного поиска, заключающийся в локализации области существования глобального минимума целевой функции методом сканирования на равномерной сетке переменных и последующего уточнения в локализованной области значения вектора реологических параметров β_α методом статистического градиента [23].

На рисунке 3 представлены зависимости регуляризующей $F_1(\beta)$ (а) и стабилизирующей $F_2(\beta)$ (б) функций от параметра регуляризации α .

Соотношение между регуляризующей и стабилизирующей функциями для фиксированных значений параметра регуляризации α представлено на рисунке 4. Построенный в логарифмических координатах график имеет характерный L-образный вид с ярко выраженными горизонтальной и вертикальной ветвями. Горизонтальная ветвь L-кривой соответствует решениям, при которых величина регуляризующей невязки $F_1(\beta)$ более чувствительна к изменениям параметра регуляризации. Вертикальная ветвь соответствует решениям, в которых величина стабилизирующей невязки $F_2(\beta)$

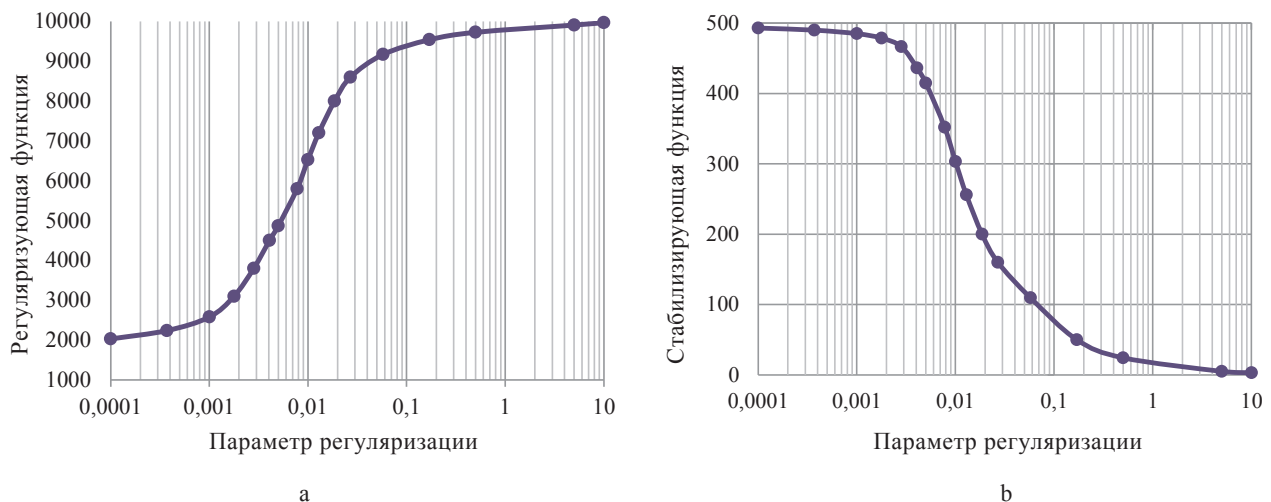


Рисунок 3. Зависимость регуляризующей (а) и стабилизирующей (б) функций от параметра регуляризации

Figure 3. Effect of the regularization parameter on the regularizing (a) and stabilizing (b) functions

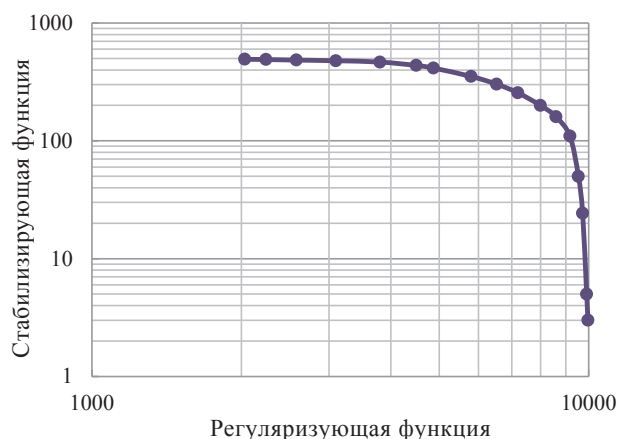


Рисунок 4. L -кривая

Figure 4. L -curve

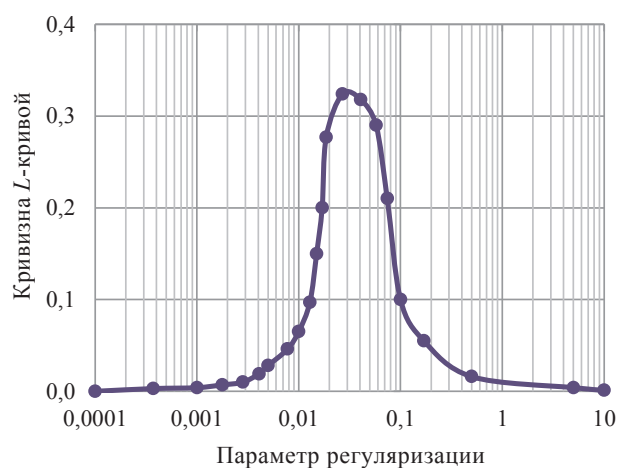


Рисунок 5. Зависимость кривизны L -кривой от параметра регуляризации

Figure 5. Effect of regularization parameter on L -curve

наиболее чувствительна к изменениям параметра регуляризации. Таким образом, L -кривая показывает оптимум между параметрической идентификацией по результатам ротационной вискозиметрии и коррекцией по CFD-модели по данным капиллярной вискозиметрии.

Оптимальное значение параметра регуляризации α^* соответствует вершине сглаженного угла между горизонтальной и вертикальной ветвями L -кривой, который показывает величину кривизны $k(\alpha)$ кривой (рис. 5) [17].

Решением экстремальной задачи (8) является оптимальное значение параметра регуляризации $\alpha^* = 0,027$, при котором достигается максимальная кривизна $k(\alpha)$ неявно заданной функции. При оптимальном значении $\alpha^* = 0,027$ коэффициенты

реологической модели Карро равны: $\mu_0 = 16054,5$ Па·с, $\mu_\infty = 1,04$ Па·с, $\lambda = 155,6$ с, $n = 0,301$.

На рисунке 6 в логарифмических координатах представлены экспериментальные данные сдвиговой вискозиметрии помадной массы (графические пиктограммы) и полная реологическая кривая, построенная по уравнению Карро (2). Видно, что в диапазоне скоростей сдвига от 0,47 до 669,7 с⁻¹, который соответствует диапазону экспериментальных исследований, наблюдается удовлетворительное согласие между экспериментальными значениями вязкости и расчетными, предсказанными по модели Карро. Максимальная относительная ошибка предсказания вязкости по уравнению Карро составила 14,07 % для ротационной вискозиметрии и 9,17 % для капиллярной вискозиметрии.

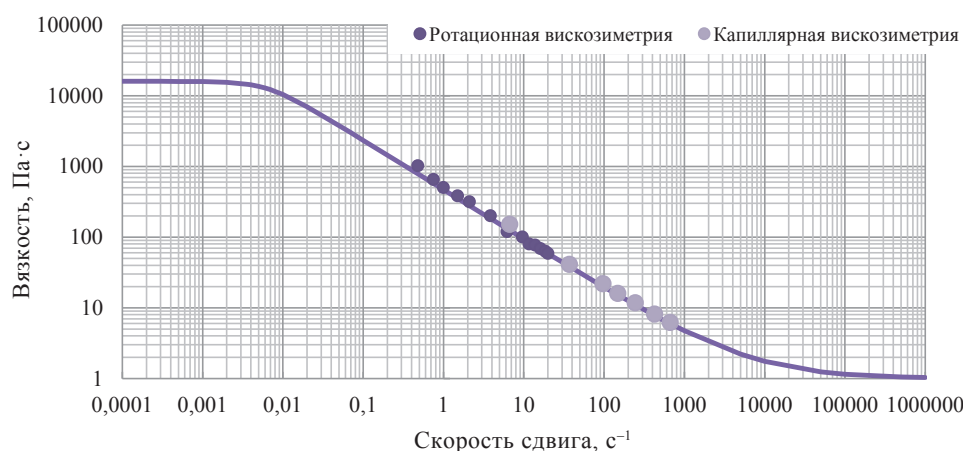


Рисунок 6. Полная реологическая кривая помадной конфетной массы

Figure 6. Complete rheological curve for fondant mass

Характер расположения экспериментальных точек вдоль линейного участка (в логарифмических координатах) полной реологической кривой свидетельствует об инвариантности методов ротационной и капиллярной вискозиметрии [2, 3, 10, 11].

Полная реологическая кривая $\mu(\dot{\gamma})$ помадной конфетной массы (рис. 6) имеет вид, характерный для структурированных жидкообразных сред, проявляющих аномалию вязкости и обладающих двумя уровнями постоянной (ньютоновской) вязкости. Для объяснения аномально-вязкого поведения жидкообразных структур предложено большое число теорий, использующие различные механические и физические гипотезы и представления для описания реологического поведения структурированных жидкостей. Е. А. Кирсанов и В. Н. Матвеев в своей работе приводят описание десяти наиболее известных и распространенных концепций, принятых для объяснения реологического поведения дисперсных систем [2]. Г. В. Виноградов и А. Я. Малкин все известные теории аномалии вязкости условно делят на три большие группы («Реология полимеров», 1977): кинетическая, структурная и гидродинамическая теории.

Кинетическая теория Г. Эйринга и его последователей связывает явление аномалии вязкости с влиянием напряжения или скорости сдвига на высоту потенциального барьера, который препятствует переходу молекулярно-кинетических единиц из одного равновесного положения в другое. В основе структурной теории аномалии вязкости лежат представления П. А. Ребиндера о влиянии напряжения или скорости сдвига на процессы тиксотропного разрушения и восстановления структуры системы без учета природы взаимодействия частиц, образующих эту структуру. Согласно гидродинамическим теориям уменьшение вязкости при увеличении скорости или напряжения сдвига объясняется изменением формы макромолекул и гидродинамическими эффектами, возникающими при их движении в жидкости.

Несмотря на то, что в основе этих теорий лежат различные явления и механизмы объяснения аномалии вязкости, они не являются противоречащими или взаимоисключающими. Напротив, они дополняют друг друга и позволяют рассматривать аномально-вязкое поведение структурированных жидких сред на различных уровнях.

Помадная масса представляет собой высокодисперсную концентрированную структурированную систему, состоящую из раздробленной дисперсной фазы, окруженной дисперсионной средой. Частицы твердой фазы, взаимодействуя друг с другом через прослойки дисперсионной среды, образуют пространственную упорядоченную структуру преимущественно коагуляционного типа отличительными особенностями являются невысокая прочность, пластичность, способность к ползучести и тиксотропия [1].

Согласно воззрениям П. А. Ребиндера аномально-вязкое стационарное течение жидкообразных сред представляется как итог двух конкурирующих процессов в каждый момент времени: разрушение связей в составе пространственной структурной сетки и тиксотропного восстановления части этих разорванных связей в результате теплового (броуновского) движения частиц структуры при одновременном действии на них внешнего сдвигающего усилия. При отсутствии внешней сдвигающей силы пространственная структура помадной массы равнопрочна во всех направлениях. При одномерном сдвиге приложение внешней сдвигающей силы, не превышающей предела прочности пространственной структуры, вызывает упорядочение пространственной сетки структуры. При этом выделяются связи между частицами продольные, ориентированные по направлению действия силы, и связи поперечные, перпендикулярные к данному направлению. Поперечные связи, препятствующие сдвигу слоев жидкообразной среды, разрушаются. Однако при малой скорости сдвига разорванные поперечные связи успевают восстановиться под влиянием броуновского движения. Структурированная среда в этом случае течет как ньютоновская с вязкостью μ_0 наибольшая вязкость практически неразрушенной структуры. Дальнейшее увеличение прикладываемого напряжения сдвига (скорости сдвига) приводит к увеличению числа разрушенных поперечных связей. При превышении предела прочности их число оказывается больше числа связей, восстановленных под действием броуновского движения. Частицы, освобожденные от поперечных связей, преодолевая силы отталкивания соседних частиц, встраиваются в продольные цепочки, упрочняя их. Влияние броуновского движения на частицы цепочки заметно убывает, течение происходит с меньшей вязкостью. При дальнейшем увеличении сдвигающего напряжения (скорости сдвига) плотность упаковки частиц в продольных цепочках повышается с одновременным увеличением ее прочности. При некотором критическом значении напряжения сдвига достигнутая цепочками прочность настолько велика, что в нее не могут встроиться частицы из поперечных связей. Кроме того, число частиц, оставшихся в поперечных связях, мало. Поэтому переход их в продольные цепочки является маловероятным. С этого момента структурированная жидкость вновь течет как ньютоновская, но уже с вязкостью μ_∞ – наименьшая вязкость предельно разрушенной структуры. Иными словами, жидкообразная структура с вязкостью μ_∞ образована предельно упорядоченными частицами, образующими продольные цепочки. После снятия внешнего сдвигающего воздействия прослойки между частицами продольных цепочек расширяются. При этом продольные цепочки удлиняются и искривляются. Связи между частицами цепочки ослабевают, что облегчает работу броуновскому движению. Под действием оставшихся частиц,

образующих поперечные связи, а также броуновского движения происходит разрушение уже продольных связей и полное тиксотропное восстановление структуры жидкообразной среды.

Концепция П. Я. Ребиндера, хотя и связывает аномалию вязкости с изменением структуры системы при ее деформировании, не учитывает природу взаимодействия частиц системы и не позволяет в аналитическом виде установить зависимость вязкости от скорости или напряжения сдвига.

Формализация зависимости вязкости структурированной жидкообразной системы от условий ее течения возможна с позиций кинетической теории Эйринга (Н. В. Михайлов и А. М. Лихтгейм (1955 г.) Г. М. Бартенев (1955 г.), Е. Е. Бибик (1981 г.)). Согласно Эйрингу вязкость неньютоновской жидкости убывает с ростом напряжения сдвига в соответствии с законом

$$\mu = \frac{\tau}{4\nu_0 \operatorname{sh}\left(\frac{\tau\omega}{kT}\right)} \quad (15)$$

где τ – напряжение сдвига; ν_0 – частота перескоков молекулярно-кинетической единицы жидкости в единицу времени при отсутствии внешнего сдвигающего усилия; ω – эффективный объем молекулярно-кинетической единицы; k – постоянная Больцмана; T – температура.

При напряжении сдвига, стремящегося к бесконечно малому значению, справедлива эквивалентность $\operatorname{sh}\left(\frac{\tau\omega}{kT}\right) \Big|_{\tau \rightarrow 0} \sim \frac{\tau\omega}{kT}$. В этом случае (15) запишется как

$$\mu = \mu_0 = \frac{kT}{4\nu_0\omega} \quad (16)$$

Это подтверждает тот факт, что вязкость структурированной жидкообразной среды при скорости сдвига, стремящейся к нулю, не зависит от напряжения сдвига и принимает свое максимальное конечное значение (наибольшая вязкость практически неразрушенной структуры).

Выводы

В работе показано, что степенное реологическое уравнение Оствальда-де Виля является физически некорректным при предсказаниях значений вязкости в предельных случаях. При решении задач ламинарных пространственных течений нелинейно-вязких сред в изотермической и неизотермической постановках использование степенного уравнения Оствальда-де Виля сопряжено с вычислительными проблемами, которые приводят к существенным погрешностям. Для устранения вычислительных проблем предложено использовать реологическое уравнение Карро,

учитывающее предельные ньютоновские состояния нелинейно-вязкой среды.

Анализ показал, что существующие методы и приборное оформление сдвиговой вискозиметрии неньютоновских сред не позволяют оценить предельные значения вязкости. В этой связи для параметрической идентификации реологической модели Карро предложено использовать модифицированный алгоритм регуляризации Тихонова. Согласно алгоритму регуляризованное решение (в виде вектора реологических параметров) получается в результате достижения баланса между предпочтительным выбором результатов ротационной вискозиметрии и коррекцией результатов по CFD-модели течения структурированной жидкообразной среды в измерительной системе вискозиметра.

Для реализации алгоритма регуляризации формализована CFD-модель течения нелинейно-вязкой среды с уравнением Карро в цилиндрическом капилляре. CFD-модель составлена на основе уравнений сохранения массы, энергии и импульса и дополнена соотношениями, определяющими граничные условия и температурные зависимости теплофизических свойств среды.

На примере помадной массы кондитерского производства, проявляющей неньютоновские свойства, показана процедура идентификации параметров реологического уравнения Карро. Полученное уравнение предсказывает вязкость помадной массы с ошибкой, не превышающей 14,07 %, и позволяет устранить вычислительные проблемы, характерные для реологической модели Оствальда-де Виля, возникающие при решении задач ламинарных пространственных течений нелинейно-вязких сред в изотермической и неизотермической постановках.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в подготовке и написании статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors bear equal responsibility for the content of the article.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Муратова Е. И., Смолихина П. М. Реология кондитерских масс. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2013. 188 с.

2. Matveenko V. N., Kirsanov E. A. Structural rationale of a non-Newtonian flow // *Moscow University Chemistry Bulletin*. 2017. Vol. 72. № 2. P. 69–91. <https://doi.org/10.3103/S0027131417020031>.
3. Toledo R. T., Singh R. K., Kong F. *Fundamentals of food process engineering*. Cham: Springer, 2018. 449 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-90098-8>.
4. Березовский Ю. М., Андреев В. Н. *Формирование структур пищевых масс и формование готовых изделий*. М.: ООО «НИПКЦ Восход-А», 2017. 162 с.
5. Heldman D. R., Lund D. B., Sabliov C. M. *Handbook of food engineering*. Boca Raton: CRC Press, 2019. 1206 p. <https://doi.org/10.1201/9780429449734>.
6. Рыльцев И. А., Рыльцева К. Е., Шрагер Г. Р. Кинематика течения степенной жидкости в трубе переменного сечения // *Вестник Томского государственного университета. Математика и механика*. 2020. № 63. С. 125–138. <https://doi.org/10.17223/19988621/63/11>.
7. Литвинов К. В. Моделирование неизоотермического течения аномально вязкой жидкости в каналах с различной геометрией границ // *Моделирование и анализ информационных систем*. 2016. Т. 23. № 3. С. 326–333. <https://doi.org/10.18255/1818-1015-2016-3-326-333>.
8. Matvienko O. V., Aseeva A. E. Mathematical simulation of the swirling flow of a thermoviscous, pseudoplastic sisco fluid in a cylindrical channel // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2020. Vol. 93. № 4. P. 827–838. <https://doi.org/10.1007/s10891-020-02185-6>.
9. Baranov A. V. Influence of temperature and pressure on viscoelastic fluid flow in a plane channel // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2020. Vol. 93. № 5. P. 1296–1302. <https://doi.org/10.1007/s10891-020-02234-0>.
10. Shapovalov V. M. A comparative analysis of the Ostwald-De Waele and Ellis rheological equations in solving the Graetz-Nusselt problem // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2019. Vol. 92. № 6. P. 1603–1611. <https://doi.org/10.1007/s10891-019-02080-9>.
11. Osswald T., Rudolph N. *Polymer rheology: Fundamentals and applications*. Munich: Hanser Publishers, 2015. 237 p.
12. Walicka A. Simple flows of pseudoplastic fluids based on dehaven model // *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*. 2017. Vol. 22. № 4. P. 1035–1044. <https://doi.org/10.1515/ijame-2017-0066>.
13. Hasan W., Khan M. N. Rheological characterization of vegetable oil blends: Effect of shear rate, temperature, and short-term heating // *Journal of Food Process Engineering*. 2020. Vol. 43. № 6. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13396>.
14. Sochi T. Analytical solutions for the flow of Carreau and Cross fluids in circular pipes and thin slits // *Rheologica Acta*. 2015. Vol. 54. № 8. P. 745–746. <https://doi.org/10.1007/s00397-015-0863-x>.
15. Пашенко Д. И., Наплеков И. С. CFD-моделирование характеристик парового эжектора для разогрева нефти и нефтепродуктов ANSYS // *Экспозиция Нефть Газ*. 2018. Т. 62. № 2. С. 54–56.
16. Kirsch A. *An introduction to the mathematical theory of inverse problems*. Cham: Springer, 2021. 400 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-63343-1>.
17. Ладовский И. В., Гемайдинов Д. В. О методе регуляризации для расчета параметров сглаживающего фильтра при аналитическом продолжении потенциальных полей // *Уральский геофизический вестник*. 2018. Т. 33. № 3. С. 30–37. <https://doi.org/10.25698/UGV.2018.3.5.30>.
18. Сизиков В. С., Степанов А. В. Способ обучающих примеров в решении обратных некорректных задач спектроскопии // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2015. Т. 15. № 6. С. 1147–1154. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2015-15-6-1147-1154>.
19. Guha A., Schoegl I. Tomographic laser absorption spectroscopy using Tikhonov regularization // *Applied Optics*. 2014. Vol. 53. № 34. P. 8095–8103. <https://doi.org/10.1364/AO.53.008095>.
20. Kabanikhin S. I., Krivorotko O. I. Optimization methods for solving inverse immunology and epidemiology problems // *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2020. Vol. 60. № 4. P. 580–589. <https://doi.org/10.1134/S0965542520040107>.
21. Duda P. Solution of inverse heat conduction problem using the Tikhonov regularization method // *Journal of Thermal Science*. 2017. Vol. 26. № 1. P. 60–65. <https://doi.org/10.1007/s11630-017-0910-2>.
22. Interpretation of impedance spectra of solid oxide fuel cells: L-curve criterion for determination of regularization parameter in distribution function of relaxation times technique / M. B. Choi [et al.] // *JOM*. 2019. Vol. 71. № 11. P. 3825–3834. <https://doi.org/10.1007/s11837-019-03762-8>.
23. Ширяев В. И. *Исследование операций и численные методы оптимизации*. М.: Ленанд, 2017. 219 с.
24. Математическое моделирование гидродинамики и теплообмена в движущих жидкостях / И. В. Кудинов [и др.]. СПб.: Лань, 2019. 208 с.

References

1. Muratova EI, Smolikhina PM. *Reologiya konditerskikh mass [Rheology of confectionery masses]*. Tambov: Tambov State Technical University; 2013. 188 p. (In Russ.).

2. Matveenko VN, Kirsanov EA. Structural rationale of a non-Newtonian flow. *Moscow University Chemistry Bulletin*. 2017;72(2):69–91. <https://doi.org/10.3103/S0027131417020031>.
3. Toledo RT, Singh RK, Kong F. *Fundamentals of food process engineering*. Cham: Springer; 2018. 449 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-90098-8>.
4. Berezovskiy YuM, Andreev VN. Formirovanie struktur pishchevykh mass i formovanie gotovykh izdeliy [Structures of food masses and finished products: formation and molding]. Moscow: Voskhod-A; 2017. 162 p. (In Russ.).
5. Heldman DR, Lund DB, Sabliov CM. *Handbook of food engineering*. Boca Raton: CRC Press; 2019. 1206 p. <https://doi.org/10.1201/9780429449734>.
6. Ryltsev IA, Ryltseva KE, Shrager GR. Kinematics of a power-law fluid flow in a pipe with a varying cross section. *Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics*. 2020;(63):125–138. (In Russ.). <https://doi.org/10.17223/19988621/63/11>.
7. Litvinov KV. Modelling of non-isothermal flow abnormally viscous fluid in the channels with various geometry of boundaries. *Modeling and Analysis of Information Systems*. 2016;23(3):326–333. (In Russ.). <https://doi.org/10.18255/1818-1015-2016-3-326-333>.
8. Matvienko OV, Aseeva AE. Mathematical simulation of the swirling flow of a thermoviscous, pseudoplastic sisco fluid in a cylindrical channel. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2020;93(4):827–838. <https://doi.org/10.1007/s10891-020-02185-6>.
9. Baranov AV. Influence of temperature and pressure on viscoelastic fluid flow in a plane channel. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2020;93(5):1296–1302. <https://doi.org/10.1007/s10891-020-02234-0>.
10. Shapovalov VM. A comparative analysis of the Ostwald-De Waele and Ellis rheological equations in solving the Graetz-Nusselt problem. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2019;92(6):1603–1611. <https://doi.org/10.1007/s10891-019-02080-9>.
11. Osswald T, Rudolph N. *Polymer rheology: Fundamentals and applications*. Munich: Hanser Publishers; 2015. 237 p.
12. Walicka A. Simple flows of pseudoplastic fluids based on dehaven model. *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*. 2017;22(4):1035–1044. <https://doi.org/10.1515/ijame-2017-0066>.
13. Hasan W, Khan MN. Rheological characterization of vegetable oil blends: Effect of shear rate, temperature, and short-term heating. *Journal of Food Process Engineering*. 2020;43(6). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13396>.
14. Sochi T. Analytical solutions for the flow of Carreau and Cross fluids in circular pipes and thin slits. *Rheologica Acta*. 2015;54(8):745–746. <https://doi.org/10.1007/s00397-015-0863-x>.
15. Pashchenko DI, Naplekov IS. CFD modeling of properties of steam ejector for oil and oil product heating in ANSYS. *Exposition Oil Gas*. 2018;62(2):54–56. (In Russ.).
16. Kirsch A. *An introduction to the mathematical theory of inverse problems*. Cham: Springer; 2021. 400 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-63343-1>.
17. Ladovskiy IV, Gemaidinov DV. About the method of regularization for calculating the parameters of a smoothing filter for upward and downward potential fields continuation. *Ural'skiy geofizicheskiy vestnik*. 2018;33(3):30–37. (In Russ.). <https://doi.org/10.25698/UGV.2018.3.5.30>.
18. Sizikov VS, Stepanov AV. Method of training examples in solving inverse ill-posed problems of spectroscopy. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2015;15(6):1147–1154. (In Russ.). <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2015-15-6-1147-1154>.
19. Guha A, Schoegl I. Tomographic laser absorption spectroscopy using Tikhonov regularization. *Applied Optics*. 2014;53(34):8095–8103. <https://doi.org/10.1364/AO.53.008095>.
20. Kabanikhin SI, Krivorotko OI. Optimization methods for solving inverse immunology and epidemiology problems. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2020;60(4):580–589. <https://doi.org/10.1134/S0965542520040107>.
21. Duda P. Solution of inverse heat conduction problem using the Tikhonov regularization method. *Journal of Thermal Science*. 2017;26(1):60–65. <https://doi.org/10.1007/s11630-017-0910-2>.
22. Choi MB, Shin J, Ji H-I, Kim H, Son J-W, Lee J-H, et al. Interpretation of impedance spectra of solid oxide fuel cells: L-curve criterion for determination of regularization parameter in distribution function of relaxation times technique. *JOM*. 2019;71(11):3825–3834. <https://doi.org/10.1007/s11837-019-03762-8>.
23. Shiryaev VI. Issledovanie operatsiy i chislennyye metody optimizatsii [Operational research and numerical optimization methods]. Moscow: Lenand; 2017. 219 p. (In Russ.).
24. Kudinov IV, Kudinov VA, Eremin AV, Kolesnikov SV. Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamiki i teploobmena v dvizhushchikh zhidkostyakh [Mathematical modeling of hydrodynamics and heat transfer in moving fluids]. St. Petersburg: Lan'; 2019. 208 p. (In Russ.).

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-628-638>
УДК 663.44

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Исследование миграции полифенолов хмеля в технологии пива при различных способах охмеления

М. В. Гернет^{ORCID}, И. Н. Грибкова*^{ORCID}, О. А. Борисенко^{ORCID},
М. А. Захаров^{ORCID}, В. А. Захарова^{ORCID}



Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной,
безалкогольной и винодельческой промышленности^{ORCID}, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 11.05.2021

Принята после рецензирования: 02.06.2021

Принята в печать: 15.07.2021

*e-mail: institut-beer@mail.ru



© М. В. Гернет, И. Н. Грибкова, О. А. Борисенко, М. А. Захаров, В. А. Захарова, 2021

Аннотация.

Введение. В работе рассматривается влияние различных условий охмеления при производстве пива на изменение содержания различных групп полифенольных соединений, связанных с экстрагированием и биотрансформацией соединений хмелепродуктов по определенному механизму, что способствует формированию нехарактерной для классического способа производства вкусовой окраски пива. Цель исследования – изучение путей миграции, факторов влияния и изменения содержания полифенолов хмеля на модельных экспериментах.

Объекты и методы исследования. Хмель гранулированный ароматный сорта «Тетнангер» урожая 2019 г., водные и 4 %-ые водно-спиртовые растворы, моделирующие жидкую фазу суслу и молодого пива, а также пивные дрожжи *Sacharomyces cerevisiae* рас Rh низового брожения и Nottingham (Nt) верхового брожения. В работе применялись общепринятые методы оценки содержания полифенольных соединений.

Результаты и их обсуждение. Установлено влияние кислотности среды на накопление различных групп полифенолов при кипячении: pH 4,4 способствует большему накоплению изоксантогумола, по сравнению с контролем, на 12 %, pH 5,2 способствовал накоплению 6-ти кратного количества антоцианогенов по сравнению с pH 4,4. Условия «холодного» охмеления, моделирующие осветление суслу в Witpool, способствуют повышенному растворению антоцианогенов (в 6 раз), по сравнению с классическим охмелением, что связано с турбулентным течением процесса. Установлено влияние дрожжей и температуры на образование изоксантогумола и кверцетина при «холодном» способе охмеления. В отношении рутин имеет значение только температура процесса. Скорость сорбции зависит от температуры, длительности и расы присутствующих в среде дрожжей и максимальна в первые сутки дображивания. Отмечено, что изоксантогумол накапливается при одновременном снижении содержания кверцетина в условиях «холодного» охмеления. Содержание фенольных кислот и альдегидов в условиях холодного дображивания снижается вне зависимости от условий «холодного» охмеления.

Выводы. Установлены пути миграции различных групп фенольных соединений в условиях классического и «холодного» способов охмеления в зависимости от различных факторов – кислотности среды, температуры и расы дрожжей. Скорость сорбции изоксантогумола – максимальна в течение первых суток, рутин – в течение 2-х суток с начала процесса, кверцетин – не сорбируется дрожжами. Показана большая эффективность накопления различных групп полифенолов в условиях дображивания по сравнению с другими способами охмеления.

Ключевые слова. Хмелепродукты, способы охмеления, алкогольные напитки, дрожжи, изоксантогумол, сорбция, фенольные соединения

Финансирование. Работа выполнена на базе Всероссийского научно-исследовательского института пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности (ВНИИПБиВП)^{ORCID}.

Для цитирования: Исследование миграции полифенолов хмеля в технологии пива при различных способах охмеления / М. В. Гернет [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 628–638. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-628-638>.

Original article

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

Migration of Hop Polyphenols in Beer Technology: Model Solution for Various Hopping Methods

**Marina V. Gernet^{ORCID}, Irina N. Gribkova^{ORCID}*, Olga A. Borisenko^{ORCID},
Maxim A. Zakharov^{ORCID}, Varvara A. Zakharova^{ORCID}**

All-Russian Research Institute of Brewing, Non-alcoholic and Wine Industry^{ORCID}, Moscow, Russia

Received: May 11, 2021

Accepted in revised form: June 02, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021

*e-mail: institut-beer@mail.ru



© M.V. Gernet, I.N. Gribkova, O.A. Borisenko, M.A. Zakharov, V.A. Zakharova, 2021

Abstract.

Introduction. The research featured the effect of various hopping conditions on the content of polyphenolic compounds associated with the extraction and biotransformation of hop compounds. This mechanism is responsible for uncharacteristic beer flavor in the traditional production method. The research objective was to study the migration routes, influence factors, and changes in the content of hop polyphenols in model experiments in order to reduce various factors in the production process chain. The experiment was important from the point of view of identifying the polyphenols contribution to the beer colloidal system.

Study objects and methods. The study involved granulated aromatic hop of Tetnanger variety harvested in 2019, aqueous and 4% aqueous-alcoholic solutions simulating the wort and young beer liquid phase, and brewing yeast *Sacharomyces cerevisiae* of races Rh (lager) and Nottingham (ale). The work used the generally accepted methods for assessing the content of polyphenolic compounds.

Results and discussion. The research established various factors that affected the migration of hop polyphenolic groups. The acidity effect on the polyphenol was established as follows: pH 4.4 contributed to a 12% greater isoxanthohumul accumulation, while pH 5.2 promoted a six times greater accumulation of anthocyanogens than pH 4.4. The total content of polyphenols during boiling was constant and correlated with the phenolic compound in different groups. The conditions of “dry” hopping, simulating the wort clarification in Wirpool, increased the dissolution of anthocyanogens by six times in comparison with kettle hopping, which was associated with the turbulent flow. The isoxanthohumul sorption and formation rate during “dry” hopping was established when modeling the maturation conditions for different temperatures, oxygen levels, and yeast races. A lower temperature (5°C) had a negative effect on the isoxanthohumul sorption. The quercetin content was found to be in the range of 0.9–2.0 mg/dm³ at 5°C and 0.8–4.7 mg/dm³ at 20°C, which determined the temperature effect on extraction during “dry” hopping. The presence of yeast cells in the medium promoted the quercetin accumulation: the quercetin content doubled at 5°C and quadrupled at 20°C compared with the control. The rutin content in the control increased for two days, and minor fluctuations in the content of yeast cells were 5.0 ÷ 7.4 mg/dm³. A comparative analysis of the simple phenolic acids and aldehydes amounts under “dry” hopping conditions showed a greater decrease in their concentration because they were involved in the yeast consumption and biotransformation processes.

Conclusion. The research made it possible to establish the phenolic compounds in various groups of migration routes under the conditions of classical (kettle) and “dry” methods of hopping, as well as their dependence on such factors as medium acidity, stirring intensity, temperature, oxygen content, and yeast race. The sorption rates of the polyphenolic compounds were established as follows: absorption of isoxanthohumul was at its highest during the first day of “dry” hopping, and that of rutin – within two days, while quercetin was not absorbed at all. Therefore, an additional fermentation stage can be considered as the most expedient method of “dry” hopping.

Keywords. Hop products, boiling methods, alcoholic beverages, yeasts, izoxanthogumul, sorption, phenolic compounds

Funding. The research was performed within the contract All-Russian Research Institute of Brewing, Non-alcoholic and Wine Industry (VNIIPBiVP)^{ORCID}.

For citation: Gernet MV, Gribkova IN, Borisenko OA, Zakharov MA, Zakharova VA. Migration of Hop Polyphenols in Beer Technology: Model Solution for Various Hopping Methods. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):628–638. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-628-638>.

Введение

В последнее время много внимания уделяется поиску альтернативных способов производства пива, связанных с получением готового напитка с повышенной горечью или нехарактерными оттенками во вкусе. Интерес производителей продиктован стремлением расширить рынки сбыта за счет привлечения большего количества покупателей.

Одним из способов производства такого пива является «холодное» охмеление.

Приемы нетрадиционного способа внесения хмеля, так называемого «холодного» способа (либо в Вирпул при осветлении, либо на стадии брожения), приводят к экстрагированию и биотрансформации соединений хмелепродуктов по определенному механизму и возникновению нехарактерных для классического

способа производства вкусовой окраски пива [1].

Полифенолы хмеля, как и другие соединения, отвечают за формирование вкусовых оттенков пива наряду с горькими α -кислотами, их изо-формами и эфирными смолами [2].

Ксантогумол, являющийся по своей химической природе пренилфлавоноидом хмеля, вместе с родственными халконами определяет нехарактерную хмелевую горечь пива при «сухом» охмелении [3]. Содержание его может достигать 1150 мг/100 г хмеля. Содержание изоксантогумола невелико – верхний уровень достигает 4–5 мг/100 г хмеля [3].

Дело в том, что ксантогумол трансформируется в изомерную форму (изоксантогумол) как при кипячении суслу, так и при холодном охмелении вследствие понижающегося pH [4, 5].

Отмечено, что данный пренилфлавоноид и его изо-форма присутствуют в пиве в различных количествах. Содержание ксантогумола не превышает 0,15 мг/дм³, а изоксантогумола находится в пределах от 0,04 до 9,5 мг/дм³ в светлом пиве [3, 6].

Критическими факторами для снижения содержания ксантогумола являются его низкая растворимость в воде или других неполярных растворах. В результате могут возникать потери, осаждение при осветлении охмеленного суслу, а также технологические приемы стабилизации пива, связанные с сорбционными процессами [7].

Пренилфлавоноиды и прочие полифенолы важны с точки зрения влияния на качество пива, поскольку являются связующим звеном между полифенолами и горькими смолами, обеспечивают свой вклад во вкусовую профиль пива и биологически активны, т. е. отвечают за антиоксидантное действие в коллоидной системе пива путем хелатирования ионов железа [8].

Отмечается важность исследования фенольного состава пива, зависящего от сырья и условий технологических стадий, в том числе брожения, для конечного фенольного состава пива, влияющего на качество готового напитка [6].

Таким образом, представляло интерес изучить пути миграции, факторы влияния и изменение содержания полифенолов хмеля в модельных

экспериментах для снижения влияния прочих условий и соединений, присутствующих в технологической цепочке производства. Это и стало целью нашего исследования, особенно учитывая актуальность выявления вклада полифенолов в коллоидную систему пива.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлся хмель гранулированный Т90 сорта «Тетнангер» (Tettannger) компании Joh.Barth & Sohn (г. Нюрнберг, Германия) урожая 2019 г. с содержанием эфирного масла 0,5–0,9 см³/100 г, α -кислот 3,8 % и влажностью 4,5 % по данным производителя.

В качестве модели суслу была выбрана дистиллированная вода, доведенная лимонной кислотой до pH 4,4 и 5,4; молодое пиво – 4 %-ый водно-спиртовой раствор. Расход хмелепродуктов на стадии классического охмеления осуществлялся из расчета обеспечения 12 единиц горечи (BU). Для создания условий «холодного» охмеления на стадии осветления суслу гранулы хмеля добавляли в ток модельного раствора, закачиваемый в Wirpool, со скоростью потока 35 м/с. Моделирование условий дображивания применялось с использованием дрожжей рода *Sacharomyces cerevisiae* рас Rh низового брожения и Nottingham (Nt) верхового брожения в количестве 3,0 млн клеток в см³. Прочие условия приготовления образцов в условиях лаборатории представлены в таблице 1.

Для решения целей исследования применялись физико-химические методы анализа:

- общее количество полифенолов (ПФ) определяли по методу (ЕВС 7.14) [9];
- содержание антоцианогенов (АНТ) (МЕВАК, 2.17.2) устанавливали по методу [10];
- содержание флавоноидов, фенольных кислот и альдегидов (ФКиА) определяли по методу [11, 12];
- поверхностная сорбция дрожжевыми клетками (ПС) измерялась при внесении в водно-спиртовой раствор клеток сорбента на основе переработанных *Saccharomyces cerevisiae*, полученного по способу [13].

Таблица 1. Условия получения модельных растворов, применяемых в работе

Table 1. Conditions for obtaining the model solutions

Стадия внесения		№ варианта	Состав модельного раствора	Длительность охмеления	pH среды	Количество хмеле-продуктов, г/дм ³
Кипячение (осветление)		1	Дистиллированная вода, раствор лимонной кислоты	15 мин	4,4	3,5
		2			5,2	
«Холодное» охмеление	На стадии осветления	3	Дистиллированная вода, раствор лимонной кислоты	30 мин	5,2	4,0
	На стадии дображивания	4	4 %-ый водно-спиртовой раствор, раствор лимонной кислоты	14 дней	4,3	4,0

Таблица 2. Фенольный профиль модельных растворов в зависимости от способа охмеления

Table 2. Phenolic profile of model solutions depending on the method of hopping

Показатели	Содержание фенольных соединений (мг/дм ³) в модельных растворах при способе внесения хмеля								
	Классический		«Холодное» охмеление (этап дображивания) при температуре и расе дрожжей						
	1	2	3	4					
				4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6
				5 °C			20 °C		
				K	Rh	Nt	K	Rh	Nt
pH	4,4	5,2	5,2	4,3–4,4					
ПФ	82,0 ± 7,4		131,0 ± 11,8	172,2 ± 16,3	98,4 ± 8,7	41,0 ± 3,7	164,0 ± 14,8	82,0 ± 7,4	61,5 ± 5,5
АНТ	0,33 ± 0,02	1,97 ± 0,14	8,55 ± 0,60	3,94 ± 0,02	но*	но	3,940 ± 0,02	но	но
Изоксантогумол	2,15 ± 0,21	1,90 ± 0,19	0,97 ± 0,10	4,50 ± 0,45	16,08 ± 0,16	20,54 ± 0,20	4,65 ± 0,46	15,48 ± 0,16	16,55 ± 0,17
Рутин	7,80 ± 0,77	8,20 ± 0,82	2,30 ± 0,23	21,70 ± 0,22	5,00 ± 0,05	6,67 ± 0,07	28,00 ± 0,28	5,41 ± 0,05	7,36 ± 0,07
Кверцетин	0,040 ± 0,004			2,15 ± 0,22	1,63 ± 0,16	1,99 ± 0,20	4,70 ± 0,47	3,25 ± 0,33	2,88 ± 0,29
Низкомолекулярные ФКиА: ванилиновая кислота	0,19 ± 0,02	0,17 ± 0,02	0,16 ± 0,02	0,46 ± 0,05	0,26 ± 0,03	0,29 ± 0,03	0,59 ± 0,06	0,25 ± 0,02	0,26 ± 0,03
сиреневая кислота	0,07 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,30 ± 0,03	0,29 ± 0,03	0,33 ± 0,03	0,35 ± 0,04	0,080 ± 0,008	0,26 ± 0,03
ванилин	0,13 ± 0,01	0,16 ± 0,02	0,15 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,20 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,08 ± 0,01
сиреневый альдегид	0,08 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,27 ± 0,03	0,34 ± 0,03	0,38 ± 0,04	0,29 ± 0,03	0,43 ± 0,04	0,52 ± 0,05
синаповая кислота	0,12 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,49 ± 0,05	0,09 ± 0,01	0,040 ± 0,004	0,90 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,040 ± 0,004
кониферилловый альдегид	0,35 ± 0,03	0,32 ± 0,03	0,10 ± 0,01	но					
синаповый альдегид	0,65 ± 0,06	0,70 ± 0,07	0,35 ± 0,04	0,13 ± 0,01	0,18 ± 0,02	0,19 ± 0,02	0,11 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,22 ± 0,02
Сумма ФКиА	1,60	1,66	1,14	1,76	1,25	1,31	2,44	1,14	1,38

* но – соединения не идентифицированы.

* но – no compound identified.

Эксперименты проводились в 3-х повторностях для получения лучшей сходимости результатов испытаний и обрабатывались с помощью программы Statistics (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA, 2006).

Результаты и их обсуждение

Полифенолы хмеля, ответственные за формирование органолептических и физико-химических показателей пива, изучались посредством сравнения условий классического и холодного способов охмеления. Применение модельных условий для изучения миграции фенольных соединений хмелепродуктов выбрано обоснованно. Во-первых, с целью минимизации влияния других органических соединений на экстракцию, устойчивость и изомеризацию отдельных полифенолов. Во-вторых, с целью изучения направленного воздействия тех или иных технологических аспектов на изменение содержания фенольных соединений в модельной среде.

В таблице 2 представлен фенольный состав модельных водных растворов, полученных при классическом охмелении подобно условиям кипячения сусла, а также «холодным» способом охмеления, имитирующим либо внесение хмелепродуктов в ток сусла, направляемого в Wirpool для осветления

перед перекачиванием в аппараты на брожение, либо задачу хмелепродуктов в аппарат для дображивания молодого пива. В качестве контроля (К) применялся 4 %-ый водно-спиртовой раствор с pH 4,3–4,4.

При оценке условий экстрагирования фенольных соединений следует учитывать их гидрофобную природу, а уже потом прочие условия [14]. В условиях классического охмеления, т. е. при температурах, близких к 100 °C, помимо отсутствия полярного экстрагента в среде (спирта и пр.), весомое значение приобретает кислотность среды или pH. Данные таблицы 2 показывают, что при классическом охмелении большее накопление изоксантогумола связано со значением pH, находящимся в кислой области значений – около 4,0 единиц. При pH модельного раствора 5,2 образуется изоксантогумола на 12 % меньше, чем при pH 4,4, что подтверждается другими исследователями [15]. Содержание рутина и низкомолекулярных фенольных соединений находится в пределах погрешности метода измерений, уровень кверцетина постоянен, т. е. кислотность влияет только на выход изоксантогумола или на скорость его изомеризации из ксантогумола [16].

Общее содержание полифенолов постоянно и коррелирует с содержанием разных групп фенольных

соединений (табл. 2). Отметим, что уровень антоцианогенов или гликозидов кверцетина при pH 5,2 выше в 6 раз по сравнению с контролем. Установлено, что при кипячении антоцианы хмеля мигрируют из ароматного типа хмеля в большем количестве, по сравнению с горькими сортами хмеля, и растворяются в охмеляемом сусле [17]. Основным представителем антоцианов или конденсированных танинов хмеля в составе пива являются (+) – катехин при содержании $0,5 \div 6,9$ мг/дм³. Были также обнаружены (–) – эпикатехин в количестве $0,8 \div 1,9$ мг/дм³, а также галлокатехин, галлоэпикатехин, (–) – галлат катехина, (–) – галлат эпикатехина и их гликозиды [18]. При pH ниже 4,0 происходит ограниченное восстановление, экстракция танинов и их мономеров в среде в отсутствии других органических соединений из растительной матрицы хмеля, а при pH больше 7,0 происходит их деструкция [19]. Поэтому при pH сусла 5,2 происходит большая экстракция группы антоцианогенов по сравнению с низким pH.

В условиях «холодного» охмеления при осветлении пива во время дображивания (табл. 2) происходит высвобождение большего, по сравнению с классическим, количества антоцианогенов на фоне снижения содержания изоксантогумола, кверцетина, рутина и мономерных фенольных соединений. Содержание общего количества полифенольных соединений коррелирует с уровнем антоцианогенов, концентрация которых превышает в 4 раза аналогичный показатель при классическом охмелении. Решающее значение играет турбулентный поток жидкости, который позволяет добиться большей скорости проникновения жидкой фазы в матрицу хмелепродуктов, что увеличивает интенсивность экстракции антоцианогенов.

Проведение «холодного» охмеления в условиях стадии дображивания с точки зрения оптимальной среды для экстракции полифенольных соединений различных групп хмелепродуктов наиболее оптимально из-за присутствия в жидкой среде полярной жидкости – этилового спирта как продукта естественного брожения пивных дрожжей.

На рисунке 1 представлена динамика изменения содержания изоксантогумола при дображивании в течение 14 дней в контроле (К) и в опытных образцах модельных растворов в присутствии пивных дрожжей Rh (O–Rh) и Nt (O–Nt) при температурах 5 и 20 °C.

Исходя из данных рисунка 1, видно, что в случае отсутствия дрожжевых клеток в среде наблюдается колебание содержания изоксантогумола в пределах $4,5\text{--}5,9$ мг/дм³ при 5 °C и $4,6\text{--}6,2$ мг/дм³ при 20 °C. Это является близкими значениями в пределах погрешности метода определения для двух конкретных температур. В присутствии клеток дрожжей характер изменения изоксантогумола различается в зависимости от температуры окружающей среды, поскольку на рисунке 1 зависимости группируются

именно по температурному признаку. Наиболее существенно (рис. 1) содержание изоксантогумола растет при температуре 5 °C в присутствии расы Nt. Накопление изоксантогумола в присутствии расы Rh идет по такой же траектории, но с меньшей интенсивностью: содержание пренилфлавоноида ниже на 28 %, по сравнению с аналогичным содержанием показателя, накапливающегося в присутствии расы дрожжей верхового брожения. Все объясняется набором различных групп ферментов, индивидуальным для каждой расы, превращающих ксантогумол в изоксантогумол во время дображивания [20]. Причем группа ферментов активируется кислородом, поскольку разница в модельной среде при различии двух температур обуславливается большим растворением кислорода при 5 °C и его недостатком при 20 °C [21].

При температуре дображивания 20 °C накопление изоксантогумола в опытных образцах происходит в диапазоне $15,5 \pm 0,3$ мг/дм³ в случае расы Rh, в случае расы Nt – $16,8 \pm 0,3$ мг/дм³.

Скорость изменения содержания изоксантогумола в водно-спиртовой среде, по сравнению с контрольным образцом, при дображивании представлена в таблице 2.

Процессы, количественно описанные в таблице 2, характеризуют изменения изоксантогумола разносторонне. С одной стороны, происходит сорбция изоксантогумола за счет связывания с участками маннана клеточных стенок, что подтверждается литературными источниками [16]. Скорость сорбции неравномерна и имеет максимум в течение одних суток после начала холодного охмеления и снижается

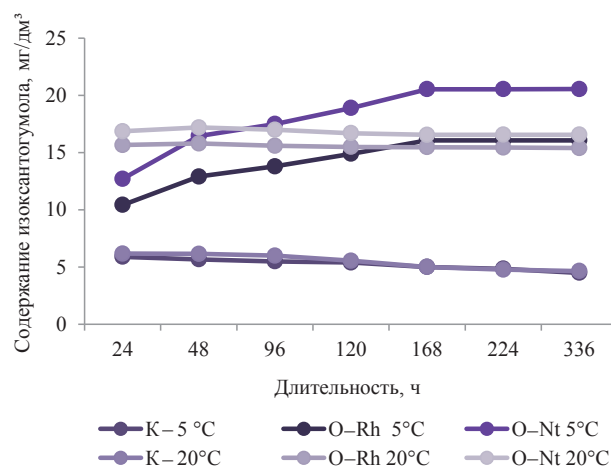


Рисунок 1. Динамика изменения содержания изоксантогумола модельных растворов в течение холодного охмеления в присутствии пивных дрожжей при дображивании

Figure 1. Isoxanthohumol content in model solutions during cold hopping using brewer's yeast for additional fermentation

Таблица 2. Скорость изменения концентрации изоксантогумола в модельном эксперименте

Table 2. Rate of change in the concentration of isoxanthohumol in the model experiment

Раса (составная часть) дрожжей	Скорость изменения изоксантогумола (мг/дм ³ /сут) при температуре дображивания, °С					
	24 ч		48 ч		7 сут	
	5	20	5	20	5	20
Сорбент (ПС)	не происходит	–0,34*	не происходит	–0,14	не происходит	–0,16
Культура Rh	+4,53**	+9,48	+3,62	+4,83	+1,58	+1,49
Культура Nt	+6,81	+10,68	+5,40	+5,53	+2,22	+1,65

* –0,34 – убыль количества изоксантогумола;

** +4,53 – прирост количества изоксантогумола.

* –0.34 – decrease in the amount of isoxanthohumol;

** +4.53 – increase in the amount of isoxanthohumol.

через 7 дней при теплых условиях ведения процесса. Отмечено, что при холодном режиме дображивания при 5 °С сорбция происходит незначительно.

В присутствии живых клеток дрожжей происходит увеличение скорости изомеризации ксантогумола в изоксантогумол вследствие снижения pH среды и присутствия невысокой концентрации спирта (4 % об.). Ранее полученные результаты говорят в пользу корреляции значений активной кислотности среды (pH) и интенсивности процесса перехода ксантогумола в изоксантогумол: если pH находится в более кислой области (от 3,0 до 5,5 единиц), то интенсивность изомеризации возрастает [22].

Наивысшая скорость увеличения изоксантогумола в экспериментах наблюдалась у расы Nt верхового брожения на первые сутки холодного охмеления. Данный факт может быть объяснен присутствием ферментативной системы оксидоредуктаз у расы Nt. Она, в отличие от рас низового брожения, способна преобразовывать фенольные соединения в зависимости от уровня кислорода [20, 23].

На рисунке 2 представлена динамика изменения содержания кверцетина в условиях холодного охмеления.

Исходя из данных рисунка 2, видно, что в случае отсутствия дрожжевых клеток в среде наблюдается колебание содержания кверцетина в пределах 0,9–2,0 мг/дм³ при 5 °С и в пределах 0,8–4,7 мг/дм³ при 20 °С. Это говорит о влиянии температуры на экстракцию в условиях полярного экстрагента. При возрастании температуры среды степень экстракция может увеличиваться [24]. Нарастание интенсивности экстракции наблюдается на 7 суток или 168 ч. На 7-ые сутки холодного охмеления была достигнута высокая степень проникновения полярной жидкости в матрицу хмеля. Это позволило экстрагироваться максимальному количеству кверцетина в жидкую среду.

В присутствии клеток дрожжей зависимость изменения кверцетина связана с температурой среды, как и в случае изоксантогумола. Судя по характеру графиков, можно интерпретировать снижение содержания кверцетина в среде

вследствие биоусвоения клетками дрожжей, о чем свидетельствуют работы авторов [25, 26]. В контрольном образце содержание кверцетина в среде начинает увеличиваться на 96 ч холодного охмеления при температурах 5 и 20 °С, тогда как в опытных образцах в присутствии дрожжевых клеток отмечается сорбция или снижение содержания данного флаваноида. Интересно отметить стимулирующее действие дрожжевых клеток на накопление кверцетина в среде: в случае применения рас Rh и Nt при 5 °С концентрация повышена в 2 раза, а при 20 °С – в 4 раза по сравнению с контролем. Это согласуется с тем фактом, что наивысшая скорость увеличения изоксантогумола в случае присутствия расы Nt происходит на первые сутки холодного охмеления, когда уровень кислорода высок и влияет на ферментативные системы дрожжей, преобразующие фенольные соединения [20, 23]. Источники кверцетина и других

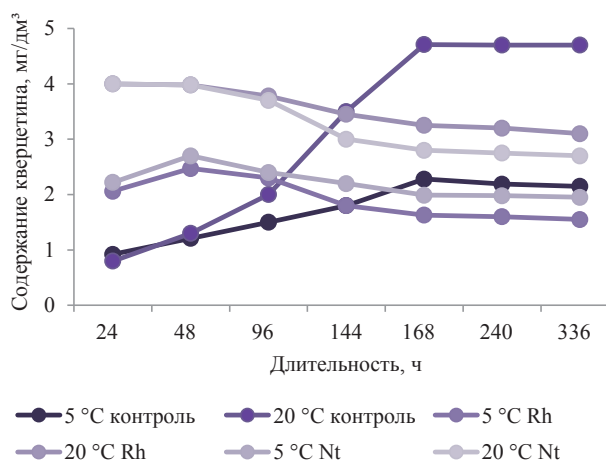


Рисунок 2. Динамика изменения содержания кверцетина модельных растворов в течение холодного охмеления в присутствии пивных дрожжей при дображивании

Figure 2. Quercetin content in model solutions during cold hopping using brewer's yeast for additional fermentation

Таблица 3. Скорость изменения концентрации кверцетина в модельном эксперименте

Table 3. Rate of change in the concentration of quercetin in the model experiment

Раса (составная часть) дрожжей	Скорость изменения кверцетина (мг/дм ³ /сут) при температуре дображивания, °С					
	24 ч		48 ч		7 сут	
	5	20	5	20	5	20
Сорбент (ПС)	не происходит		не происходит		не происходит	
Культура Rh	+1,14*	+3,23	+0,63	+1,34	–0,10**	–0,21
Культура Nt	+1,30	+3,21	+0,75	+1,30	–0,04	–0,26

* +1,14 – прирост количества кверцетина;

** –0,10 – убыль количества кверцетина.

* +1.14 – increase in the amount of quercetin;

** –0.10 – decrease in the amount of quercetin.

флаваноидов снижают уровень внутриклеточных активных форм кислорода (АФК). Это влияет на активацию антиоксидантных ферментов – супероксиддисмутазу и глутатионпероксидазу, воздействующие на биотрансформацию флавоноидов [27]. Этим можно объяснить тот факт, что условия накопления изоксантогумола находятся в противофазе с условиями аккумуляции кверцетина: накоплению изоксантогумола способствует достаточное накопление кислорода в клетках дрожжей, а кверцетин сокращает АФК и стимулирует действие антиоксидантных ферментов, что согласуется с полученными данными.

Максимум накопления кверцетина в условиях присутствия микроорганизмов наблюдается к 24–48 ч холодного охмеления. В условиях 5 °С уровень кверцетина соответствует 2,7 мг/дм³, а 20 °С – 4,0 мг/дм³. Более подробно скорость изменения кверцетина в различных условиях представлена в таблице 3.

Установлено, что кверцетин не сорбируется дрожжами в модельных растворах при холодном охмелении (табл. 3). Однако величина скорости повышения концентрации кверцетина на первые сутки в образцах с разными расами дрожжей находится в области близких значений, затем убывает и на 7-ые сутки становится отрицательной в присутствии расы Nt. Это можно связать с физиологией дрожжей [23].

На рисунке 3 представлена динамика изменения рутина в течение холодного охмеления в модельных растворах.

Изменения содержания рутина в модельной среде без пивных дрожжей идентичны зависимостям, представленным на рисунке 3, обуславливаются температурными факторами [24]. Содержание рутина растет в контроле в течение 2 суток, а в присутствии клеток дрожжей колеблется незначительно и остается в одном диапазоне – 5,0 ÷ 7,4 мг/дм³. На наш взгляд, динамика изменения содержания рутина соответствует характеру миграции кверцетина во время холодного охмеления.

Скорость изменения содержания рутина в водно-спиртовой среде, по сравнению с контрольным образцом, при дображивании представлена в таблице 4.

Данные таблицы 4 показывают, что в модельных растворах рутин подвергается сорбции в течение первых 6 суток с начала дображивания. Затем происходит незначительный прирост его содержания. Оценивая скорость миграции рутина за сутки, отметим, что раса дрожжей не влияет на изменение содержания рутина. Основываясь на исследованиях других авторов, предполагаем, что процессы убыли связаны с физиологическими процессами, характерными для ряда рас пивных дрожжей: подавление содержания кислорода в среде или защитные механизмы дрожжевых клеток от активного кислорода [28]. Отметим, что скорость убыли рутина зависит от температуры процесса: при 5 °С в первые 24 ч она максимальна, затем постепенно снижается. Здесь можно говорить о корреляции с условиями большей растворимости кислорода в среде в первые сутки дображивания [21].

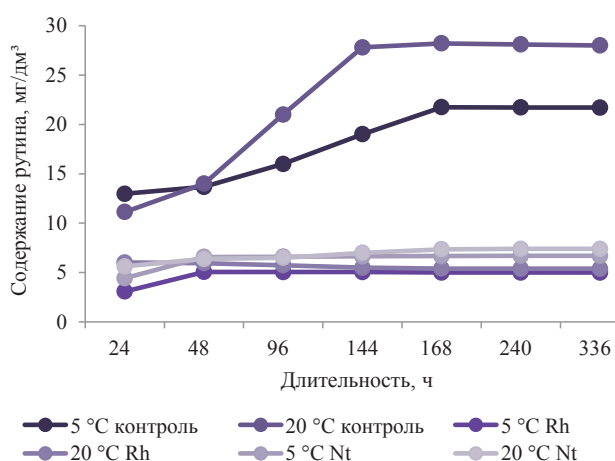


Рисунок 3. Динамика изменения содержания рутина модельных растворов в течение холодного охмеления в присутствии рас пивных дрожжей при дображивании

Figure 3. Rutin content in model solutions during cold hopping using brewer's yeast for additional fermentation

Таблица 4. Скорость изменения концентрации рутина в модельном эксперименте

Table 4. Rate of change in the concentration of rutin in the model experiment

Раса (составная часть) дрожжей	Скорость изменения рутина (мг/дм ³ /сут) при температуре дображивания, °С					
	24 ч		48 ч		7 сут	
	5	20	5	20	5	20
Сорбент (ПС)	–0,92*	–0,30	–0,82	–0,22	+0,26**	+0,07
Культура Rh	–9,88	–5,12	–4,30	–4,02	–2,40	–3,25
Культура Nt	–8,54	–5,51	–3,65	–3,60	–2,20	–2,18

* –0,92 – убыль количества рутина;

* –0.92 – decrease in the amount of routine;

** +0,26 – прирост количества рутина.

** +0.26 – increase in the amount of routine.

Простые фенольные кислоты и альдегиды (табл. 2) претерпевают ряд изменений. В условиях холодного дображивания наблюдается снижение их концентрации в течение 2 недель. Это связано с их вовлечением в процессы потребления и биотрансформации дрожжами. В пользу этого говорит участие простых фенольных кислот (например, кофейной и галловой) в транспорте микроэлементов дрожевой клетки и механизмах регуляции роста [23, 29].

Сопоставляя различные способы охмеления по содержанию полифенольных соединений хмелепродуктов, можно отметить, что условия дображивания позитивно влияют на динамику извлечения всех групп полифенолов. Невысокая температура процесса (5 °С) и наличие дрожжей верхового брожения в среде способствуют накоплению большего количества изоксантогумола. На содержание рутина и кверцетина в течение 14 суток дображивания не влияют различные расы дрожжей, но имеет значение температура среды: с повышением температуры интенсифицируется экстракция [24]. Необходимо отметить положительное влияние присутствия полярного экстрагента в среде – 4 %-ого водно-спиртового раствора на интенсивность экстракции рутин и кверцетина.

Содержание низкомолекулярных фенольных кислот и альдегидов в среде без микроорганизмов равнозначно вне зависимости от способа охмеления. Присутствие микроорганизмов в среде приводит к снижению низкомолекулярных фенольных соединений по причине их участия в жизнедеятельности дрожевой клетки [23].

Содержание общего количества полифенолов коррелировало с суммой содержания отдельных представителей групп фенольных соединений, а содержание антоцианогенов – с суммой массовых концентраций рутина и кверцетина (табл. 3, 4).

Учитывая вклад групп полифенолов в коллоидную систему пива, оптимальным способом альтернативного внесения хмелепродуктов с целью создания готового напитка с уникальными органолептическими показателями является этап дображивания. Присутствие активных форм

клеток микроорганизмов способствует адсорбции, потреблению и биотрансформации всех групп фенольных соединений и антоцианогенов, способных укрупняться и влиять на стабильность пива при хранении.

Выводы

Рассмотрены пути миграции различных групп фенольных соединений в условиях классического и «холодного» способов охмеления. Проведенные исследования позволили установить различные факторы, влияющие на интенсивность экстракции полифенолов. В условиях классического охмеления ключевым фактором является активная кислотность среды (рН = 5,2), способствующая накоплению большего количества изоксантогумола и антоцианогенов. Показано, что применение принципов «холодного» охмеления на стадии осветления сусла не позволяет добиться значительного содержания фенольных соединений, но способствует высвобождению антоцианогенов, присутствие которых связано с рисками возникновения помутнения в процессе хранения готового пива. Установлено, что при дображивании происходят процессы сорбции, трансформации и потребления различных групп полифенолов, участвующих в жизнедеятельности клеток дрожжей. Высокая скорость образования фенольных соединений наблюдается в течение первых двух суток дображивания, затем скорость убывает. Изоксантогумол и кверцетин обладали значимой динамикой изменения. Отмечена важная роль пониженной температуры дображивания (5 °С), которая способствует интенсификации накопления фенольных соединений. Количественная оценка миграции и трансформации полифенолов позволила предположить, что этап дображивания наиболее целесообразен с точки зрения формирования качественных показателей пива за счет соединений хмелепродуктов.

Критерии авторства

М. В. Гернет осуществляла общее руководство проектом исследования. И. Н. Грибкова осуществляла разработку макета исследования и обеспечивала

исследовательский процесс экспериментальными данными и их обобщением. О. А. Борисенко обеспечивала контроль исследовательского процесса в части мониторинга жизнедеятельности дрожжей, участвующих в исследовании. М. А. Захаров и В. А. Захарова обеспечивали процесс экспериментальными данными посредством инструментальных методов анализа (ВЭЖХ).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

M.V. Gernet supervised the project. I.N. Gribkova developed the research plan, conducted the research, and analyzed the experimental data. O.A. Borisenko monitored the vital activity of microorganisms. M.A. Zakharov and V.A. Zakharova were responsible for HPLS.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Гернет М. В., Грибкова И. Н. Влияние соединений хмеля и хмелепродуктов на сенсорный профиль готового пива // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2019. Т. 9. № 1. С. 93–99.
2. Research of hop polyphenols impact on malt hopped wort aroma formation model experiments / M. Gernet [et al.] // Potravinárstvo Slovak Journal of Food Science. 2021. Vol. 15. P. 263–272. <https://doi.org/10.5219/1518>.
3. Beer produced via hydrodynamic cavitation retains higher amounts of xanthohumol and other hops prenylflavonoids / R. Ciriminna [et al.] // LWT. 2018. Vol. 91. P. 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.037>.
4. Bartmańska A., Tronina T., Popłoński J. Biotransformation of a major beer prenylflavonoid – isoxanthohumol // Zeitschrift fur Naturforschung – Section C Journal of Biosciences. 2019. Vol. 74. № 1–2. P. 1–7. <https://doi.org/10.1515/znc-2018-0101>.
5. A kinetic study of xanthohumol cyclization to isoxanthohumol – A role of water / D. M. Kamiński [et al.] // Journal of Molecular Structure. 2017. Vol. 1139. P. 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.03.027>.
6. Beer phenolic composition of simple phenols, prenylated flavonoids and alkylresorcinols / A. Boronat [et al.] // Molecules. 2020. Vol. 25. № 11. <https://doi.org/10.3390/molecules25112582>.
7. Dostálek P., Karabín M., Jelínek L. Hop phytochemicals and their potential role in metabolic syndrome prevention and therapy // Molecules. 2017. Vol. 22. № 10. <https://doi.org/10.3390/molecules22101761>.
8. Wietstock P. C., Kunz T., Methner F.-J. Influence of hopping technology on oxidative stability and staling-related carbonyls in pale lager beer // Brewing Science. 2016. Vol. 69. № 11–12. P. 73–84.
9. Determination of total phenolic content using the Folin-C assay: Single-laboratory validation, first action 2017.13 / S. Kupina [et al.] // Journal of AOAC International. 2018. Vol. 101. № 5. P. 1466–1472. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0031>.
10. 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. Vol. 17. № 4. P. 953–988. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12352>.
11. Comparison of common analytical methods for the quantification of total polyphenols and flavanols in fruit juices and ciders / S. Ma [et al.] // Journal of Food Science. 2019. Vol. 84. № 8. P. 2147–2158. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14713>.
12. HPLC method for the quantification of phenolic acids, phenolic aldehydes, coumarins and furanic derivatives in different kinds of toasted wood used for the ageing of brandies / S. Canas [et al.] // Analytical Methods. 2011. Vol. 3. № 1. P. 186–191. <https://doi.org/10.1039/c0ay00269k>.
13. Применение биосорбентов в пивоварении. Часть I. Исследование условий биосорбции цинка / М. В. Гернет [и др.] // Пиво и напитки. 2018. № 3. С. 12–15.
14. Hop compounds: Extraction techniques, chemical analyses, antioxidative, antimicrobial, and anticarcinogenic effects / M. K. Hrnčic [et al.] // Nutrients. 2019. Vol. 11. № 3. <https://doi.org/10.3390/nu11020257>.
15. Acid-base properties of xanthohumol: A computational and experimental investigation / M. Arczewska [et al.] // Journal of Natural Products. 2017. Vol. 80. № 12. P. 3194–3202. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.7b00530>.
16. Functional beer – a review on possibilities / K. Habschied [et al.] // Beverages. 2020. Vol. 6. № 3. <https://doi.org/10.3390/beverages6030051>.
17. Study of antioxidant activity during the malting and brewing process / D. Koren [et al.] // Journal of Food Science and Technology. 2019. Vol. 56. № 8. P. 3801–3809. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03851-1>.
18. Aron P. M., Shellhammer T. H. Profiling of hop-derived flavan-3-ols from lager beer in relation to hopping technology // Journal of the American Society of Brewing Chemists. 2017. Vol. 75. № 3. P. 276–282. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2017-3149-01>.

19. Extraction, enrichment, and quantification of main antioxidant aglycones of flavonoids and tannins from *Melastoma dodecandrum* Lour.: Guided by UPLC-ESI-MS/MS / Y. Tong [et al.] // Journal of Chemistry. 2019. Vol. 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/2793058>.
20. Biotransformed metabolites of the hop prenylflavanone isoxanthohumol / H. J. Kim [et al.] // Molecules. 2019. Vol. 24. № 3. <https://doi.org/10.3390/molecules24030394>.
21. Camuffo D. A relationship between temperature, oxygen dissolved in blood and viral infections // Annals of Geophysics. 2021. Vol. 64. № 1. <https://doi.org/10.4401/ag-8528>.
22. Chiral separation of isoxanthohumol and 8-prenylnaringenin in beer, hop pellets and hops by HPLC with chiral columns / H. Moriya [et al.] // Biomedical Chromatography. 2018. Vol. 32. № 10. <https://doi.org/10.1002/bmc.4289>.
23. Synergic involvements of microorganisms in the biomedical increase of polyphenols and flavonoids during the fermentation of ginger juice / C. A. Kayath [et al.] // International Journal of Microbiology. 2020. Vol. 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8417693>.
24. Effects of temperature, time, and solvent ratio on the extraction of phenolic compounds and the anti-radical activity of *Clinacanthus nutans* Lindau leaves by response surface methodology / I. S. Che Sulaiman [et al.] // Chemistry Central Journal. 2017. Vol. 11. № 1. <https://doi.org/10.1186/s13065-017-0285-1>.
25. Devi A., Konerira Aiyappaa A.-A., Waterhouse A. L. Adsorption and biotransformation of anthocyanin glucosides and quercetin glycosides by *Oenococcus oeni* and *Lactobacillus plantarum* in model wine solution // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2019. Vol. 100. № 5. P. 2110–2120. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10234>.
26. Dabulici C. M., S rbu I., Vamanu E. The bioactive potential of functional products and bioavailability of phenolic compounds // Foods. 2020. Vol. 9. № 5. <https://doi.org/10.3390/foods9070953>.
27. Life-span extension by pigmented rice bran in the model yeast *Saccharomyces cerevisiae* / P. Sunthonkun [et al.] // Scientific Reports. 2019. Vol. 9. № 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54448-9>.
28. Swięcilo A. Cross-stress resistance in *Saccharomyces cerevisiae* yeast – new insight into an old phenomenon // Cell Stress and Chaperones. 2016. Vol. 21. № 2. P. 187–200. <https://doi.org/10.1007/s12192-016-0667-7>.
29. Ruta L. L., Farcasanu I. C. Interaction between polyphenolic antioxidants and *Saccharomyces cerevisiae* cells defective in heavy metal transport across the plasma membrane // Biomolecules. 2020. Vol. 10. № 11. <https://doi.org/10.3390/biom10111512>.

References

1. Gernet MV, Gribkova IN. Hop and hop products compounds influence on ready beer sensorial profile. XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present Plus. 2019;9(1):93–99. (In Russ.).
2. Gernet M, Gribkova I, Zakharov M, Kobelev K. Research of hop polyphenols impact on malt hopped wort aroma formation model experiments. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Science. 2021;15:263–272. <https://doi.org/10.5219/1518>.
3. Ciriminna R, Albanese L, Di Stefano V, Delisi R, Avellone G, Meneguzzo F, et al. Beer produced via hydrodynamic cavitation retains higher amounts of xanthohumol and other hops prenylflavonoids. LWT. 2018;91:160–167. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.037>.
4. Bartmańska A, Tronina T, Popłoński J. Biotransformation of a major beer prenylflavonoid – isoxanthohumol. Zeitschrift fur Naturforschung – Section C Journal of Biosciences. 2019;74(1–2):1–7. <https://doi.org/10.1515/znc-2018-0101>.
5. Kamiński DM, Gaweda K, Arczewska M, Senczyna B, Gagos M. A kinetic study of xanthohumol cyclization to isoxanthohumol – A role of water. Journal of Molecular Structure. 2017;1139:10–16. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.03.027>.
6. Boronat A, Soldevila-Domenech N, Rodriguez-Morato J, Martinez-Huelamo M, Lamuela-Raventos RM, De La Torre R. Beer phenolic composition of simple phenols, prenylated flavonoids and alkylresorcinols. Molecules. 2020;25(11). <https://doi.org/10.3390/molecules25112582>.
7. Dostálek P, Karabín M, Jelínek L. Hop phytochemicals and their potential role in metabolic syndrome prevention and therapy. Molecules. 2017;22(10). <https://doi.org/10.3390/molecules22101761>.
8. Wietstock PC, Kunz T, Methner F-J. Influence of hopping technology on oxidative stability and staling-related carbonyls in pale lager beer. Brewing Science. 2016;69(11–12):73–84.
9. 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>.
10. 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>.
11. 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>.

12. Canas S, Belchior AP, Spranger MI, Bruno-De-Sousa R. HPLC method for the quantification of phenolic acids, phenolic aldehydes, coumarins and furanic derivatives in different kinds of toasted wood used for the ageing of brandies. *Analytical Methods*. 2011;3(1):186–191. <https://doi.org/10.1039/c0ay00269k>.
13. Guernet MV, Kobelev KV, Gribkova IN, Horosheva EV. Biosorbent application in brewing. Part I. Investigation of zinc biosorption conditions. *Beer and beverages*. 2018;(3):12–15. (In Russ.).
14. Hrncic MK, Spaninger E, Kosir IJ, Knez Z, Bren U. Hop compounds: Extraction techniques, chemical analyses, antioxidative, antimicrobial, and anticarcinogenic effects. *Nutrients*. 2019;11(3). <https://doi.org/10.3390/nu11020257>.
15. Arczewska M, Kaminski DM, Gieroba B, Gagos M. Acid-base properties of xanthohumol: A computational and experimental investigation. *Journal of Natural Products*. 2017;80(12):3194–3202. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.7b00530>.
16. Habschied K, Zivkovic A, Krstanovic V, Mastanjevic K. Functional beer – a review on possibilities. *Beverages*. 2020;6(3). <https://doi.org/10.3390/beverages6030051>.
17. Koren D, Kun S, Hegyesne Vecseri B, Kun-Farkas G. Study of antioxidant activity during the malting and brewing process. *Journal of Food Science and Technology*. 2019;56(8):3801–3809. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03851-1>.
18. Aron PM, Shellhammer TH. Profiling of hop-derived flavan-3-ols from lager beer in relation to hopping technology. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 2017;75(3):276–282. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2017-3149-01>.
19. Tong Y, Jiang Y, Chen X, Li X, Wang P, Jin Y, et al. Extraction, enrichment, and quantification of main antioxidant aglycones of flavonoids and tannins from *Melastoma dodecandrum* Lour.: Guided by UPLC-ESI-MS/MS. *Journal of Chemistry*. 2019;2019. <https://doi.org/10.1155/2019/2793058>.
20. Kim HJ, Yim S-H, Han F, Kang BY, Choi HJ, Jung D-W, et al. Biotransformed metabolites of the hop prenylflavanone isoxanthohumol. *Molecules*. 2019;24(3). <https://doi.org/10.3390/molecules24030394>.
21. Camuffo D. A relationship between temperature, oxygen dissolved in blood and viral infections. *Annals of Geophysics*. 2021;64(1). <https://doi.org/10.4401/ag-8528>.
22. Moriya H, Tanaka S, Iida Y, Kitagawa S, Aizawa S-I, Taga A, et al. Chiral separation of isoxanthohumol and 8-prenylnaringenin in beer, hop pellets and hops by HPLC with chiral columns. *Biomedical Chromatography*. 2018;32(10). <https://doi.org/10.1002/bmc.4289>.
23. Kayath CA, Ibala Zamba A, Mokemiabeka SN, Opa-Iloy M, Elenga Wilson PS, Kaya-Ongoto MD, et al. Synergic involvements of microorganisms in the biomedical increase of polyphenols and flavonoids during the fermentation of ginger juice. *International Journal of Microbiology*. 2020;2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8417693>.
24. Che Sulaiman IS, Basri M, Fard Masoumi HR, Chee WJ, Ashari SE, Ismail M. Effects of temperature, time, and solvent ratio on the extraction of phenolic compounds and the anti-radical activity of *Clinacanthus nutans* Lindau leaves by response surface methodology. *Chemistry Central Journal*. 2017;11(1). <https://doi.org/10.1186/s13065-017-0285-1>.
25. Devi A, Konerira Aiyappa A-A, Waterhouse AL. Adsorption and biotransformation of anthocyanin glucosides and quercetin glycosides by *Oenococcus oeni* and *Lactobacillus plantarum* in model wine solution. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2019;100(5):2110–2120. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10234>.
26. Dabulici CM, S rbu I, Vamanu E. The bioactive potential of functional products and bioavailability of phenolic compounds. *Foods*. 2020;9(5). <https://doi.org/10.3390/foods9070953>.
27. Sunthonkun P, Palajai R, Somboon P, Suan CL, Ungsurangsri M, Soontornngun N. Life-span extension by pigmented rice bran in the model yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Scientific Reports*. 2019;9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54448-9>.
28. Święcilo A. Cross-stress resistance in *Saccharomyces cerevisiae* yeast – new insight into an old phenomenon. *Cell Stress and Chaperones*. 2016;21(2):187–200. <https://doi.org/10.1007/s12192-016-0667-7>.
29. Ruta LL, Farcasanu IC. Interaction between polyphenolic antioxidants and *Saccharomyces cerevisiae* cells defective in heavy metal transport across the plasma membrane. *Biomolecules*. 2020;10(11). <https://doi.org/10.3390/biom10111512>.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-639-652>
УДК 543:504.06:663.8

Оригинальная статья
<http://fppt.ru>

Исследование влияния контаминации воды на сохранность витаминов в соковой продукции



В. П. Юстратов^{ORCID}, И. В. Тимошук^{ORCID*},
А. К. Горелкина^{ORCID}, Н. В. Гора^{ORCID}, Н. С. Голубева^{ORCID}, Е. В. Остапова^{ORCID}

Кемеровский государственный университет^{ORCID}, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 31.05.2021

Принята после рецензирования: 22.06.2021

Принята в печать: 15.07.2021

*e-mail: ecolog1528@yandex.ru



© В. П. Юстратов, И. В. Тимошук, А. К. Горелкина, Н. В. Гора, Н. С. Голубева, Е. В. Остапова, 2021

Аннотация.

Введение. При производстве сыровоточных напитков, нектаров, морсов и восстановленных соков используется вода системы хозяйственно-питьевого водоснабжения. Она может содержать различные контаминанты, способные вступать во взаимодействие с витаминами применяемого сырья в процессе производства напитков. Цель работы – изучить влияние трихлорметана, гидроксибензола, хлорфенола, трилена и хлористого этилена на сохранность витаминов в соковой продукции.

Объекты и методы исследования. Водные плодовые и ягодные концентраты, используемые в производстве нектаров, приготовленные на воде без контаминантов и при наличии трихлорметана, трилена, хлористого этилена, гидроксибензола и хлорфенола. Определение содержания биологически активных веществ (витаминов) водных плодовых и ягодных концентратов проводили с применением капиллярного зонального электрофореза. Интенсивность окраски водных концентратов из плодов и ягод контролировали методом молекулярно-абсорбционной спектроскопии в видимой области спектра. Содержание контаминантов устанавливали методом газовой хроматографии.

Результаты и их обсуждение. Исследована сохранность витаминов в нектарах при контаминации воды (трихлорметаном, триленом, хлористым этиленом, гидроксибензолом и хлорфенолом), используемой в качестве сырья. Показано, что трихлорметан не вступает в химическое взаимодействие с биологически активными веществами напитков. Установлено значительное снижение концентрации аскорбиновой кислоты, каротина, тиамин, рибофлавина, холина и пиридоксина в нектарах. Это подтверждено уменьшением содержания трилена, хлористого этилена, гидроксибензола и хлорфенола. В зависимости от присутствующего органического вещества контаминация воды приводит к снижению содержания в готовом продукте каротина на 7–35 %, витамина В₁ на 10–100 %, В₂ на 11–100 %, В₄ на 8–45 %, В₆ на 8–100 %. Механизм взаимодействия контаминантов и биологически активных веществ теоретически обоснован.

Выводы. Установлено влияние контаминантов органической природы, присутствующих в воде (гидроксибензола, хлорфенола, трилена и хлористого этилена), на сохранность витаминов в соковой продукции. Химическое взаимодействие хлорорганических контаминантов воды и витаминов соковой продукции подтверждено уравнениями химических реакций. Снижение содержания витаминов в процессе производства нектаров без предварительной доочистки воды от токсичных и канцерогенных веществ приведет к снижению качества и безопасности пищевых продуктов.

Ключевые слова. Вода, трихлорметан, гидроксибензол, хлорфенол, трилен, хлористый этилен, нектары

Финансирование. На базе (оборудовании) Центра коллективного пользования научным оборудованием КемГУ в рамках соглашения № 075-12021-694 от 05.08.2021, заключенного между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России)^{ORCID} и Кемеровским государственным университетом (КемГУ)^{ORCID} (уникальный идентификатор контракта RF----2296.61321X0032).

Для цитирования: Исследование влияния контаминации воды на сохранность витаминов в соковой продукции / В. П. Юстратов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 639–652. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-639-652>.

Original article

Available online at <http://fppt.ru/eng>

Effect of Water Contamination on the Preservation of Vitamins in Juices

Vladimir P. Yustratov^{OR}, Irina V. Timoshchuk^{*}^{OR}, Alena K. Gorelkina^{OR},
Natalia V. Gora^{OR}, Nadezhda S. Golubeva^{OR}, Elena V. Ostapova^{OR}

Kemerovo State University^{OR}, Kemerovo, Russia

Received: May 31, 2021

Accepted in revised form: June 22, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021

*e-mail: ecolog1528@yandex.ru



© V.P. Yustratov, I.V. Timoshchuk, A.K. Gorelkina, N.V. Gora, N.S. Golubeva, E.V. Ostapova, 2021

Abstract.

Introduction. Whey drinks, fruit nectars, and reconstituted juices are usually based on domestic water. This water may contain various contaminants, which can interact with vitamins in fruit drinks. The research objective was to study the impact of trichloromethane, hydroxybenzene, chlorophenol, trichloroethylene, and ethylene chloride on the state of vitamins in juice products.

Study objects and methods. The study featured aqueous fruit and berry concentrates, used in fruit nectar production. The control sample contained water without contaminants, while the test samples involved trichloromethane, trichloroethylene, ethylene chloride, hydroxybenzene, and chlorophenol. Capillary zone electrophoresis made it possible to determine bioactive substances (vitamins) in aqueous fruit and berry concentrates. Molecular absorption spectroscopy in visible spectrum was used to check the color intensity. Gas chromatography helped to analyze the content of contaminants.

Results and discussion. The experiment tested vitamin preservation in fruit nectars based on water contaminated with trichloromethane, trichloroethylene, ethylene chloride, hydroxybenzene, and chlorophenol. Trichloromethane did not react with bioactive substances. Trichloroethylene, ethylene chloride, hydroxybenzene, and chlorophenol lowered the content of ascorbic acid, carotene, thiamine, riboflavin, choline, and pyridoxine. Depending on the organic matter, water contamination led to a decrease in carotene by 7–35%, vitamin B₁ – by 10–100%, B₂ – by 11–100%, B₄ – by 8–45%, and B₆ – by 8–100 in the finished product. The paper introduces a theoretic substantiation of the interaction between the contaminants and the bioactive substances.

Conclusion. Water, contaminated with such organic substances as hydroxybenzene, chlorophenol, trichloroethylene, and ethylene chloride, proved to affect the vitamin preservation in juices, which was illustrated by chemical equations. Therefore, juice production requires preliminary water purification because toxic and cancerogenic substances can decrease the quality and food safety of the finished product.

Keywords. Water, trichloromethane, hydroxybenzene, chlorophenol, trichloroethylene, ethylene chloride, nectars

Funding. The research was conducted on the premises of the Research Equipment Sharing Center of Kemerovo State University, agreement No. 075-12021-694 dated August 5, 2021, between the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka)^{OR} and Kemerovo State University (KemSU)^{OR} (contract identifier RF ----2296.61321X0032).

For citation: Yustratov VP, Timoshchuk IV, Gorelkina AK, Gora NV, Golubeva NS, Ostapova EV. Effect of Water Contamination on the Preservation of Vitamins in Juices. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):639–652. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-639-652>.

Введение

Современный период развития человечества характеризуется усилением негативных техногенных факторов. Повсеместно наблюдается антропогенное загрязнение окружающей среды минеральными и органическими загрязнителями различных отраслей промышленности. Контаминация ими питьевой воды и пищевых продуктов может привести к ухудшению здоровья и снижению продолжительности жизни людей. 95 % контаминантов поступают в организм алиментарным путем, т. е. с пищевыми продуктами и питьевой водой [1–4]. Согласно Доктрине продовольственной безопасности РФ, утвержденной 20.01.2020 г., одним из важнейших национальных интересов государства в сфере

продовольственной безопасности является обеспечение населения качественной и безопасной пищевой продукцией. Качество продукции определяется не только соблюдением технологического процесса приготовления и уровнем санитарно-гигиенических условий, но и составом входящих в нее компонентов.

К продуктам массового потребления относят напитки. Рынок безалкогольных напитков в России четко сегментирован. На рисунке 1 представлена доля соковой продукции в общем объеме употребляемых напитков россиянами: 16 % минеральные воды, 31 % газированные напитки, 53 % соки, нектары и сокосодержащие напитки [5]. Наибольшую популярность в данной линейке напитков имеют нектары, широко представленные



Рисунок 1. Потребительский спрос на безалкогольные напитки в России

Figure 1. Consumer demand for soft drinks in Russia

в торговой сети. Употребление нектаров способствует утолению жажды, пополнению организма человека необходимыми полезными нутриентами, которые повышают сопротивляемость к инфекциям и стимулируют процессы обмена веществ [6, 7]. В нектарах содержатся пищевые волокна, которые помогают перистальтике кишечника и способствуют выведению токсинов из организма. Проблема сохранения и поддержания здоровья человека алиментарным путем в последнее время приобретает особую значимость и актуальность благодаря современным достижениям нутрициологии, химии и экологии пищи [8–16]. В нектарах присутствуют различные витамины, хоть и в меньших концентрациях, чем в соках.

Согласно нормативно-технической документации нектары – это безалкогольные напитки, в состав которых входит вода, сахар, пюреобразные съедобные части свежих фруктов, натуральный фруктовый или концентрированный сок. Технология изготовления нектаров включает несколько этапов: мойку сырья, удаление косточек и других несъедобных частей плодов и овощей, измельчение, протираание. Полученное пюре либо предварительно сконцентрированный сок нагревают до 100–110 °С в течение 30–40 с и охлаждают до комнатной температуры. Затем добавляют воду и перемешивают. В водный плодово-ягодный концентрат вносят растворы сахарозы и лимонной кислоты, согласно рецептурам, пастеризуют, охлаждают, гомогенизируют, стерилизуют при температуре 110–115 °С и разливают. На пищевых производствах используется водопроводная вода [17]. При хлорировании природных вод, содержащих природные (гумус, фенол) и антропогенные (нефть, нефтепродукты и др.) загрязнения,

образуется до 50 летучих галогенорганических соединений. То есть в процессе водоподготовки на стадии использования дезинфектанта вероятно контаминация воды побочными галогенорганическими продуктами обеззараживания: трихлорметаном, гидроксibenзолом, хлорфенолом, триленом и хлористым этиленом. Данные контаминанты относятся к 1 и 2 классу опасности и обладают токсическим и канцерогенным действием при поступлении в живые организмы [18]. По содержанию контаминантов органической природы классическая схема водоподготовки в РФ не всегда обеспечивает санитарно-токсикологические нормативы качества питьевой воды, соответствующие требованиям СанПиН 2.1.3685-21, введенного в действие 01.03.2021 г. Это связано с возможностью образования различных продуктов деструкции органических веществ или новых соединений. Порой более токсичных, чем исходные.

Исходя из химических свойств галогенорганических продуктов обеззараживания, можно предположить, что исследуемые контаминанты могут взаимодействовать с компонентами соковой продукции, в том числе биологически активными веществами, оказывая негативное влияние на качество нектаров. В связи с этим исследования, направленные на изучение влияния контаминантов органической природы, присутствующих в воде (гидроксibenзола, трихлорметана, хлорфенола, трилена и хлористого этилена), на качество пищевых продуктов (сохранность витаминов), являются актуальными и своевременными [19–22]. Целью настоящей работы является изучение влияния трихлорметана, гидроксibenзола, хлорфенола, трилена и хлористого этилена на сохранность биологически активных веществ (витаминов) в соковой продукции (витаминов группы В).

Объекты и методы исследования

Объекты исследования: водные плодовые концентраты (груша, яблоко) и водные ягодные концентраты (арония черноплодная, апельсин, брусника, вишня, клубника, крыжовник, малина, облепиха, черная смородина), приготовленные без контаминантов и при наличии трихлорметана, трилена, хлористого этилена, гидроксibenзола и хлорфенола. Содержание контаминантов (10 ПДК) соответствовало максимально возможному их повышению в воде системы хозяйственно-питьевого водоснабжения в различные сезоны года, установленному по результатам многолетних наблюдений [23].

Содержание витаминов в образцах проводили методом капиллярного зонального электрофореза [24–27]. Интенсивность окраски водных концентратов из плодов и ягод контролировали методом молекулярно-абсорбционной спектроскопии в видимой области спектра (380–760 нм), выбирая

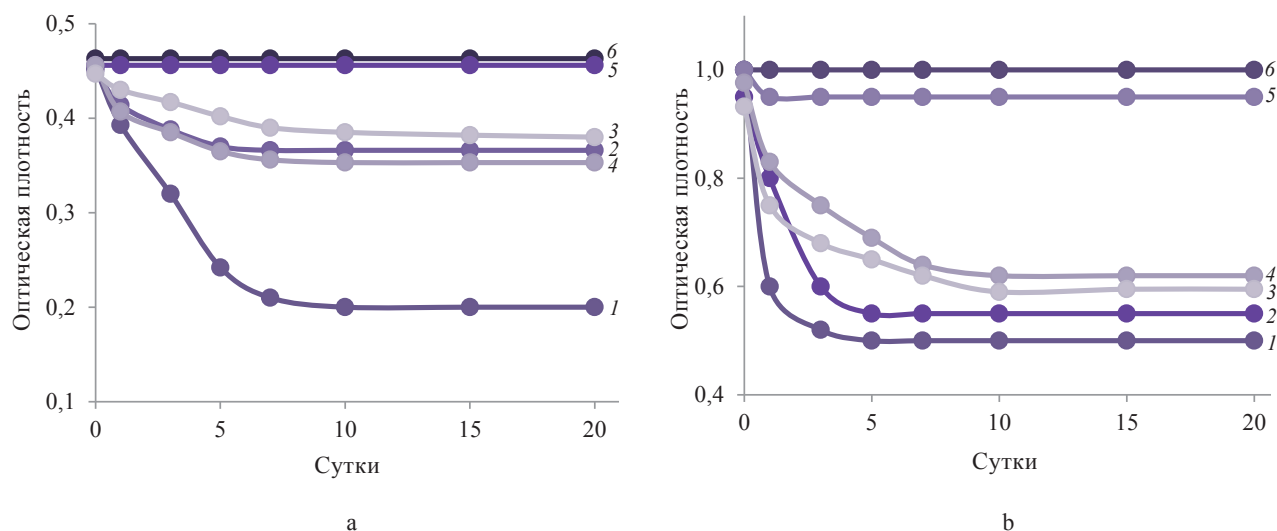


Рисунок 2. Изменение окраски водных концентратов из ягод крыжовника (а) и апельсина (b), содержащих трилен (1), хлористый этилен (2), хлорфенол (3), гидроксибензол (4), трихлорметан (5) и без органических загрязнителей (6)

Figure 2. Color intensity of aqueous concentrates from gooseberries (a) and orange (b) containing triline (1), ethylene chloride (2), chlorophenol (3), hydroxybenzene (4), trichloromethane (5), and without organic contaminants (6)

длину волны в зависимости от цвета образцов. Содержание провитамина А – спектрофотометрически после экстракции петролейным эфиром (ГОСТ Р 54058-2010). Содержание гидроксибензола, трихлорметана, хлорфенола, трилена и хлористого этилена – методом газожидкостной хроматографии (ГОСТ Р 31951-2012). Исследования проводили в течение 20 суток.

Результаты и их обсуждение

Содержание каротина (мг/100 г) в образцах водных концентратов ягод и плодов, приготовленных на воде без загрязнителей, составило: арония черноплодная – 0,1; брусника – 0,05; вишня – 0,077; клубника – 0,03; крыжовник – 0,2; малина – 0,012; облепиха – 1,5; черная смородина – 0,13; апельсин – 0,071; яблоко – 0,027; груша – 0,014. Химическое взаимодействие гидроксибензола, хлорфенола, трилена и хлористого этилена с провитамином А экспериментально подтверждено уменьшением содержания витамина в исследуемых образцах водных ягодных и плодовых концентратов. Изменение интенсивности окраски водных ягодных концентратов на примере образцов с крыжовником (а) и апельсином (b) в присутствии загрязнителей представлено на рисунке 2.

Исследования по сохранности интенсивности окраски водных ягодных и плодовых концентратов в присутствии трихлорметана показали стабильность окраски. Водные ягодные концентраты вишни, клубники и малины в присутствии хлористого этилена практически не изменили интенсивность

цвета за весь период исследований. Максимальное изменение интенсивности отмечено в присутствии трилена и гидроксибензола. У водного ягодного концентрата черной смородины наибольшее снижение интенсивности цвета отмечено в присутствии трилена, наименьшее – в присутствии хлорфенола и гидроксибензола. Наименьшее снижение интенсивности цвета в присутствии хлорфенола, наибольшее – в присутствии трилена зафиксировано у водных ягодных концентратов аронии черноплодной, крыжовника и облепихи. У водных ягодных (брусника, апельсин) и плодовых концентратов (яблоко, груша) наблюдается равномерное снижение окраски в присутствии органических загрязнителей хлорфенола, гидроксибензола, трилена и хлористого этилена.

В результате взаимодействия трилена и провитамина А возможно протекание перicyклических реакций с образованием циклического хлорсодержащего соединения (рис. 3а). В результате химического взаимодействия гидроксибензола и хлорфенола, содержащих спиртовую (фенольную) группу, а также ретинола вероятно образование сложных эфиров (рис. 3b, c). В результате присутствия электроотрицательного атома хлора в молекуле хлористого этилена, способствующего перераспределению электронной плотности на атомах, возможно образование водородных связей с водородом спиртовой группы каротиноидов (рис. 3d).

Снижение содержания провитамина А в водных ягодных концентратах (крыжовник, вишня, малина)

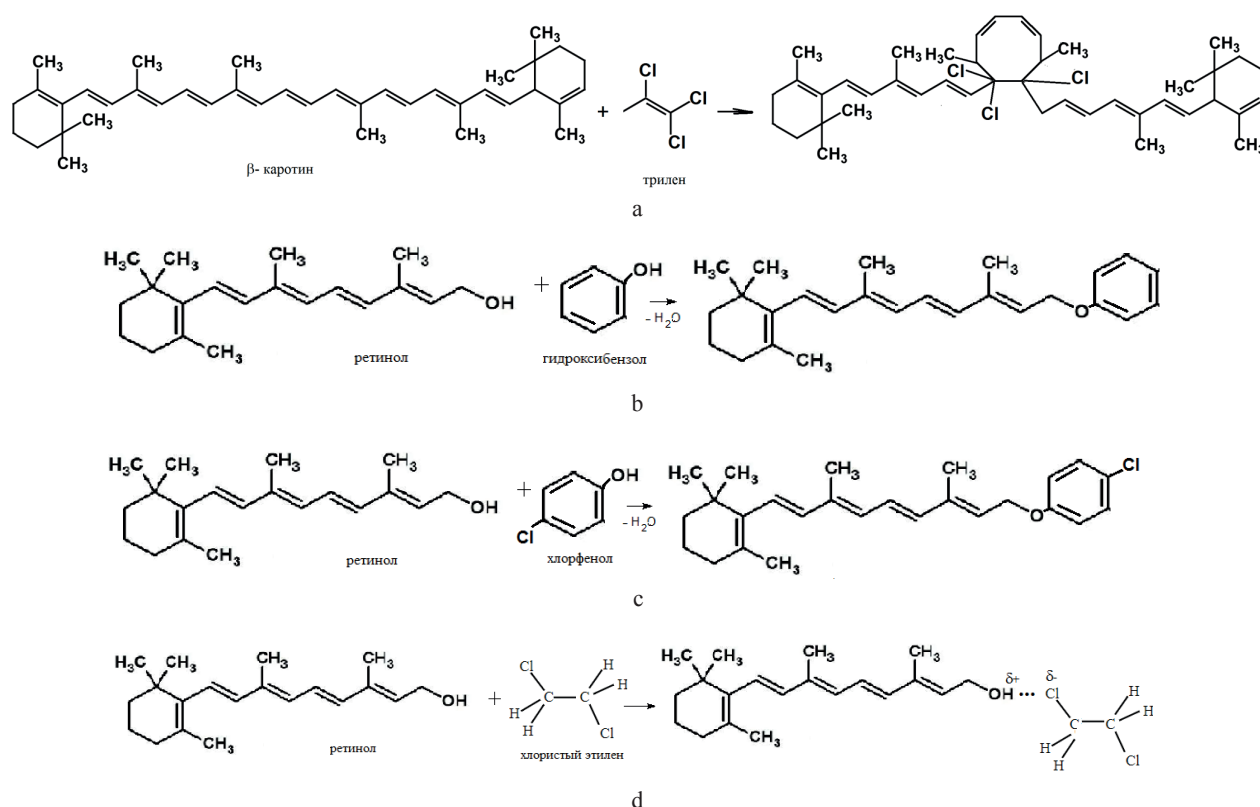


Рисунок 3. Взаимодействие провитамина А и загрязнителей, содержащихся в водных ягодных и плодовых концентратах

Figure 3. Effect of contaminants on provitamin A in the aqueous concentrates

Таблица 1. Содержание витаминов в соковой продукции

Table 1. Vitamins in juice products

Водные плодово-ягодные концентраты	Содержание витаминов в водном плодово-ягодном концентрате, мг/100г				
	B ₁	B ₂	B ₄	B ₆	C
Арония черноплодная	0,550 ± 0,001	0,022 ± 0,001	38,000 ± 0,005	0,072 ± 0,001	98,00 ± 0,01
Клубника	0,044 ± 0,001	0,063 ± 0,001	—	0,058 ± 0,001	110,00 ± 0,01
Апельсин	0,042 ± 0,001	0,028 ± 0,001	11,000 ± 0,001	0,069 ± 0,001	34,000 ± 0,005
Крыжовник	0,015 ± 0,001	0,030 ± 0,001	—	0,034 ± 0,001	30,000 ± 0,005
Малина	0,026 ± 0,001	0,052 ± 0,001	14,000 ± 0,001	0,076 ± 0,001	25,000 ± 0,005
Брусника	0,012 ± 0,001	0,029 ± 0,001	—	—	18,000 ± 0,005
Вишня	0,034 ± 0,001	0,036 ± 0,001	9,000 ± 0,001	0,058 ± 0,001	18,000 ± 0,005
Черная смородина	0,005 ± 0,001	0,005 ± 0,001	13,000 ± 0,001	0,455 ± 0,001	198,00 ± 0,01
Клюква	0,026 ± 0,001	0,024 ± 0,001	—	0,089 ± 0,001	16,000 ± 0,001
Облепиха	0,054 ± 0,001	0,178 ± 0,001	24,000 ± 0,005	0,670 ± 0,001	450,00 ± 0,05
Груша	0,017 ± 0,001	0,028 ± 0,001	7,000 ± 0,001	0,034 ± 0,001	18,000 ± 0,005
Яблоко	0,032 ± 0,001	0,029 ± 0,001	4,000 ± 0,001	0,088 ± 0,001	13,000 ± 0,001

установлено в присутствии трилена на 32–35 %, хлористого этилена, хлорфенола и гидроксibenзола на 14–15 %. В водных плодовых концентратах (яблоко и груша) – в присутствии хлористого этилена на 20–22 %, трилена на 16 %, гидроксibenзола на 8 %, хлорфенола на 9 %. В ягодном концентрате

облепихи отмечено снижение концентрации провитамина на 32 % в присутствии трилена, на 27 % в присутствии хлористого этилена, на 11 % в присутствии хлорфенола и гидроксibenзола. В водных ягодных концентратах черной смородины, аронии черноплодной и клубники содержание

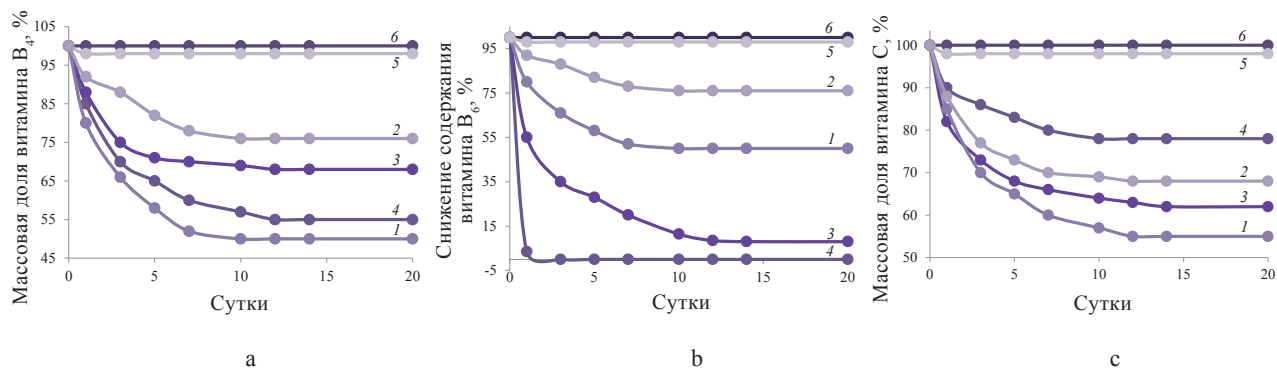


Рисунок 4. Стойкость витаминов В₄, В₆, С в водных ягодных концентратах черной смородины, содержащих трилен (1), хлористый этилен (2), хлорфенол (3), гидроксибензол (4), трихлорметан (5) и без органических загрязнителей (6)

Figure 4. Vitamins B₄, B₆, and C in aqueous concentrates of blackcurrant with triline (1), ethylene chloride (2), chlorophenol (3), hydroxybenzene (4), and trichloromethane (5) and without organic contaminants (6)

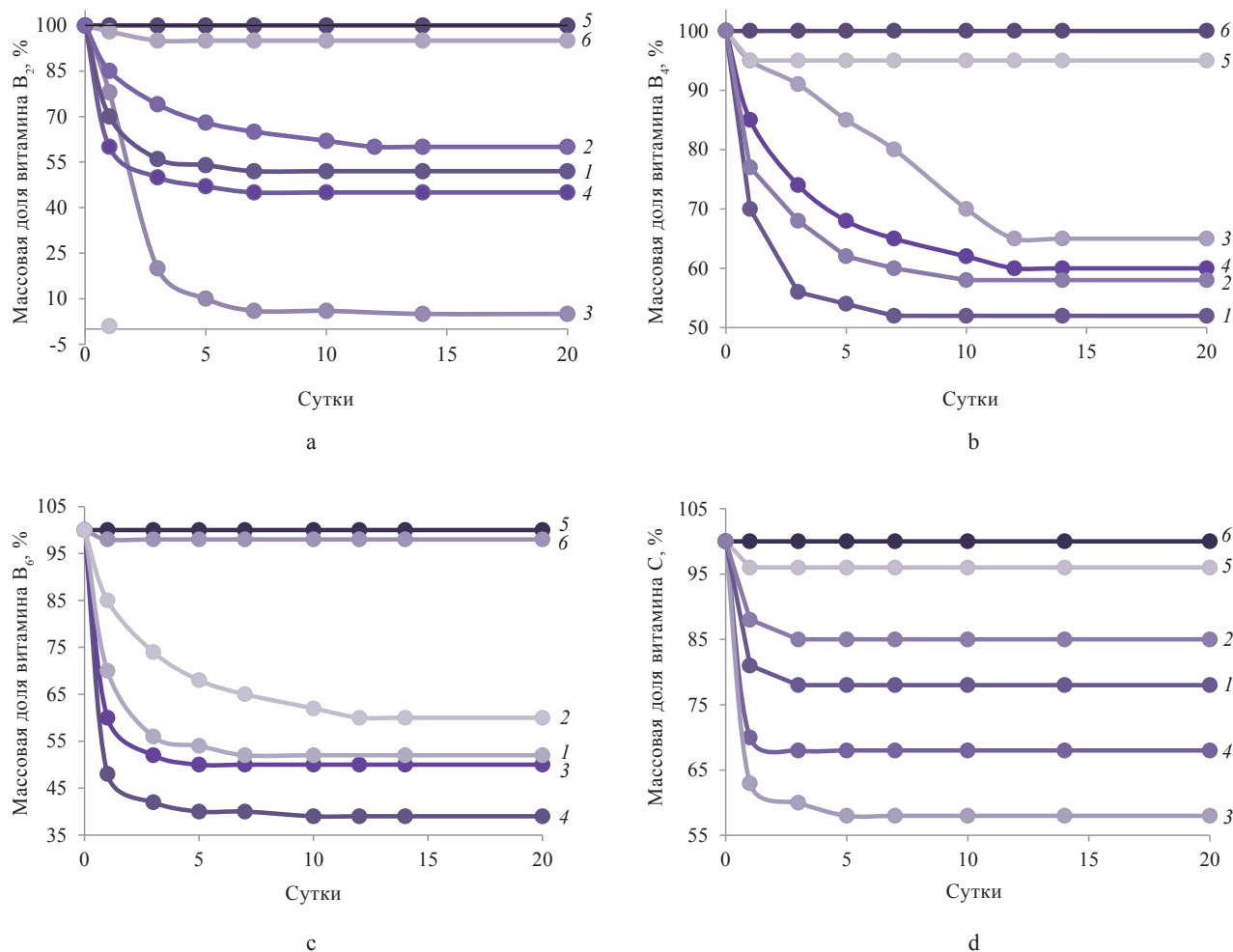


Рисунок 5. Стойкость витаминов В₂, В₄, В₆, С в водных ягодных концентратах облепихи, содержащих трилен (1), хлористый этилен (2), хлорфенол (3), гидроксибензол (4), трихлорметан (5) и без органических загрязнителей (6)

Figure 5. Vitamins B₂, B₄, B₆, and C in aqueous concentrates of sea buckthorn with triline (1), ethylene chloride (2), chlorophenol (3), hydroxybenzene (4), and trichloromethane (5) and without organic contaminants (6)

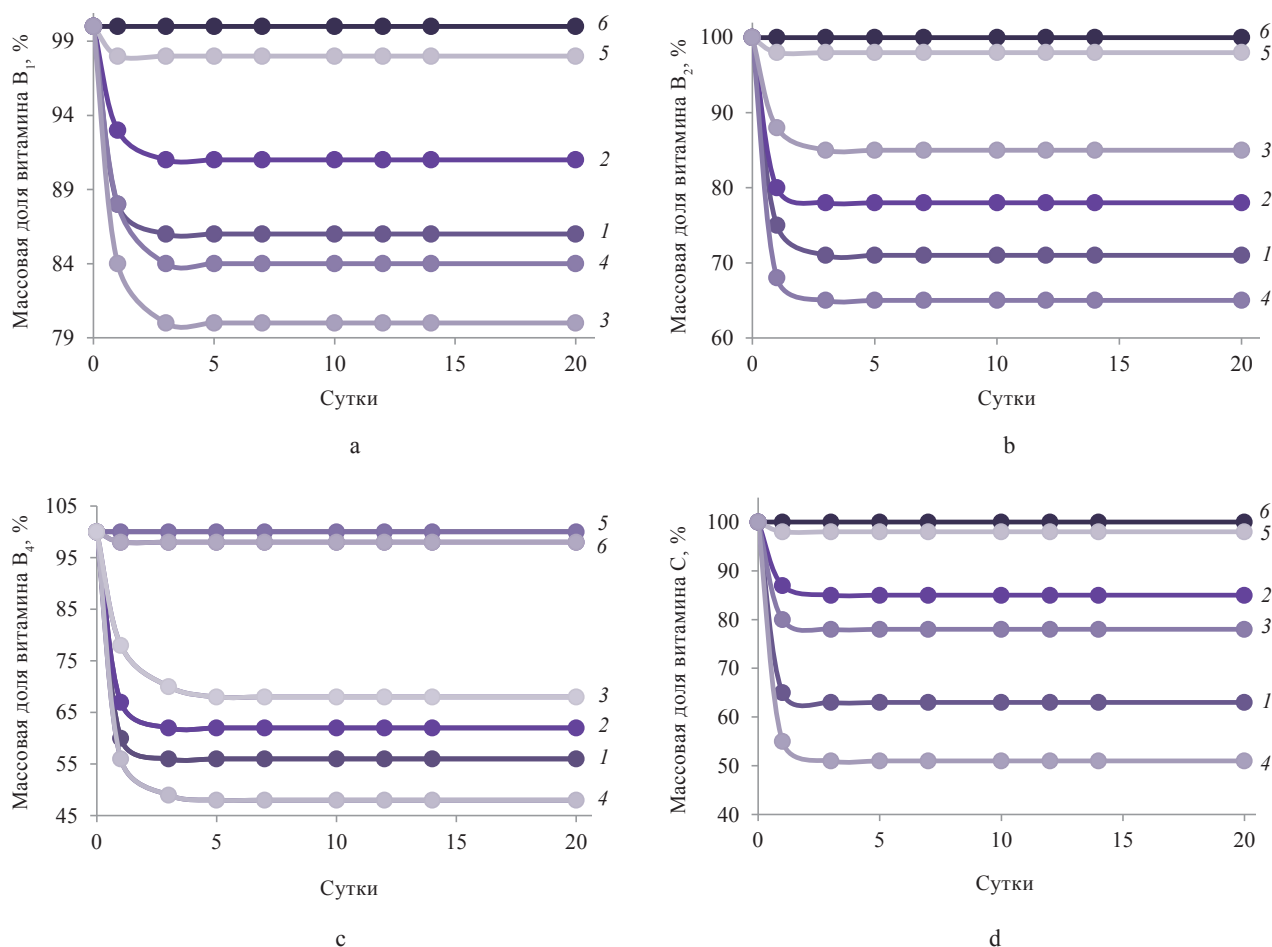


Рисунок 6. Стойкость витаминов В₁, В₂, В₄, С в водных ягодных концентратах клубники, содержащих трилен (1), хлористый этилен (2), хлорфенол (3), гидроксибензол (4), трихлорметан (5) и без органических загрязнителей (6)

Figure 6. Vitamins В₁, В₂, В₄, and С in aqueous concentrates of strawberry with triline (1), ethylene chloride (2), chlorophenol (3), hydroxybenzene (4), and trichloromethane (5) and without organic contaminants (6)

ретинола уменьшилось за весь период исследований на 25–32 % в присутствии трилена и гидроксибензола, на 7,5–14 % в присутствии хлористого этилена и хлорфенола. В водных концентратах из ягод апельсина и брусники зарегистрировано равномерное снижение содержания каротиноидов в присутствии хлористого этилена, трилена, гидроксибензола и хлорфенола на 25–27 %.

Исследовано содержание витамина С и витаминов группы В во всех образцах плодово-ягодных водных концентратов, произведенных на воде без органических загрязнителей (табл. 1) и при их наличии в воде. Сохранность витаминов в образцах на примере ягодных водных концентратов из клубники, черной смородины и облепихи в присутствии трихлорметана, гидроксибензола, хлорфенола, трилена и хлористого этилена представлена на рисунках 4–6. Экспериментальные исследования показали стабильность аскорбиновой кислоты

и витаминов группы В в течение всего периода исследований в ягодных и плодовых концентратах в присутствии трихлорметана. Снижение концентрации витаминов в плодовых и ягодных концентратах, приготовленных на воде, содержащей хлорорганические загрязнители, представлено в таблице 2.

На рисунках 7–10 представлены уравнения реакций, подтверждающие химическое взаимодействие витаминов соковой продукции и органических загрязнителей воды. Трилен способен взаимодействовать с витамином В₁ (рис. 7а), витамином В₂ (рис. 7б), витамином В₆ (рис. 7с) в результате реакции нуклеофильного присоединения загрязнителя и гетероциклических аминов [28]. Возможно химическое взаимодействие гидроксибензола, хлорфенола, содержащих гидроксильную группу, со спиртовой группой витаминов В₁, В₂, В₄ с протеканием реакций, представленных на рисунке 8.

Таблица 2. Стойкость витаминов в соковой продукции в присутствии загрязнителей в воде

Table 2. Vitamins in juice products based on contaminated water

Вита- мины	Фруктовые и ягодные концентраты								
	Арония черноплодная	Вишня	Апельсин	Крыжовник	Малина	Клюква	Брусника	Груша	Яблоко
Стойкость витаминов в водных плодово-ягодных концентратах в присутствии хлорфенола, %									
B ₁	67,00 ± 0,001	65,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	35,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	74,00 ± 0,001	45,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	64,00 ± 0,001
B ₂	0,00 ± 0,001	62,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	84,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	84,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	67,00 ± 0,001
B ₄	45,00 ± 0,001	59,00 ± 0,001	40,00 ± 0,001	–	74,00 ± 0,001	–	66,00 ± 0,001	76,00 ± 0,001	72,00 ± 0,001
B ₆	20,00 ± 0,001	–	–	50,00 ± 0,001	65,00 ± 0,001	92,00 ± 0,001	20,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	–
C	58,00 ± 0,001	64,00 ± 0,001	70,00 ± 0,001	68,00 ± 0,001	70,00 ± 0,001	60,00 ± 0,001	42,00 ± 0,001	60,00 ± 0,001	67,00 ± 0,001
Стойкость витаминов в водных плодово-ягодных концентратах в присутствии гидроксибензола, %									
B ₁	41,00 ± 0,001	72,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	12,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	68,00 ± 0,001	60,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	57,00 ± 0,001
B ₂	0,00 ± 0,001	82,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	78,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	78,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	52,00 ± 0,001
B ₄	60,00 ± 0,001	66,00 ± 0,001	35,00 ± 0,001	–	76,00 ± 0,001	–	65,00 ± 0,001	79,00 ± 0,001	48,00 ± 0,001
B ₆	32,00 ± 0,001	–	–	46,00 ± 0,001	62,00 ± 0,001	88,00 ± 0,001	30,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	–
C	64,00 ± 0,001	72,00 ± 0,001	65,00 ± 0,001	62,00 ± 0,001	75,00 ± 0,001	60,00 ± 0,001	62,00 ± 0,001	58,00 ± 0,001	52,00 ± 0,001
Стойкость витаминов в водных плодово-ягодных концентратах в присутствии трилена, %									
B ₁	65,00 ± 0,001	60,00 ± 0,001	88,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	74,00 ± 0,001	88,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	60,00 ± 0,001
B ₂	35,00 ± 0,001	74,00 ± 0,001	61,00 ± 0,001	79,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	84,00 ± 0,001	63,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	50,00 ± 0,001
B ₄	44,00 ± 0,001	56,00 ± 0,001	58,00 ± 0,001	–	82,00 ± 0,001	–	85,00 ± 0,001	84,00 ± 0,001	30,00 ± 0,001
B ₆	25,00 ± 0,001	–	–	0,00 ± 0,001	56,00 ± 0,001	91,00 ± 0,001	28,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	–
C	62,00 ± 0,001	68,00 ± 0,001	67,00 ± 0,001	69,00 ± 0,001	84,00 ± 0,001	65,00 ± 0,001	52,00 ± 0,001	32,00 ± 0,001	84,00 ± 0,001
Стойкость витаминов в водных плодово-ягодных концентратах в присутствии хлористого этилена, %									
B ₁	82,00 ± 0,001	68,00 ± 0,001	81,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	35,00 ± 0,001	79,00 ± 0,001	85,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	66,00 ± 0,001
B ₂	57,00 ± 0,001	64,00 ± 0,001	82,00 ± 0,001	81,00 ± 0,001	35,00 ± 0,001	89,00 ± 0,001	82,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	52,00 ± 0,001
B ₄	64,00 ± 0,001	52,00 ± 0,001	64,00 ± 0,001	–	92,00 ± 0,001	–	54,00 ± 0,001	90,00 ± 0,001	45,00 ± 0,001
B ₆	42,00 ± 0,001	–	–	12,00 ± 0,001	68,00 ± 0,001	87,00 ± 0,001	24,00 ± 0,001	0,00 ± 0,001	–
C	32,00 ± 0,001	70,00 ± 0,001	77,00 ± 0,001	71,00 ± 0,001	88,00 ± 0,001	72,00 ± 0,001	64,00 ± 0,001	38,00 ± 0,001	84,00 ± 0,001

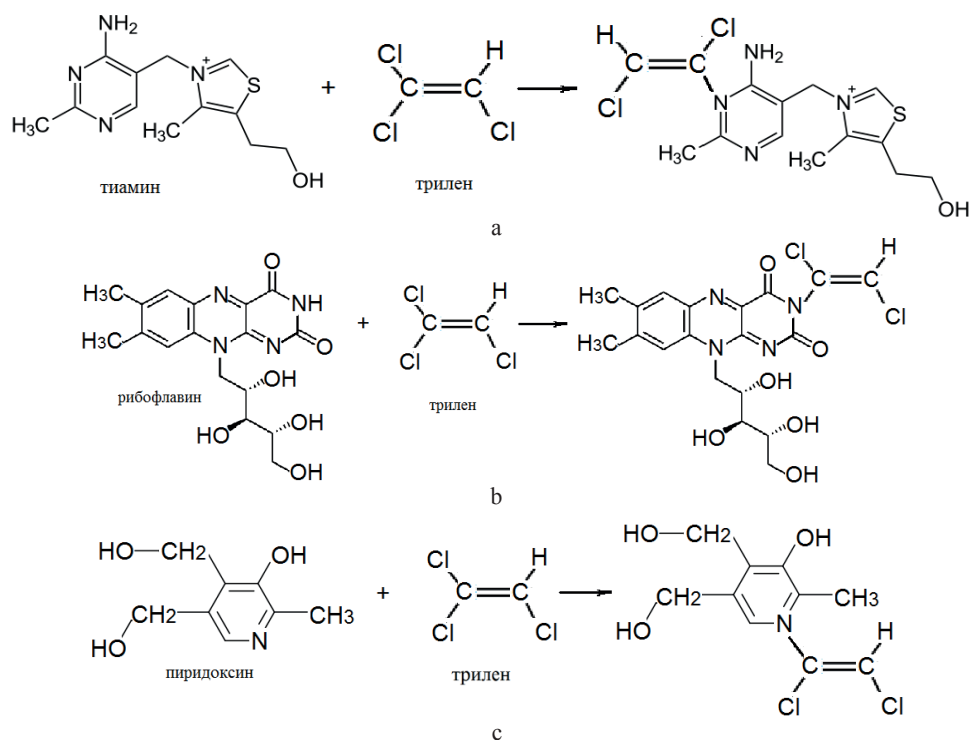


Рисунок 7. Взаимодействие трилена и витаминов в водных ягодных и фруктовых концентратах

Figure 7. Effect of triene on vitamins in aqueous concentrates

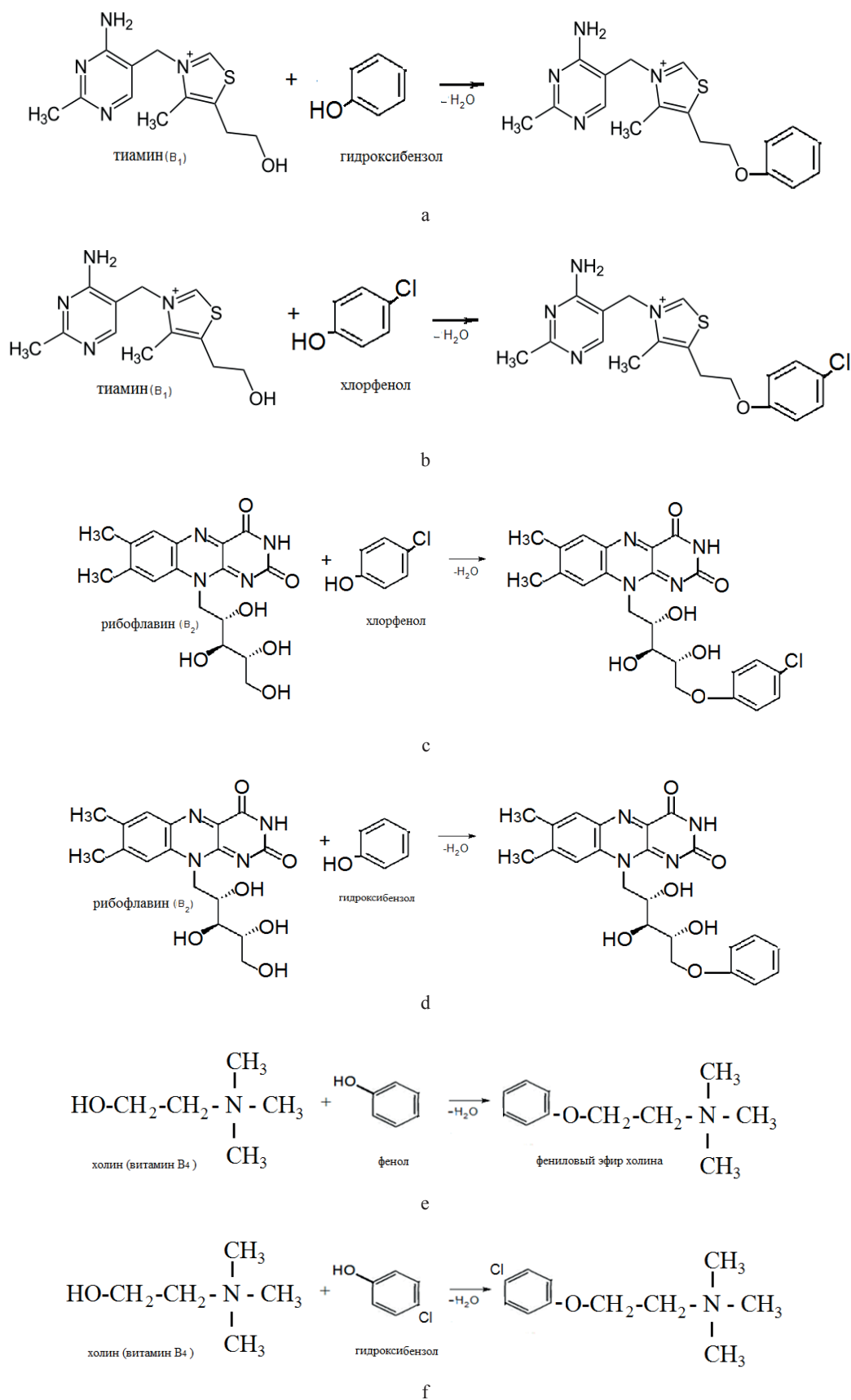


Рисунок 8. Взаимодействие гидроксибензола, хлорфенола и витаминов в водных ягодных и плодовых концентратах

Figure 8. Effect of hydroxybenzene and chlorophenol on vitamins in aqueous concentrates

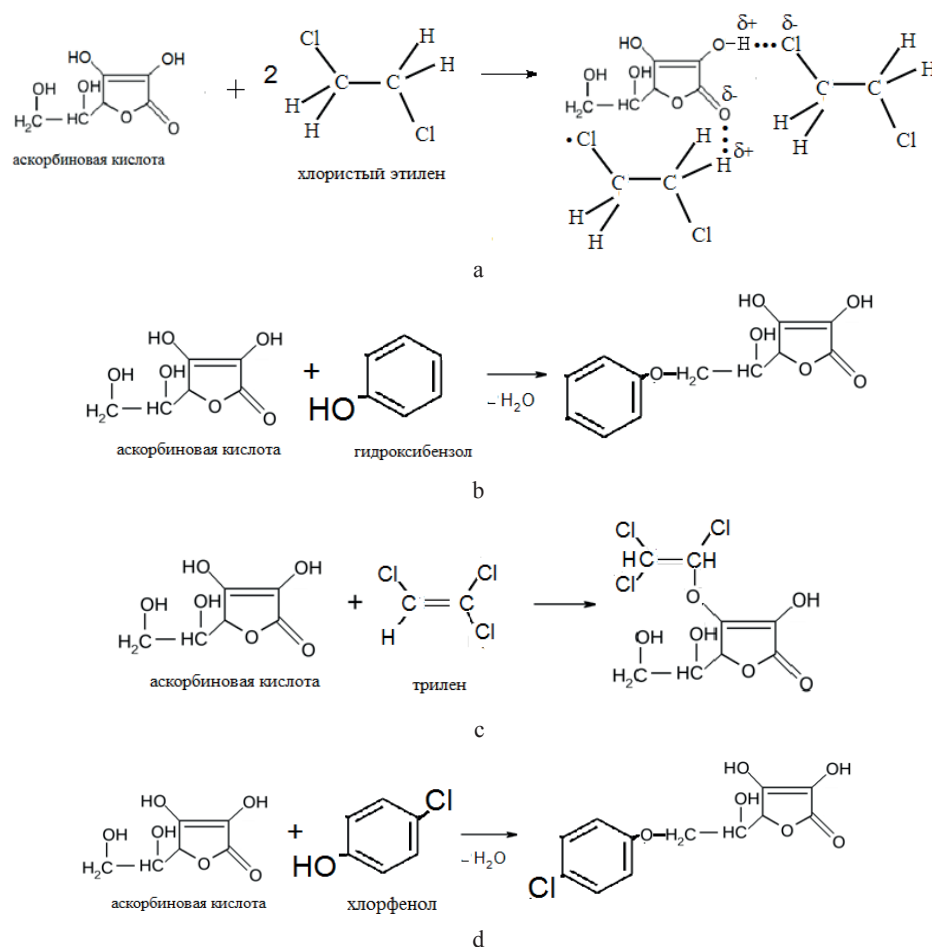


Рисунок 9. Взаимодействие загрязнителей и аскорбиновой кислоты в водных ягодных и плодовых концентратах

Figure 9. Effect of contaminants on ascorbic acid in aqueous concentrates

Трилен способен вступать в реакции с аскорбиновой кислотой по двойной связи с образованием соответствующих сложных эфиров (рис. 9а). Гидроксильная группа гидрохинона и хлорфенола взаимодействует с аскорбиновой кислотой с образованием соответствующих сложных эфиров (рис. 9б, в).

Для хлористого этилена характерны реакции образования водородной связи с водородом спиртовой группы и азотом ароматического кольца витаминов (рис. 9д, 10).

Химическое взаимодействие загрязнителей с витаминами подтверждено соответствующим уменьшением концентрации гидрохинона, хлорфенола, трилена и хлористого этилена в водных концентратах из ягод и плодов. Например, в процессе хранения водных концентратов аронии черноплодной, приготовленных на воде без органических примесей и с их присутствием, концентрация загрязнителей снизилась с 31,58 до 54,86 % (табл. 3). Схожие

результаты отмечены и в других исследуемых водных плодовых и ягодных концентратах в присутствии гидрохинона, хлорфенола, трилена и хлористого этилена.

Выводы

Проведенное исследование показало, что трихлорметан, накапливающийся в воде в процессе водоподготовки, не взаимодействует с витаминами соковой продукции; гидрохинон, хлорфенол, трилен и хлористый этилен, помимо ухудшения показателей безопасности, снижают концентрацию витамина С и витаминов группы В водных плодово-ягодных концентратов, используемых при производстве нектаров. Химическое взаимодействие хлорорганических загрязнителей воды и витаминов соковой продукции подтверждено уравнениями химических реакций. Следовательно, используемое в производстве нектаров сырье (вода) требует предварительной дополнительной очистки.

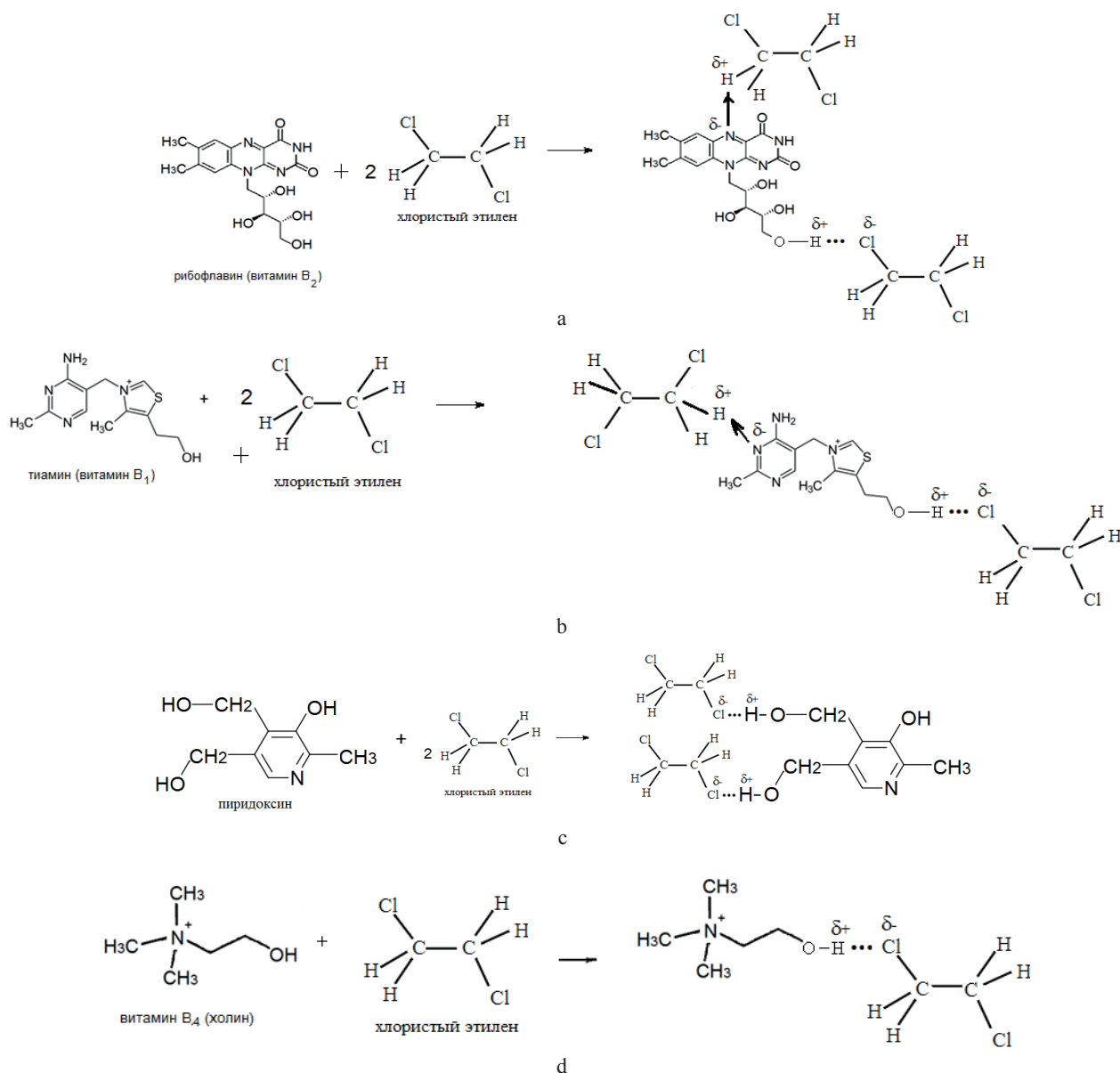


Рисунок 10. Взаимодействие хлористого этилена и витаминов в водных ягодных и плодовых концентратах

Figure 10. Effect of ethylene chloride on vitamins in aqueous concentrates

Таблица 3. Содержание загрязнителей в водных концентратах из аронии черноплодной

Table 3. Content of contaminants in aqueous concentrates of chokeberry

Продолжи- тельность хранения, ч	Содержание загрязнителей в водных концентратах из аронии черноплодной, %					
	Вода без загрязнителей	Трихлорметан	Трилен	Хлористый этилен	Гидрокси- бензол	Хлорфенол
24	100,00 ± 0,001	100,00 ± 0,001	89,47 ± 0,001	84,21 ± 0,001	54,88 ± 0,001	59,42 ± 0,005
72	100,00 ± 0,001	100,00 ± 0,001	73,68 ± 0,001	68,42 ± 0,001	46,88 ± 0,001	57,68 ± 0,005
120	100,00 ± 0,001	100,00 ± 0,001	70,00 ± 0,001	64,15 ± 0,001	46,36 ± 0,001	55,90 ± 0,005
168	100,00 ± 0,001	100,00 ± 0,001	68,42 ± 0,001	64,15 ± 0,001	46,16 ± 0,001	55,90 ± 0,005
240	100,00 ± 0,001	100,00 ± 0,001	68,42 ± 0,001	64,15 ± 0,001	45,36 ± 0,001	55,90 ± 0,005
360	100,00 ± 0,001	100,00 ± 0,001	68,42 ± 0,001	64,15 ± 0,001	45,16 ± 0,001	55,90 ± 0,005
480	100,00 ± 0,001	100,00 ± 0,001	68,42 ± 0,001	64,15 ± 0,001	45,18 ± 0,005	55,90 ± 0,005

Критерии авторства

В. П. Юстратов руководил работой. Все авторы принимали участие в исследованиях и обработке данных и написании текста.

Contribution

V.P. Yustratov supervised the project. All the authors are equally responsible for the research procedure, data processing, and manuscript.

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. Тутельян В. А., Батурин А. К. Безопасность пищевых продуктов – приоритет инновационного развития АПК и формирования у населения здорового типа питания // Продовольственная независимость России. Т. 1 / А. В. Гордеев. М.: Технология ЦД, 2016. С. 113–144.
2. Conventional and food-to-food fortification: An appraisal of past practices and lessons learned / F. J. Chadare [et al.] // Food Science and Nutrition. 2019. Vol. 7. № 9. P. 2781–2795. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1133>.
3. Fortification and health: Challenges and opportunities / J. T. Dwyer [et al.] // Advances in Nutrition. 2015. Vol. 6. № 1. P. 124–131. <https://doi.org/10.3945/an.114.007443>.
4. Иветич М., Горелкина А. К. Снижение контаминации воды для обеспечения качества и безопасности продукции пищевых предприятий // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50. № 3. С. 515–524. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-515-524>.
5. Рынок безалкогольных напитков: состояние и перспективы развития / Ю. Н. Клещевский [и др.] // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. 2018. № 4. С. 86–94. <https://doi.org/10.21603/2500-3372-2018-4-86-94>.
6. Fat-soluble vitamin intestinal absorption: Absorption sites in the intestine and interactions for absorption / A. Goncalves [et al.] // Food Chemistry. 2015. Vol. 172. P. 155–160. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.021>.
7. Harrison E. H., Kopec R. E. Digestion and intestinal absorption of dietary carotenoids and vitamin A // Physiology of the gastrointestinal tract / editor H. M. Said. Academic Press, 2018. P. 1133–1151. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809954-4.00050-5>.
8. Production of vegetable “milk” from oil cakes using ultrasonic cavitation / E. Yu. Egorova [et al.] // Foods and Raw Materials. 2017. Vol. 5. № 2. P. 24–35. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-24-35>.
9. Биологически активные вещества *Vitis amurensis* Rupr. для профилактики преждевременного старения / Ю. А. Праскова [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>.
10. Nanotechnology: A novel tool to enhance the bioavailability of micronutrients / R. Arshad [et al.] // Food Science and Nutrition. 2021. Vol. 9. № 6. P. 3354–3361. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2311>.
11. Physicochemical properties and bioavailability of naturally formulated fat-soluble vitamins extracted from agricultural products for complementary use for natural vitamin supplements / H. J. Lee [et al.] // Food Science and Nutrition. 2020. Vol. 8. № 10. P. 5660–5672. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1804>.
12. Verma A. Food fortification: A complementary strategy for improving micronutrient malnutrition (MNM) status // Food Science Research Journal. 2015. Vol. 6. № 2. P. 381–389. <https://doi.org/10.15740/HAS/FSRJ/6.2/381-389>.
13. *In vitro* bioaccessibility of β -carotene, Ca, Mg and Zn in landrace carrots (*Daucus carota*, L.) / F. Zaccari [et al.] // Food Chemistry. 2015. Vol. 166. P. 365–371. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.051>.
14. Determination of the intensity of bacteriocin production by strains of lactic acid bacteria and their effectiveness / M. I. Zimina [et al.] // Foods and Raw Materials. 2017. Vol. 5. № 1. P. 108–117. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2017-1-108-117>.
15. Просеков А. Ю. Ретроспективы голода: уроки прошлого и вызовы будущего // Техника и технология пищевых производств. 2017. Т. 47. № 4. С. 5–20. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2017-4-5-20>.
16. Medicinal plants to strengthen immunity during a pandemic / O. Babich [et al.] // Pharmaceuticals. 2020. Vol. 13. № 10. <https://doi.org/10.3390/ph13100313>.
17. Effect of priority drinking water contaminants on the quality indicators of beverages during their production and storage / T. A. Krasnova [et al.] // Foods and Raw Materials. 2018. Vol. 6. № 1. P. 230–241. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-230-241>.

18. Zhang X., Liu Y. Potential toxicity and implication of halogenated byproducts generated in MBR online-cleaning with hypochlorite // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2019. Vol. 95. № 1. P. 20–26. <https://doi.org/10.1002/jctb.6199>.
19. Campbell I. Macronutrients, minerals, vitamins and energy // *Anaesthesia and Intensive Care Medicine*. 2017. Vol. 18. № 3. P. 141–146. <https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2016.11.014>.
20. Conventional and food-to-food fortification: An appraisal of past practices and lessons learned / F. J. Chadare [et al.] // *Food Science and Nutrition*. 2019. Vol. 7. № 9. P. 2781–2795. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1133>.
21. Food fortification as a complementary strategy for the elimination of micronutrient deficiencies: Case studies of large scale food fortification in two Indian States / S. Bhagwat [et al.] // *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. 2014. Vol. 23. P. S4–S11. <https://doi.org/10.6133/apjcn.2014.23.s1.03>.
22. Ramakrishnan U., Goldenberg T., Allen L. H. Do multiple micronutrient interventions improve child health, growth, and development? // *The Journal of Nutrition*. 2011. Vol. 141. № 11. P. 2066–2075. <https://doi.org/10.3945/jn.111.146845>.
23. Timoshchuk I. V. Technology of afterpurification of drinking water from organic contaminants in production of foodstuff // *Foods and Raw Materials*. 2016. Vol. 4. № 1. P. 61–69. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-61-69>.
24. Dziomba S., Kowalski P., Baczek T. Field-amplified sample stacking-sweeping of vitamins B determination in capillary electrophoresis // *Journal of Chromatography A*. 2012. Vol. 1267. P. 224–230. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.07.068>.
25. Resolution-optimized headspace gas chromatography-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS) for non-targeted olive oil profiling / N. Gerhardt [et al.] // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2017. Vol. 409. № 16. P. 3933–3942. <https://doi.org/10.1007/s00216-017-0338-2>.
26. Determination of volatile organic compounds by HS-GC-IMS to detect different stages of *Aspergillus flavus* infection in Xiang Ling walnut / S. Wang [et al.] // *Food Science and Nutrition*. 2021. Vol. 9. № 5. P. 2703–2712. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2229>.
27. Ion mobility spectrometry coupled to gas chromatography: A rapid tool to assess eggs freshness / D. Cavanna [et al.] // *Food Chemistry*. 2018. Vol. 271. P. 691–696. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.204>.
28. Кабердин Р. В., Поткин В. И. Трихлорэтилен в органическом синтезе // *Успехи химии*. 1994. Т. 63. № 8. С. 673–692.

References

1. Tutel'yan VA, Baturin AK. Bezopasnost' pishchevykh produktov – prioritet innovatsionnogo razvitiya APK i formirovaniya u naseleniya zdorovogo tipa pitaniya [Food safety as a priority of the innovative development of the agro-industrial complex and a healthy diet among the population]. In: Gordeev AV, editor. *Prodovol'stvennaya nezavisimost' Rossii*. T. 1 [Food independence of Russia. Vol. 1]. Moscow: Tekhnologiya TSD; 2016. pp. 113–144. (In Russ.).
2. Chadare FJ, Idohou R, Nago E, Affonfere M, Agossadou J, Fassinou TK, et al. Conventional and food-to-food fortification: An appraisal of past practices and lessons learned. *Food Science and Nutrition*. 2019;7(9):2781–2795. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1133>.
3. Dwyer JT, Wiemer KL, Dary O, Keen CL, King JC, Miller KB, et al. Fortification and health: Challenges and opportunities. *Advances in Nutrition*. 2015;6(1):124–131. <https://doi.org/10.3945/an.114.007443>.
4. Ivetich M, Gorelkina AK. Reducing water contamination to ensure the quality and safety of food products. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(3):515–524. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-515-524>.
5. Kleshchevsky YuN, Kartashova LV, Nikolaeva MA, Ryazanova OA. The market of soft drinks: State and development prospects. *Bulletin of Kemerovo State University. Series: Political, Sociological and Economic Sciences*. 2018;(4):86–94. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2500-3372-2018-4-86-94>.
6. Goncalves A, Roi S, Nowicki M, Dhaussy A, Huertas A, Amiot M-J, et al. Fat-soluble vitamin intestinal absorption: Absorption sites in the intestine and interactions for absorption. *Food Chemistry*. 2015;172:155–160. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.021>.
7. Harrison EH, Kopec RE. Digestion and intestinal absorption of dietary carotenoids and vitamin A. In: Said HM, editor. *Physiology of the gastrointestinal tract*. Academic Press; 2018. pp. 1133–1151. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809954-4.00050-5>.
8. Egorova EYu, Khmelev VN, Morozhenko YuV, Reznichenko IYu. Production of vegetable “milk” from oil cakes using ultrasonic cavitation. *Foods and Raw Materials*. 2017;5(2):24–35. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-24-35>.
9. Praskova JuA, Kiseleva TF, Reznichenko IYu, Frolova NA, Shkrabak 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>.
10. Arshad R, Gulshad L, Haq I-U, Farooq MA, Al-Farga A, Siddique R, et al. Nanotechnology: A novel tool to enhance the bioavailability of micronutrients. *Food Science and Nutrition*. 2021;9(6):3354–3361. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2311>.

11. Lee HJ, Shin C, Chun YS, Kim J, Jung H, Choung J, et al. Physicochemical properties and bioavailability of naturally formulated fat-soluble vitamins extracted from agricultural products for complementary use for natural vitamin supplements. *Food Science and Nutrition*. 2020;8(10):5660–5672. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1804>.
12. Verma A. Food fortification: A complementary strategy for improving micronutrient malnutrition (MNM) status. *Food Science Research Journal*. 2015;6(2):381–389. <https://doi.org/10.15740/HAS/FSRJ/6.2/381-389>.
13. Zaccari F, Cabrera MC, Ramos A, Saadoun A. *In vitro* bioaccessibility of β -carotene, Ca, Mg and Zn in landrace carrots (*Daucus carota*, L.). *Food Chemistry*. 2015;166:365–371. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.051>.
14. Zimina MI, Gazieva AF, Pozo-Dengra J, Noskova SYu, Prosekov AYU. Determination of the intensity of bacteriocin production by strains of lactic acid bacteria and their effectiveness. *Foods and Raw Materials*. 2017;5(1):108–117. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2017-1-108-117>.
15. Prosekov AYU. Famine in retrospect: past experience and future challenges. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2017;47(4):5–20. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2017-4-5-20>.
16. Babich O, Sukhikh S, Prosekov A, Asyakina L, Ivanova S. Medicinal plants to strengthen immunity during a pandemic. *Pharmaceuticals*. 2020;13(10). <https://doi.org/10.3390/ph13100313>.
17. Krasnova TA, Timoshchuk IV, Gorelkina AK, Belyaeva OV. Effect of priority drinking water contaminants on the quality indicators of beverages during their production and storage. *Foods and Raw Materials*. 2018;6(1):230–241. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-230-241>.
18. Zhang X, Liu Y. Potential toxicity and implication of halogenated byproducts generated in MBR online-cleaning with hypochlorite. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2019;95(1):20–26. <https://doi.org/10.1002/jctb.6199>.
19. Campbell I. Macronutrients, minerals, vitamins and energy. *Anaesthesia and Intensive Care Medicine*. 2017;18(3):141–146. <https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2016.11.014>.
20. Chadare FJ, Idohou R, Nago E, Affonfere M, Agossadou J, Fassinou TK, et al. Conventional and food-to-food fortification: An appraisal of past practices and lessons learned. *Food Science and Nutrition*. 2019;7(9):2781–2795. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1133>.
21. Bhagwat S, Gulati D, Sachdeva R, Sankar S. Food fortification as a complementary strategy for the elimination of micronutrient deficiencies: Case studies of large scale food fortification in two Indian States. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. 2014;23:S4–S11. <https://doi.org/10.6133/apjcn.2014.23.s1.03>.
22. Ramakrishnan U, Goldenberg T, Allen LH. Do multiple micronutrient interventions improve child health, growth, and development? *The Journal of Nutrition*. 2011;141(11):2066–2075. <https://doi.org/10.3945/jn.111.146845>.
23. Timoshchuk IV. Technology of afterpurification of drinking water from organic contaminants in production of foodstuff. *Foods and Raw Materials*. 2016;4(1):61–69. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-61-69>.
24. Dziomba S, Kowalski P, Baczek T. Field-amplified sample stacking-sweeping of vitamins B determination in capillary electrophoresis. *Journal of Chromatography A*. 2012;1267:224–230. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.07.068>.
25. Gerhardt N, Birkenmeier M, Sanders D, Rohn S, Weller P. Resolution-optimized headspace gas chromatography-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS) for non-targeted olive oil profiling. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2017;409(16):3933–3942. <https://doi.org/10.1007/s00216-017-0338-2>.
26. Wang S, Mo H, Xu D, Hu H, Hu L, Shuai L, et al. Determination of volatile organic compounds by HS-GC-IMS to detect different stages of *Aspergillus flavus* infection in Xiang Ling walnut. *Food Science and Nutrition*. 2021;9(5):2703–2712. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2229>.
27. Cavanna D, Zanardi S, Dall'Asta C, Suman M. Ion mobility spectrometry coupled to gas chromatography: A rapid tool to assess eggs freshness. *Food Chemistry*. 2018;271:691–696. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.204>.
28. Kabardin RV, Potkin VI. Trichloroethylene in organic synthesis. *Russian Chemical Reviews*. 1994;63(8):673–692. (In Russ.).

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», 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 – редколлекцией 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 Microsoft Office 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://fppt.ru> или отправив на e-mail fppt98@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://fppt.ru>.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3><http://fptt.ru/>

Колонка редактора	433	Старченко Е. Н., Вержицкий Д. Г. Оценка биржевых вариантов привлечения внешнего финансирования субъектами малого и среднего предпринимательства	549
Куракин М. С., Ожерельева А. В., Мотырева О. Г., Крапива Т. В. Новый подход при разработке продукции для предприятий индустрии питания	434	Танашикина Т. В., Пьянкова А. Ф., Семенюта А. А., Кантемиров А. В., Приходько Ю. В. Гречишные травяные чайные напитки: сырье, способы получения и оценка биологической активности	564
Агеева Н. М., Ширишова А. А., Тихонова А. Н. Влияние спиртового и яблочно-молочного брожения на содержание биогенных аминов в винах	449	Никифорова А. П., Хазагаева С. Н., Хамагаева И. С. Исследование устойчивости <i>Lactobacillus sakei</i> к осмотическому стрессу	574
Беляева Л. И., Пружин М. К., Остапенко А. В., Гурова В. Н. Улучшение технологических индикаторов полуфабрикатов производства сахара из бактериально инфицированной сахарной свеклы	458	Кондратенко В. В., Посокина Н. Е., Колоколова А. Ю., Захарова А. И. Развитие молочнокислых микроорганизмов при ферментировании субстрата с повышенной концентрацией углеводов	584
Гурьев С. С., Попов В. С. Изучение свойств заквасок, приготовленных на основе нетрадиционных видов муки	470	Шафрай А. В., Сафонова Е. А., Бородулин Д. М., Головачева Я. С., Ратников С. А., Керлос В. Б. В. Моделирование процесса интенсификации экстракции изогумуллона в роторно-пульсационном аппарате при помощи нейронных сетей	593
Дубинина Е. В., Крикунова Л. Н., Песчанская В. А., Тришканева М. В. Научные аспекты разработки идентификационных критериев дистиллятов из фруктового сырья	480	Шобанова Т. В., Творогова А. А. Влияние замены сахарозы глюкозно-фруктозным сиропом на показатели качества мороженого пломбир	604
Кольберг Н. А., Тихонова Н. В., Тихонов С. Л., Леонтьева С. А. Разработка и влияние добавки из лимфоидной ткани птицы на жизнеспособность клеток в культуре	492	Хвостов А. А., Магомедов Г. О., Рязских В. И., Ковалев А. В., Журавлев А. А., Магомедов М. Г. Параметрическая идентификация реологической модели Карро с использованием регуляризации А. Н. Тихонова на основе CFD-модели	615
Илларионова Е. Е., Кручинин А. Г., Туровская С. Н., Бигаева А. В. Методы оценки свертываемости белков молока в системе прогнозирования технологических свойств	503	Гернет М. В., Грибкова И. Н., Борисенко О. А., Захаров М. А., Захарова В. А. Исследование миграции полифенолов хмеля в технологии пива при различных способах охмеления	628
Макаров С. С., Родин С. А., Кузнецова И. Б., Чудецкий А. И., Цареградская С. Ю. Влияние освещения на ризогенез ягодных растений при клональном микроразмножении	520	Юстратов В. П., Тимошук И. В., Горелкина А. К., Гора Н. В., Голубева Н. С., Остапова Е. В. Исследование влияния контаминации воды на сохранность витаминов в соковой продукции	639
Скоблякова И. В., Ефремова С. М. Формирование индикаторов оценки эффективности использования человеческого капитала в пищевой промышленности	529		
Зяйнитдинов Д. Р., Евтеев А. В., Банникова А. В. Изучение комплекса свойств полифенолов и ксилоолигосахаридов, полученных путем биотехнологии вторичного сырья просо	538		

CONTENTS

Editor's Column	433	Starchenko Elena N., Verzhitskii Danil G. Assessment of Exchange Options for Attracting External Financing by Small and Medium Businesses	549
Kurakin Mikhail S., Ozherel'eva Anastasia V., Motyрева Olga G., Krapiva Tatyana V. A New Approach to the Development of Food Products	434	Tanashkina Tatiana V., Piankova Alena F., Semenyuta Anna A., Kantemirov Alexey V., Prikhodko Yuri V. Buckwheat Grass Tea Beverages: Raw Materials, Production Methods, and Biological Activity	564
Ageyeva Natalia M., Shirshova Anastasia A., Tikhonova Anastasia N. Influence of Alcoholic and Malolactic Fermentation on the Level of Biogenic Amines in Wine	449	Nikiforova Anna P., Khazagaeva Sofia N., Khamagaeva Irina S. Tolerance of <i>Lactobacillus sakei</i> to Osmotic Stress	574
Belyaeva Lubov I., Pruzhin Michail K., Ostapenko Alla V., Gurova Valentina N. Improvement of Technological Indicators of Semi-Finished Products of Sugar Production from Bacterially Infected Sugar Beet	458	Kondratenko Vladimir V., Posokina Natalia E., Kolokolova Anastasiya Yu., Zakharova Anna I. Development of Lactic acid Microorganisms during Fermentation of Substrate with an Increased Concentration of Carbohydrates	584
Gur'ev Sergey S., Popov Vitaly S. Properties of Starter Cultures Based on Non-Traditional Flours	470	Shafrai Anton V., Safonova Elena A., Borodulin Dmitry M., Golovacheva Yana S., Ratnikov Sergey A., Kerlos Wasfie Barsoom Wasef. Neuron Network Modeling of Intensification of Isogumulone Extraction in a Rotary Pulse Generator	593
Dubinina Elena V., Krikunova Ludmila N., Peschanskaya Violetta A., Trishkaneva Marina V. Scientific Aspects of Identification Criteria for Fruit Distillates	480	Shobanova Tatyana V., Tvorogova Antonina A. The Effect of Replacing Sucrose with Glucose-Fruit Syrup on the Quality Indicators of Plombières Ice-Cream	604
Kolberg Natalia A., Tikhonova Natalia V., Tikhonov Sergei L., Leontieva Svetlana A. Effect of Dietary Supplement from Lymphoid Tissue of Chickens on Cell Viability	492	Khvostov Anatoly A., Magomedov Gazibeg O., Ryazhskih Victor I., Kovalev Aleksey V., Zhuravlev Aleksey A., Magomedov Magomed G. Carreau's Rheological Model and A.N. Tikhonov's Regularization Method: Parametric Identification Based on a CFD model	615
Illarionova Elena E., Kruchinin Alexandr G., Turovskaya Svetlana N., Bigaeva Alana V. Methods of Assessing Milk Proteins Coagulation as a Part of the Forecasting System of Technological Properties	503	Gernet Marina V., Gribkova Irina N., Borisenko Olga A., Zakharov Maxim A., Zakharova Varvara A. Migration of Hop Polyphenols in Beer Technology: Model Solution for Various Hopping Methods	628
Makarov Sergey S., Rodin Sergey A., Kuznetsova Irina B., Chudetsky Anton I., Tsaregradskaya Svetlana Yu. Effect of Light on Rhizogenesis of Forest Berry Plants during Clonal Micropropagation	520	Yustratov Vladimir P., Timoshchuk Irina V., Gorelkina Alena K., Gora Natalia V., Golubeva Nadezhda S., Ostapova Elena V. Effect of Water Contamination on the Preservation of Vitamins in Juices	639
Skobliakova Irina V., Efremova Svetlana M. Formation of Indicators for Assessing the Effectiveness of the Use of Human Capital in the Food Industry	529		
Zyaynitdinov Damir R., Ewteev Alexandr V., Bannikova Anna V. Properties of Polyphenols and Xylooligosaccharides Obtained Biotechnologically from Processed Millets	538		