

Техника и технология пищевых производств

Food Processing: Techniques and Technology



Том 50
Номер 4
2020

ISSN 2074-9414
E-ISSN 2313-1748

Национальный, рецензируемый научный журнал, посвященный вопросам пищевой промышленности.

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 феде-

рального 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 ре-

дакцию), 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://fppt.ru>.

Главный редактор:

А.Ю. Просеков, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия.

Зам. главного редактора:

А.Н. Петров, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования, Видное, Россия;

О.О. Бабич, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия.

Редакционная коллегия:

В.В. Бахарев, Самарский государственный технический университет, Самара, Россия;

С.М. Бычкова, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Пушкин, Россия;

А.Г. Галстян, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия;

И.А. Ганиева, АНО Научно-образовательный центр «Кузбасс», Кемерово, Россия;

И.Ф. Горлов, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия;

Г.М. Гриценко, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Новосибирская обл., Россия;

Н.И. Дунченко, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия;

И.А. Евдокимов, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия;

Ж.С. Есимбеков, Университет имени Шакарима города Семей, Семей, Казахстан;

А.В. Заушницена, 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. Храпцов, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия.

Материалы публикуются на условиях лицензии CC BY 4.0.

Выпускающий редактор А.И. Лосева

Ответственный за выпуск А.А. Кирякова

Литературный редактор А.Ю. Курникова

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

Дизайн и компьютерная верстка М.В. Горбунова

Адрес редакции и издателя: КемГУ, 650000, Россия, Кемеровская обл., г. Кемерово, Красная, 6, тел.: +7 (3842) 58-80-24, e-mail: fppt98@gmail.com.

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

Учредитель: КемГУ, 650000, Россия, Кемеровская обл., г. Кемерово, Красная, 6. © КемГУ, 2020.

Дата выхода в свет 25.12.20.

Усл. п. л. 23,33, уч.-изд. л. 44,52. 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.

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'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://fppt.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, Research and Academic Centre

“Kuzbass”, Kemerovo, Russia;

Ivan F. Gorlov, Povolzhsky Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia;

Galina M. Gritsenko, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk reg., Russia;

Nina I. Dunchenko, Timiryazev Russian State Agrarian University, Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russia;

Ivan A. Evdokimov, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia;

Zhanibek S. Yessimbekov, Shakarim University of Semey, Semey, Kazakhstan;

Alexandra V. Zaushintsena, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia;

Vladimir G. Lobanov, Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia;

Gazibeg O. Magomedov, Voronezh State University of Engineering Technology, Voronezh, Russia;

Vasily N. Popov, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia;

Sergei L. Tikhonov, Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia;

Olga A. Frolova, Nizhni Novgorod 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. Kiryakova, Script Editor A.Yu. Kurnikova, Script Editor (Eng) N.V. Rabkina, Layout of Journal M.V. Gorbunova.

Founder and publisher: KemSU, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7(3842) 58-80-24, e-mail: fppt98@gmail.com.

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

Founder: KemSU, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia. © 2020, KemSU.

Date of issue December 25, 20.

Printed sheet 23,33, conventional printed sheet 44,52. 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.

Биоэтические проблемы развития генетических технологий в Российской Федерации обсудили на научной конференции в Москве



10–11 ноября в Москве состоялась научная конференция «Биоэтические проблемы развития генетических технологий в Российской Федерации», организатором которой выступил Кемеровский государственный университет при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Центра генетических исследований мирового уровня по обеспечению биологической безопасности и технологической независимости, Российской Ассоциации Репродукции Человека, Центра охраны здоровья семьи и репродукции «Красная Горка» и Всероссийского научно-исследовательского и технологического института птицеводства РАН.

Во время официального открытия конференции с приветственным словом выступили член-корреспондент РАН, доктор технических наук, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, ректор Кемеровского государственного университета Александр Юрьевич Просеков; доктор медицинских наук, профессор, руководитель организации-координатора Центра геномных исследований мирового уровня, директор Государственного научного центра прикладной микробиологии и биотехнологии Роспотребнадзора Российской Федерации Иван Алексеевич Дятлов; профессор, генеральный директор Акционерного общества «Международный центр репродуктивной медицины», президент Российской Ассоциации Репродукции Человека Владислав Станиславович Корсак; академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, научный руководитель Поволжского научно-исследовательского института производства и переработки мясомолочной продукции, заведующий кафедрой технологии пищевых производств Волгоградского государственного технического университета Иван Федорович Горлов; учредитель ООО «ЦОЗСР» «Красная Горка» города Кемерово Станислав Андреевич Притчин.

В рамках конференции прошли пленарные, секционные заседания и круглые столы по двум научным направлениям: «Биоэтические аспекты генетических технологий в медицине» и «Технологии генетики для развития отраслей АПК». Междисциплинарная тематика конференции привлекла внимание не только исследователей-биотехнологов, управленцев в сфере агропромышленного

комплекса страны, но и представителей правоохранительных органов, практикующих экспертов в области медицины. В конференции приняли участие представители 4 стран и 19 регионов России.

В ходе работы ведущие учёные, представители молодёжи и органов власти обсудили достижения российских исследователей в сфере эффективности технологии генетики для развития отраслей агропромышленного комплекса страны. Были рассмотрены вопросы развития птицеводства, разработки и производства мясной и молочной продукции, создания селекционного материала растений, повышения эффективности селекции в свиноводстве, которые входят в широкий спектр проблем на стыке генетики, медицины и АПК.

По направлению «Технологии генетики для развития отраслей АПК» свои доклады представили академик РАН, доктор биологических наук, профессор, директор Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной биотехнологии Геннадий Ильич Карлов; академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, научный руководитель Поволжского научно-исследовательского института производства и переработки мясомолочной продукции, заведующий кафедрой технологии пищевых производств Волгоградского государственного технического университета Иван Федорович Горлов; член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, директор Поволжского научно-исследовательского института производства и переработки мясомолочной продукции, профессор кафедры технологии пищевых производств Волгоградского государственного технического университета Марина Ивановна Соложенкина; доктор сельскохозяйственных наук, директор Федерального исследовательского центра картофеля им. А. Г. Лорха Сергей Валентинович Жевора; доктор биологических наук, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского и технологического института птицеводства РАН Людмила Георгиевна Коршунова и другие исследователи.

Участники конференции пришли к выводу, что современные генетические технологии позволяют обеспечить стабильный рост сельскохозяйственного производства за счет использования новых отечественных сортов семян и селекционного материала, технологий, кормовых добавок, ветеринарных препаратов, средств защиты растений. Всего того, что сейчас поставляется из-за рубежа. Достижения, полученные учёными, могут использоваться широким кругом компаний на благо всей отрасли, а не только отдельными участниками рынка. Сегодня возрастает интерес к аспектам взаимодействия генетической инженерии с различными сферами жизни человека. В частности, это касается агросектора. Генная инженерия способна создать растения с заранее заданными характеристиками. При этом важно помнить об осторожности и ответственности за продовольственную безопасность, здоровье и благополучие людей.

Сахарозаменители и подсластители в технологии кондитерских изделий



И. Ю. Резниченко*^{ID}, М. С. Щеглов

Кемеровский государственный университет^{ROR},
Кемерово, Россия

Дата поступления в редакцию: 27.04.2020
Дата принятия в печать: 25.12.2020

*e-mail: Irina.reznichenko@gmail.com



© И. Ю. Резниченко, М. С. Щеглов, 2020

Аннотация.

Введение. Сахарозаменители и подсластители обладают различными технологически-функциональными свойствами, которые учитываются при разработке специализированных кондитерских изделий. В связи с этим поиск эквивалентных вкусовых сахарозаменителей не сахаристой природы является актуальным направлением. Цель работы – анализ, систематизация и обобщение международного и отечественного опыта в области использования сахарозаменителей и подсластителей в технологии кондитерских изделий, а также систематизация их свойств.

Объекты и методы исследования. Научные статьи ученых по теме исследования за последние десять лет, нормативные и законодательные документы. В качестве методов применяли методы анализа, систематизации и обобщения.

Результаты и их обсуждение. Исключение сахара из рецептов мучных и сахаристых кондитерских изделий, в технологическом плане является сложной задачей. Каждый из известных на данный момент сахарозаменителей и подсластителей имеет свои преимущества и недостатки, поэтому были проанализированы их специфические особенности, технологические свойства и нормы потребления. Выявлены подсластители, которые широко применяются в технологиях сахаристых и мучных кондитерских изделиях и не ухудшают сенсорные характеристики готового продукта.

Выводы. Ассортимент сахарозаменителей и подсластителей, которые можно применять в технологии кондитерских изделий ограничен. Опыт применения подсластителей в нашей стране и за рубежом показал, что стевииозид и сорбит используют как в технологии сахаристых, так и в технологии мучных кондитерских изделий. Изомальт и лактит оправдали себя в технологии шоколада и шоколадных конфет при оптимальных технологических режимах. Разработка научно обоснованных рецептов и технологий специализированных кондитерских изделий для людей с нарушенным углеводным обменом, а также дальнейшие исследования по применению сахарозаменителей и подсластителей позволит удовлетворить возрастающий спрос на данную продукцию и расширить ассортимент продуктов здорового питания.

Ключевые слова. Пищевые добавки, продукты питания, технология, качество

Для цитирования: Резниченко, И. Ю. Сахарозаменители и подсластители в технологии кондитерских изделий / И. Ю. Резниченко, М. С. Щеглов // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 576–587. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-576-587>.

Review article

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

Sugar Substitutes and Sweeteners in Confectionery Technology

Irina Yu. Reznichenko*^{ID}, Mikhail S. Shcheglov

Received: April 27, 2020
Accepted: December 25, 2020

Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

*e-mail: Irina.reznichenko@gmail.com



© I.Yu. Reznichenko, M.S. Shcheglov, 2020

Abstract.

Introduction. Targeted diabetic confectionery for people with carbohydrate metabolism impairment includes sugar substitutes or sweeteners instead of sugar. At the same time, modified carbohydrate composition should guarantee high sensory characteristics of the finished product, production technology and the raw materials being the main quality factors. Certain safety requirements are imposed on sweeteners and sugar substitutes, and their daily intake is regulated. Sweeteners and sugar substitutes have various technological and functional properties that are taken into account when developing specialized confectionery products. In this regard, the search for substitutes of non-sugar nature is a relevant matter. The research objective was to analyze, systematize, and generalize

international and domestic experience in the use of sweeteners and sugar substitutes in the technology of confectionery products.

Study objects and methods. The authors analyzed related scientific articles and legislative documents over the past ten years. The materials were obtained from Elibrary, Scimago Journal Country Rank, Scopus, and Scielo. The methods included analysis, systematization, and generalization.

Results and discussion. Technological exclusion of sugar from formulations of flour and sugar confectionery is a difficult task. Each of the currently known sweeteners and sugar substitutes has its advantages and disadvantages. The authors analyzed their specific features, technological properties, and consumption rates. They identified sweeteners that are widely used in technologies of sugar and flour confectionery products and do not affect the sensory characteristics of the finished product.

Conclusion. The range of sweeteners and sugar substitutes in confectionery technology is limited. The domestic and foreign experience of using sweeteners showed that stevioside and sorbitol are used both as sweeteners and in flour confectionery. Isomalt and lactitol proved effective in chocolate production, if used under optimal technological conditions. New scientifically based formulations and technologies for targeted confectionery for people with impaired carbohydrate metabolism and further research on the use of sweeteners and sugar substitutes will satisfy the increasing demand for these products and expand the range of healthy foods.

Keywords. Food additives, food products, technology, quality

For citation: Reznichenko IYu, Shcheglov MS. Sugar Substitutes and Sweeteners in Confectionery Technology. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(4):576–587. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-576-587>.

Введение

В соответствии с задачами федеральных целевых программ РФ «Предупреждение социально значимых заболеваний» одним из приоритетных направлений по их решению является производство продуктов питания для больных сахарным диабетом и алиментарно-обменными формами ожирения. Анализ состояния пищевой промышленности, приведенный в стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 г., показывает, что, несмотря на увеличение объемов производства данной продукции, сохраняется высокая импортная зависимость. Накопленный отечественный и зарубежный опыт свидетельствует о том, что наиболее эффективным путем коррекции питания и профилактики нарушения углеводного обмена является соблюдение соответствующего рациона, включающего продукты, не содержащие сахар.

Современные специализированные кондитерские изделия диетического питания для людей с нарушением углеводного обмена предполагают включение в рецептуру вместо сахара сахарозаменителей или подсластителей.

Пищевая продукция диетического профилактического питания предназначена, согласно ТР ТС 027/2012, для коррекции углеводного обмена веществ. В такой продукции изменено содержание и/или соотношение отдельных веществ относительно естественного их содержания. В ее состав включены не присутствующие изначально вещества или компоненты. Пищевая продукция диетического профилактического питания предназначена для снижения риска развития заболеваний.

Коррекция рациона потребителей с нарушением углеводного обмена, а также больных сахарным диабетом второго типа осуществляется за счет введения специализированных пищевых продуктов с модифицированным углеводным

профилем, содержащих ингредиенты, обладающие гипогликемическим действием [1–7]. При этом модификация углеводного состава кондитерских изделий должна предусматривать формирование высоких сенсорных характеристик готового продукта, основными факторами качества которого служат технология производства и используемое сырье. В связи с этим поиск эквивалентных вкусовых сахарозаменителей не сахаристой природы является актуальным направлением.

Цель работы – анализ, систематизация и обобщение международного и отечественного опыта в области использования сахарозаменителей и подсластителей в технологии кондитерских изделий, а также систематизация их свойств.

Задачи исследования: проанализировать достоинства и недостатки сахарозаменителей и подсластителей; систематизировать данные о практическом использовании в технологии кондитерских изделий сахарозаменителей и подсластителей для проведения дальнейших исследований по разработке специализированных кондитерских изделий.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов использовались научные статьи ученых по теме исследования за последние десять лет. В работе применяли методы анализа, систематизации и обобщения. Использовали поисковики (Elibrary.ru, Scimago Journal Country Rank, Scopus, Scielo).

Результаты и их обсуждение

Подсластители и сахарозаменители стали важной составляющей повседневного рациона и используются многими группами населения для различных целей. Некоторые потребители применяют их для снижения веса, другие – в качестве заменителя сахара при диабете. Включение сладостей в рацион

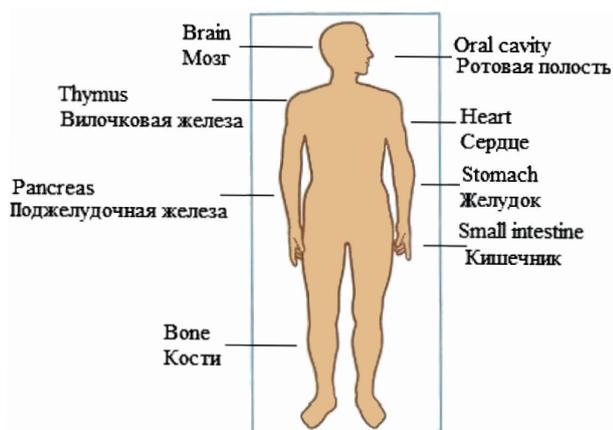


Рисунок 1. Рецепторы к сладкому в организме

Figure 1. Sweet taste receptors

способствует стимулированию центра удовольствия в головном мозге. Сладкий вкус ассоциируется с приятными ощущениями, что вызывает определенную психологическую зависимость от сахара. Ученые отмечают, что психологическая или эмоциональная зависимость от сладкого может привести к физиологической. Это связано с тем, что рецепторы сладкого находятся не только в ротовой полости, но и в других органах человека (рис. 1) [8].

Подсластители или сахарозаменители, попадая в организм человека, действуют на выделение кишечных гормонов и экспрессию белков – переносчиков глюкозы. Рецепторы сладкого в костях и жировой ткани стимулируют костные клетки, что может привести к остеопорозу. Сахарин, например, усиливает тонус и сокращение мочевого пузыря. Подсластители вызывают быстрый выброс инсулина, действуют на рецепторы поджелудочной железы. Активация рецепторов к сладкому приводит к сокращению кровотока в сосудах головного мозга, что увеличивает частоту инсультов и нейродегенеративных заболеваний. Работа рецепторов важна для здоровья человека, поэтому потребители диетических продуктов должны серьезно относиться к выбору подсластителей, о пользе и вреде которых до сих пор ведутся дебаты [9].

Продукты питания, не содержащие сахара и включающие в свой состав сахарозаменители и подсластители, занимают широкий ассортимент на рынке. Но современные требования потребительского рынка и возрастающая информированность потребителя о продуктах здорового питания диктуют производителям новые задачи по выпуску качественной продукции, отвечающей требованиям потребительского спроса. Отмечено, что рынок продуктов здорового питания имеет хороший потенциал для роста продаж. Грамотное предложение покупателям лечебно-профилактических, диетических и продуктов здорового питания позволит

производителям достичь дополнительного роста бизнеса [10]. Поэтому пищевая промышленность проявляет растущий интерес к заменителям сахарозы, которые будут использоваться в продуктах с низким содержанием сахара и отвечать требованиям безопасности.

Применение заменителей сахара-песка во многих технологиях пищевых продуктов не вызывает особых трудностей. Однако изменение содержания сахара может отрицательно повлиять на реологию и текстуру готового изделия. Данное обстоятельство полностью соответствует технологии изготовления кондитерских изделий.

Основным сырьем для производства сахаристых кондитерских изделий служит сахар. Сахар участвует не только в формировании вкуса и аромата изделий, но и имеет функционально-технологическое значение. В рецептуре мучных кондитерских изделий сахар применяется как дополнительное сырье, но также имеет технологическое значение. Например, в технологии мучных кондитерских изделий сахар выполняет роль стабилизатора пенной структуры теста, способствует повышению температуры клейстеризации крахмала и снижению степени набухания белков муки [3]. В работах отечественных и зарубежных ученых отмечено, что, помимо обеспечения сладкого вкуса, сахара связывают воду, повышают температуру кипения и низкую температуру замерзания водных растворов, увеличивают вязкость и изменяют текстуру пищевых продуктов, обеспечивают объем, служат для ферментации, обеспечивают формирование глазури и блеска, служат предшественниками развития вкуса и цвета [5].

Замена сахара на сахарозаменители в традиционных рецептурах кондитерских изделий требует подбор определенного вида сахарозаменителя, определение его дозировки, модификацию рецептуры, установление технологических режимов и параметров. Учитывая многие функциональные возможности сахара в технологиях пищевых продуктов, не всегда возможно исключить или заменить сахар, не влияя на качество и стабильность определенных пищевых продуктов. Функциональные характеристики сахара представлены на рисунке 2.

Исключение сахара из рецептур мучных и сахаристых кондитерских изделий в технологическом плане является сложной задачей. Сахар влияет на формирование структурно-механических свойств изделия и структурообразование теста. Присутствие в жидкой фазе теста сахаров, покрытых гидратными оболочками, приводит к уменьшению степени набухания белков муки из-за снижения массовой доли свободной влаги и повышения осмотического давления в жидкой фазе теста. Сахар также способствует замедлению процесса эмульгирования

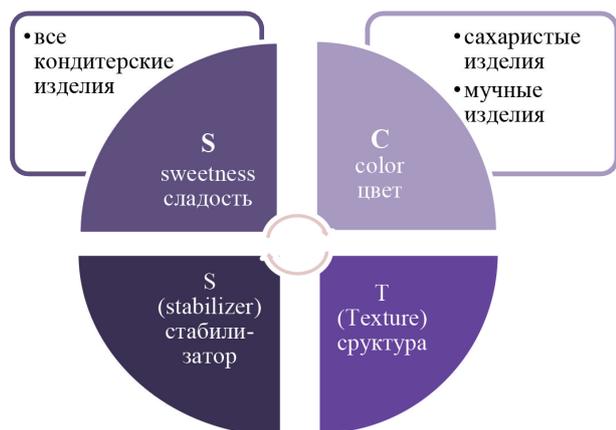


Рисунок 2. Функциональные характеристики сахара

Figure 2. Functional characteristics of sugar

в результате повышения вязкости дисперсионной среды и поверхностного натяжения на границе раздела фаз.

Каждый из известных на данный момент сахарозаменителей и подсластителей имеет свои преимущества и недостатки. Поэтому необходимо проанализировать их специфические особенности и безопасность. Существуют низкокалорийные подсластители (LCS), которые характеризуются малым содержанием калорий или их отсутствием, высокой интенсивностью сладости на грамм в сравнении с подсластителями с калориями. Другие названия LCS – некалорийные подсластители, искусственные подсластители, заменители сахара и высокоинтенсивные подсластители [11]. Чтобы иметь возможность использовать низкокалорийные подсластители, они должны быть одобрены международными агентствами, такими как Codex Alimentarius (Food Code), FDA и EFSA, а также национальными нормативными документами [12–14]. Несмотря на строгие нормы безопасности LCS все еще существует высокий уровень споров об использовании LCS в производстве пищевых продуктов (особенно для детей). Это требует оценки риска для выявления потенциальных проблем со

здоровьем, связанных с потреблением продуктов, содержащих LCS [15–18].

Классификация сахарозаменителей и подсластителей приведена в работах отечественных ученых, а также в ГОСТ Р 53904-2010 «Добавки пищевые. Подсластители пищевых продуктов. Термины и определения» и ГОСТ 34274-2017 «Мальтодекстрины. Технические условия» [3, 19]. В литературе сахарозаменители и подсластители часто используются как синонимы. Основное отличие сахарозаменителей от подсластителей заключается в том, что сахарозаменители обладают энергетической ценностью и метаболизируются в организме с меньшей потребностью в инсулине, чем сахар. Подсластители не обладают энергетической ценностью и метаболизируются без участия инсулина.

Наряду с общими признаками классификации сахарозаменителей, в работах зарубежных ученых представлена классификация сахарозаменителей (подсластителей) по признаку влияния сахарозаменителя на текстуру изделия [20–28]. Текстура кондитерского изделия формируется в зависимости от фазового состояния подсластителя. В связи с этим осуществляется подбор технологических режимов и параметров. Учет факторов, влияющих на поведение подсластителя в ходе технологии производства, имеет важное значение для формирования заданной структуры и качества кондитерских изделий. Контроль состояния подсластителей для достижения желаемых потребительских характеристик от внешнего вида до текстуры осуществляется различными методами [21–26].

Подсластители могут быть растворенными, диспергированными в виде кристаллической фазы, иммобилизованными в аморфном и стеклообразном состоянии или в различных комбинациях этих состояний. В связи с этим кондитерские изделия могут быть охарактеризованы в соответствии с природой подсластителя (табл. 1).

Таким образом, физическое состояние подсластителя может оказывать влияние на свойства кондитерского изделия, т. е. как на внешний

Таблица 1. Классификация кондитерских изделий на основе состояния подсластителя

Table 1. Classification of confectionery products based on the state of the sweetener

Категория	Текстура	Примеры кондитерских изделий
Некристаллические	Вязкая, студнеобразная, затяжистая	Сироп для начинки конфет, мармелад
жидкость	Мягкая	Начинка для конфет, жевательные конфеты, кремовые конфеты
аморфная	От твердой до мягкой, пышной	Леденцовая карамель, нуга, зефир
стекловидная	Хрупкая, рыхлая, твердая	Сахарная вата, карамель леденцовая
Кристаллическая	Твердая, плотная	Конфеты, пастила
	Сыпучая	Конфетные порошки [15]
Частично кристаллическая	От мягкой до твердой, плотной	Помадные конфеты, зефир, мягкая карамель

вид, так и на текстурные свойства. Например, стеклообразное состояние твердой карамели характеризуется наличием цвета и аромата, которые равномерно распределены по всему кондитерскому изделию, а не только на поверхности, как в цветных (кристаллических) конфетах. Кроме того, жевательные характеристики нуги или карамели, например, могут быть смягчены путем образования небольших кристаллов для придания кондитерскому изделию более мягкой текстуры [21, 22].

В таблице 2 приведены систематизированные данные о подсластителях, их достоинства и недостатки, нормы суточного употребления.

Из подсластителей, приведенных в таблице 2, все разрешены для применения в производстве пищевых продуктов в РФ. В США в список подсластителей «Признанных безопасными» включены шесть: аспартам, ацесульфам, сахарин, сукралоза, неотам и advantam [9, 23]. Особое отношение к выбору подсластителей уделяется при их использовании в продуктах для беременных и кормящих женщин, детей, диабетиков, больных эпилепсией. Данные группы населения должны употреблять эти продукты с максимальной осторожностью [24–27].

Широкое применение в кондитерском производстве нашли такие подсластители и сахарозаменители, как лактит, сахаринат натрия, эритрит, стевиозид. Они используются как в технологиях сахаристых, так и мучных кондитерских изделий, а также шоколада.

До недавнего времени шоколад и конфеты редко производили в виде продуктов без сахара из-за многофункциональных свойств, объемности и текстурных характеристик, которые сахар дает продуктам. Сейчас потребители обеспокоены высоким уровнем сахара, калориями и эффектом кариогенности в кондитерских изделиях, что приводит к росту популярности «легких» и «не содержащих сахара» продуктов.

На кафедре технологии переработки зерна, хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств Московского государственного университета технологий и управления им. К. Г. Разумовского разработана рецептура шоколада с природными сахарозаменителями, такими как стевиозид и эритритол. Установлено, что при замене сахарозы стевиозидом и эритритолом в готовом шоколаде появлялась специфическая горечь и послевкусие [29].

Получены шоколадные конфеты и шоколад с пониженным содержанием сахара с подсластителями. Выявлено, что фруктоза и сахарные спирты (изомальт и лактит) повышают твердость конфет. Применение стевии и мяты перечной в рецептуре шоколада оказывает положительное влияние на сенсорные свойства [30–32]. Было проведено исследование для изучения влияния инулина DP на

уровни жизнеспособности (0–90 дней) различных пробиотиков (*Lactobacillus paracasei* и *L. acidophilus*) и основных параметров качества белого шоколада (текстура, активность воды, термические свойства, реологические свойства, цвет). Анализировался процесс внесения сахарозаменителя мальтита после процесса конширования. Установлено, что температура плавления шоколада составила 35 °С, реологические свойства были удовлетворительными [31]. Учеными научно-исследовательского института продовольственной безопасности РЭУ им. Г. В. Плеханова разработаны рецептуры и технологии производства кондитерских изделий, обогащенных полноценным белком. Объекты разработки – пралиновые глазированные конфеты и глазированные вафли с жировой начинкой со 100 % заменой сахара на сахарозаменители (мальтит и изомальт) и подсластители (стевиозид). Для повышения пищевой и биологической ценности продуктов использованы полидекстроза, цикорий, инулин [32]. ВНИИ кондитерской промышленности предложены рецептуры и технология жележных конфет с низкокалорийным подсластителем изомальтом. Оптимальное соотношение изомальта и патоки в сиропе составило 1,2:1. Установлено, что образуются редуцирующие вещества (около 18 %). Это способствует сохранению студнеобразной консистенции длительное время без увлажнения поверхности изделий, достижению наилучшей пластической прочности – 30–40 г/см² [34].

Предложены рецептуры и технология производства мармелада. Сладкий вкус обеспечивался благодаря комбинации сорбита (E420) и гликозильного стевиозида «Кристалл», имеющих коэффициент сладости к сахарозе 0,6 и 150 соответственно. Дополнительно в рецептуру включен в качестве красителя настой гибискуса, в качестве обогащающей добавки – янтарная кислота, снижающая риск проявления диабетических осложнений. Определены дозировки сахарозаменителей, рассчитана пищевая ценность разработанных изделий [35, 36].

Разработан способ производства пастилы специализированного назначения на сорбите и стевиозиде с обогащающей добавкой «йодказеин». Определены показатели качества и показатели для целей идентификации [37].

Обоснованы рецептуры драже сахарного на фруктозе с включением в состав продуктов переработки растительного сырья, установлены количественные соотношения рецептурных ингредиентов, исследованы показатели качества, разработана техническая документация [38–40].

Для снижения рецептурного количества сахара и меланжа в бисквитном полуфабрикате предложено применение инулина и олигофруктозы.

Таблица 2. Характеристика основных подсластителей и сахарозаменителей

Table 2. Profiles of the main sweeteners and sugar substitutes

Название, обозначение на маркировке	Коэффициент сладости	Достоинства	Недостатки	Нормы применения
Аспартам Е 951	200	Стабилен в составе жидкости	Неприятное послевкусие	50 мг на 1 кг веса тела
Изомальтит Е 953	0,5	Гликемический индекс в 33 раза ниже индекса сахарозы, не содержит калорий	Не имеет термической устойчивости; запрещен для больных фенилкетонурией	3,5 г в сутки
Ацесульфам калия Е950	200	Имеет большой срок хранения; не вызывает аллергии; не содержит калорий	Плохо растворяется; содержащие его продукты нельзя применять для детей, беременных и кормящих женщин; содержит метанол, приводящий к нарушению работы сердца и сосудов; содержит аспарагеновую кислоту, которая возбуждает нервную систему и вызывает зависимость.	Не более 1 г в сутки
Сахарин калия Е 954 (IV)	300–500	Устойчив к высокой температуре и действию кислот. Не содержит калорий	Слабый запах имеет необычный металлический привкус Слабый запах	0,2 г в сутки
Сахарин кальция Е 954 (III)	300–500			
Цикламаты кальция Е 952 (III)	30	Не содержит калорий, устойчив к высоким температурам	Запрещен к использованию в Евросоюзе и Америке	0,8 г в сутки
Ксилит Е 967	1	Не оказывает влияния на концентрацию сахара в крови; предупреждает развитие кариеса; усиливает выделение желудочного сока	В больших дозах оказывает слабительное действие	50 г в сутки
Лактит Е 966	0,4	Пребиотик, низкий гликемический индекс, низкая гигроскопичность; устойчив к гидролизу; термостойкий, химически инертен; стабилен в кислой и щелочной среде	Слабительный эффект	Не определена
Мальтит Е 965	0,9	Стабилизатор, эмульгатор негигроскопичен, термостоек, не взаимодействует с аминокислотами	Слабительный эффект	Не более 100 г в сутки
Мальтитный сироп Е 965	0,6–0,7			
Маннит Е 421 (I)	0,5	Антислеживающий агент, загуститель, эмульгатор	Повышенные дозы вызывают диарею	Не более 20 г в сутки
Сахаринат натрия Е 954 (II)	300–500	Термоустойчив, не вступает в реакцию с другими пищевыми продуктами	Может вызывать аллергию, металлический привкус	5 мг на 1 кг веса человека
Цикломат натрия Е 952 (II)	30	Термостабилен	Запрещен в США, не рекомендуется беременным женщинам	10 мг на 1 кг веса человека
Сахарин Е 954 (I)	300–500	Термостабилен	Металлический привкус, аллергия	5 мг на 1 кг веса
Соль аспартам-ацесульфама Е 962	350	Широкого диапазона применения	Негативное влияние на организм человека	15–40 мг на кг веса человека
Сорбит Е 420	0,6	Влагоудерживающий агент, консервант, не имеет ограничений по использованию	Высокая калорийность (на 53% выше, чем у сахара)	До 40 г в сутки
Сорбитовый сироп Е 420	0,3–0,4	Эмульгатор, влагоудерживающий агент	Обладает токсичностью	0,7 г в сутки
Стевиозид Е 960	200–300	Не токсичен, хорошо переносится, доступен по стоимости, имеет хороший вкус		0,6–1,0 г/кг продукта, 4 мг/кг веса человека
Сукралоза Е 955	600	Не содержит калорий	Применяется для напитков	Не более 60 г в сутки
Тауматин Е 957	2000–3000	Усилитель вкуса и аромата	Не стабилен при высоких температурах и воздействию кислот	Не определено
Цикламвая кислота Е 952 (I)	40	Растворима в воде, нерастворима в жирах, высокая термостойкость	Не рекомендуется детям и беременным и кормящим женщинам	11 мг/кг веса человека
Эритрит Е 968	0,7	Влагоудерживающий агент, стабилизатор	Может вызвать проблемы с пищеварением при превышении дозировки	0,66 г/кг веса человека

Исследована возможность использования диетических пищевых волокон, получаемых из корней цикория. Установлено, что использование инулина и олигофруктозы способствует коррекции химического состава бисквитных полуфабрикатов, а также сохранению качественных показателей и свежести выпеченных изделий в течение всего срока реализации [41]. При приготовлении бисквитного полуфабриката обязательна технологическая операция взбивания рецептурных компонентов. Данная операция практически неосуществима, если исключить сахар из рецептуры. Предложен способ приготовления бисквитного полуфабриката без сахара, позволяющий получить продукт высокого качества [42, 43]. Исследованы реологические характеристики сдобного теста для круассанов, в состав рецептуры которых входили вместо сахара фруктоза и сукролаза. Структура теста была оценена с помощью различных методов, способных описать внутренние свойства материала и предсказать его поведение в реальном процессе. Выполнены как эмпирические (фаринографический тест, динамометрические измерения), так и фундаментальные реологические тесты (динамические колебательные измерения). Установлено, что механические и реологические свойства теста схожи со свойствами теста, полученного без сахаров [44].

Предложены рецептура и технология производства овсяного печенья без сахара на основе сорбита, мальтита и изомальта. Отмечено, что классическая технология не эффективна при замене сахара-песка на полиолы и подсластители из-за того, что невозможен процесс взбивания масла. Модифицированная предложенная технология заключается в предварительном заваривании овсяной муки с последующим добавлением остальных рецептурных компонентов [45].

Оптимизированы рецептуры вафель с заменой сахара-песка на фруктозу. Отмечено, что полученные изделия практически не отличаются по калорийности от контрольного образца, но при этом уровень глюкозы в крови после их употребления ниже на 20 % [46].

Проведены исследования по разработке диетического аналога десерта тирамису с добавкой полисахарида, пищевых волокон и натурального сахарозаменителя стевии. Новая технология приготовления аналога тирамису позволяет получить продукт с высокими пищевыми достоинствами, пониженной калорийностью, профилактическим действием, а также обеспечивающий расширение ассортимента продуктов питания диетического назначения с повышенной пищевой ценностью за счет использования пищевых волокон [47].

Рассмотрены аспекты замораживания тортов на фруктозе. Проанализировано влияние замораживания на сохранность качество готовых изделий в процессе хранения [48].

Проведенный анализ показал, что в технологиях кондитерских изделий применяются различные термостойкие, химически инертные, имеющие структурообразующие свойства, не имеющие калорийности и противопоказаний к применению подсластители и сахарозаменители.

Выводы

Ассортимент сахарозаменителей и подсластителей, которые применяют в технологии кондитерских изделий, можно охарактеризовать как ограниченный. Кондитерские изделия относятся к группе продуктов, употребляемых всеми возрастными категориями. В связи с этим не все сахарозаменители и подсластители можно использовать в производстве кондитерских изделий.

Опыт применения подсластителей в нашей стране и за рубежом показал, что стевииозид и сорбит используют как в технологии сахаристых, так и в технологии мучных кондитерских изделий, и они нашли широкое практическое применение. Популярность стевииозидов связана с отсутствием у данного подсластителя недостатков и его доступной ценой. Применение изомальта и лактита оправдало себя в технологии шоколада и шоколадных конфет при подборе оптимальных технологических режимов. Разработка научно обоснованных рецептур и технологий специализированных кондитерских изделий для людей с нарушенным углеводным обменом, дальнейшие исследования по применению сахарозаменителей и подсластителей и их влиянию на здоровье человека позволит удовлетворить возрастающий спрос на данную продукцию и расширить ассортимент продуктов здорового питания.

Критерии авторства

И. Ю. Резниченко – 50 %, М. С. Щеглов – 50 %.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

I.Yu. Reznichenko – 50%, M.S. Shcheglov – 50%.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Роль пищевой промышленности в диетической терапии населения. Специализированные кондитерские изделия диабетического питания / Т. В. Савенкова, Е. А. Солдатова, Т. Л. Киселева [и др.] // *Вопросы питания*. – 2015. – Т. 84, № 6. – С. 107–115.
2. Специализированные пищевые продукты с модифицированным углеводным профилем для диетической коррекции рациона больных сахарным диабетом 2 типа / А. А. Кочеткова, И. С. Воробьева, В. М. Воробьева [и др.] // *Вопросы питания*. – 2018. – Т. 87, № 6. – С. 76–88. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10069>.
3. Модификация углеводного состава кондитерских изделий для больных сахарным диабетом 2 типа / В. М. Воробьева, И. С. Воробьева, А. А. Кочеткова [и др.] // *Вопросы питания*. – 2014. – Т. 83, № 6. – С. 66–73.
4. Palzer, S. Technological solutions for reducing impact and content of health sensitive nutrients in food / S. Palzer // *Trends in Food Science and Technology*. – 2017. – Vol. 62. – P. 170–176. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.022>.
5. Functionality of sugars in foods and health / R. A. Clemens, J. M. Jones, M. Kern [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>.
6. Comparative analysis of physical and chemical properties of biodegradable edible films of various compositions / L. Dyshlyuk, O. Babich, D. Belova [et al.] // *Journal of Food Process Engineering*. – 2017. – Vol. 40, № 1. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12331>.
7. Recombinant l-phenylalanine ammonia lyase from *Rhodospiridium toruloides* as a potential anticancer agent / O. O. Babich, V. S. Pokrovsky, N. Y. Anisimova [et al.] // *Biotechnology and Applied Biochemistry*. – 2013. – Vol. 60, № 3. – P. 316–322. <https://doi.org/10.1002/bab.1089>.
8. Les conseils du Dr Laurent Chevallier pour une alimentation-santé [Internet]. – Available from: <https://www.tempslibremagazine.com/dr-chevallier-alimentation-sante>. – Date of application: 20.03.2020.
9. Green, E. Altered processing of sweet taste in the brain of diet soda drinkers / E. Green, C. Murphy // *Physiology and Behavior*. – 2012. – Vol. 107, № 4. – P. 560–567. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2012.05.006>.
10. Сандракова, И. В. Исследование потребителей продуктов здорового питания / И. В. Сандракова, И. Ю. Резниченко // *Практический маркетинг*. – 2019. – Т. 274, № 12. – С. 22–27.
11. Lohner, S. Health outcomes of non-nutritive sweeteners: analysis of the research landscape / S. Lohner, I. Toews, J. J. Meerpohl // *Nutrition Journal*. – 2017. – Vol. 16, № 55. <https://doi.org/10.1186/s12937-017-0278-x>.
12. Norma general del CODEX para los aditivos alimentarios [Internet]. – Available from: https://www.fao.org/gsfonline/docs/CXS_192s.pdf. – Date of application: 20.03.2020.
13. Statement of EFSA on the scientific evaluation of two studies related to the safety of artificial sweeteners // *EFSA Journal*. – 2011. – Vol. 9, № 2. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2089>.
14. Food Additives & Petitions [Internet]. – Available from: <https://www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/FoodAdditivesIngredients/default.htm>. – Date of application: 20.03.2020.
15. Dietary intake of four artificial sweeteners by Irish pre-school children / D. M. Martyn, A. P. Nugent, B. A. McNulty [et al.] // *Food Additives and Contaminants: Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. – 2016. – Vol. 33, № 4. – P. 592–602. <https://doi.org/10.1080/19440049.2016.1152880>.
16. Popkin, B. M. Sweetening of the global diet, particularly beverages: patterns, trends, and policy responses / B. M. Popkin, C. Hawkes // *Lancet Diabetes and Endocrinology*. – 2016. – Vol. 4, № 2. – P. 174–186. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(15\)00419-2](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(15)00419-2).
17. *Stevia rebaudiana* Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects / R. Lemus-Mondaca, A. Vega-Galvez, L. Zura-Bravo [et al.] // *Food Chemistry*. – 2012. – Vol. 132, № 3. – P. 1121–1132. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.140>.
18. Noncaloric sweeteners in children: A controversial theme / S. D. Aguero, L. A. Davila, M. C. E. Contreras [et al.] // *BioMed Research International*. – 2018. – Vol. 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/4806534>.
19. Жаббарова, С. К. Влияние сахарозаменителей и подсластителей на безвредность кондитерских изделий / С. К. Жаббарова // *Universum: Технические науки*. – 2019. – Т. 59, № 2. – С. 27–31.
20. Carocho, M. Natural food additives: *Quo vadis?* / M. Carocho, P. Morales, I. C. F. R. Ferreira // *Trends in Food Science and Technology*. – 2015. – Vol. 45, № 2. – P. 284–295. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.06.007>.
21. Hartel, R. W. Phase/state transitions of confectionery sweeteners: thermodynamic and kinetic aspects / R. W. Hartel, R. Ergun, S. Vogel // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2010. – Vol. 10, № 1. – P. 17–32. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00136.x>.
22. Effect of amorphization method on the physicochemical properties of amorphous sucrose / E. A. Morrow, M. W. Terban, L. C. Thomas [et al.] // *Journal of Food Engineering*. – 2019. – Vol. 243. – P. 125–141. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.08.036>.
23. Maximo, G. J. Solid-liquid equilibrium in food processes / G. J. Maximo, N. D. D. Carareto, M. C. Costa // *Thermodynamics of phase equilibria in food engineering* / C. G. Pereira. – Academic Press, 2019. – P. 335–384. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811556-5.00008-9>.

24. Klinjapo, R. Microencapsulation of color and flavor in confectionery products / R. Klinjapo, W. Krasaekoopt // *Natural and artificial flavoring agents and food dyes* / A. M. Grumezescu, A. M. Holban. – Academic Press, 2018. – P. 457–494. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811518-3.00014-4>.
25. Artificial sweeteners as a sugar substitute: Are they really safe? / A. Sharma, S. Amarnath, M. Thulasimani [et al.] // *Indian Journal of Pharmacology*. – 2016. – Vol. 48, № 3. – P. 237–240. <https://doi.org/10.4103/0253-7613.182888>.
26. Purohit, V. The truth about artificial sweeteners – Are they good for diabetics? / V. Purohit, M. Sundeep // *Indian Heart Journal*. – 2018. – Vol. 70, № 1. – P. 197–199. <https://doi.org/10.1016/j.ihj.2018.01.020>.
27. Chronic consumption of artificial sweetener in packets or tablets and type 2 diabetes risk: evidence from the E3N-European Prospective Investigation into cancer and nutrition study / G. Fagherazzi, G. Gusto, A. Affret [et al.] // *Annals of Nutrition and Metabolism*. – 2017. – Vol. 70, № 1. – P. 51–58. <https://doi.org/10.1159/000458769>.
28. Thermo-mechanical properties of soft candy: Application of time-temperature superposition to mimic response at high deformation rates / C. Schmidt, R. Bornmann, S. Schuldt [et al.] // *Food Biophysics*. – 2017. – Vol. 13, № 1. – P. 11–17. <https://doi.org/10.1007/s11483-017-9506-3>.
29. Разработка технологии шоколада диетического назначения на основе натуральных сахарозаменителей / И. А. Никитин, В. А. Богатырев, Я. А. Миронченко [и др.] // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. – 2017. – Т. 79, № 2 (72). – С. 153–158. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-2-153-158>.
30. Industrial manufacture of sugar-free chocolates – Applicability of alternative sweeteners and carbohydrate polymers as raw materials in product development / R. P. Aidoo, F. Depypere, E. O. Afoakwa [et al.] // *Trends in Food Science and Technology*. – 2013. – Vol. 32, № 2. – P. 84–96. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.05.008>.
31. Physical, bioactive and sensory quality parameters of reduced sugar chocolates formulated with natural sweeteners as sucrose alternatives / A. Belščak-Cvitanović, D. Komes, M. Dujmović [et al.] // *Food Chemistry*. – 2015. – Vol. 167. – P. 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.064>.
32. Conventional and sugar-free probiotic white chocolate: Effect of inulin DP on various quality properties and viability of probiotics / N. Konar, I. Palabiyik, O. S. Toker [et al.] // *Journal of Functional Foods*. – 2018. – Vol. 43. – P. 206–213. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.02.016>.
33. Ткешелашвили, М. Е. Разработка кондитерских изделий обогащенных белком / М. Е. Ткешелашвили, Г. А. Бобождонова, А. В. Сорокина // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2019. – № 1. – С. 57–65.
34. Крылова, Э. Н. Использование подсластителей в производстве фруктово-желейных конфет / Э. Н. Крылова, Е. Н. Макрина, Т. В. Савенкова // *Кондитерское производство*. – 2015. – № 6. – С. 17–18.
35. Табаторович А. Н. Разработка и оценка качества диетического желейного мармелада «Каркаде», обогащенного янтарной кислотой / А. Н. Табаторович, И. Ю. Резниченко // *Техника и технология пищевых производств*. – 2019. – Т. 49, № 2. – С. 320–329. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-320-329>.
36. Табаторович, А. Н. Обоснование рецептур и оценка качества желейного мармелада на основе настоя лепестков розеллы (*Hibiscus sabdariffa* L.) / А. Н. Табаторович, И. Ю. Резниченко // *Пищевая промышленность*. – 2019. – № 5. – С. 66–71. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10075>.
37. Пат. 2657475С1 Российская Федерация, МПК А23G 3/38, А23G 3/52. Способ производства пастилы специализированного назначения на сорбите и стевии, обогащенной добавкой «Йодказеин» / Резниченко И. Ю., Табаторович А. Н., Чистяков А. М.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности». – № 2017117736; заявл. 22.05.2017; опубл. 14.06.2018; Бюл. № 17. – 10 с.
38. Галиева, А. И. Обоснование рецептур драже сахарно обогащенного / А. И. Галиева, И. Ю. Резниченко, Г. Е. Иванец // *Техника и технология пищевых производств*. – 2014. – Т. 33, № 2. – С. 39–44.
39. Разработка рецептуры и технологии производства сахаристых кондитерских изделий как факторов, формирующих их качество / Г. А. Дорн, А. И. Галиева, И. Ю. Резниченко [и др.] // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. – 2014. – Т. 24, № 1. – С. 62–68.
40. Резниченко, И. Ю. Разработка и оценка качества нового сахаристого кондитерского изделия / И. Ю. Резниченко, А. И. Галиева // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2013. – Т. 15, № 8–2. – С. 59–60.
41. Лазарева, Т. Н. Использование инулина и олигофруктозы для снижения рецептурного количества сахара и меланжа в бисквитном полуфабрикate / Т. Н. Лазарева, Т. В. Матвеева // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. – 2011. – Т. 7, № 2. – С. 18–22.
42. Резниченко, И. Ю. Разработка диетических мучных кондитерских изделий / И. Ю. Резниченко, О. С. Сидорова // *Пищевая промышленность*. – 2008. – № 7. – С. 58–60.
43. Пат. 2532438С1 Российская Федерация, МПК А21D 13/08. Способ получения бисквита без сахара / Зоркина Н. Н., Резниченко И. Ю.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова». – № 2013121836/13; заявл. 13.05.2013; опубл. 10.11.2014; Бюл. № 31. – 4 с.
44. Mariotti, M. About the use of different sweeteners in baked goods. Influence on the mechanical and rheological properties of the doughs / M. Mariotti, C. Alamprese // *LWT – Food Science and Technology*. – 2012. – Vol. 48, № 1. – P. 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.03.001>.

45. Спахова, М. В. Овсяное печенье со стевиозидом / М. В. Спахова, Н. Б. Колендина, О. С. Воеводина // Пищевая промышленность. – 2012. – № 11. – С. 61–63.
46. Разработка вафель с пониженным гликемическим индексом / Н. Н. Попова, И. П. Щетилина, А. А. Денисова [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2016. – Т. 70, № 4. – С. 181–186. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-4-181-186>.
47. Никитина, Т. А. Исследование потребительских характеристик диетического аналога итальянского десерта тирамису / Т. А. Никитина, О. Н. Клюкина, Н. М. Птичкина // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – Т. 41, № 2. – С. 67–72.
48. Солдатова, Е. А. Аспекты замораживания мучных кондитерских изделий с использованием сазарозаменителей / Е. А. Солдатова, Т. В. Савенкова // Хлебопродукты. – 2015. – № 6. – С. 50–52.

References

1. Savenkova TV, Soldatova EA, Kiseleva TL, Glazkova IV, Zhilinskaya NV. The role of the food industry in dietetic therapy of the population. Specialized confectionery diabetic food. Problems of Nutrition. 2015;84(6):107–115. (In Russ.).
2. Kochetkova AA, Vorobyeva IS, Vorobyeva VM, Sharafetdinov KhKh, Plotnikova OA, Pilipenko VV, et al. Specialized food products with modified carbohydrate profile for dietary correction of diet of patients with type 2 diabetes. Problems of Nutrition. 2018;87(6):76–88. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10069>.
3. Vorobyeva VM, Vorobyeva IS, Kochetkova AA, Sharafetdinov KhKh, Zorina EE. Modification of carbohydrate composition of confectionery for diabetics type 2. Problems of Nutrition. 2014;83(6):66–73. (In Russ.).
4. Palzer S. Technological solutions for reducing impact and content of health sensitive nutrients in food. Trends in Food Science and Technology. 2017;62:170–176. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.022>.
5. Clemens RA, Jones JM, Kern M, Lee SY, 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>.
6. Dyshlyuk L, Babich O, Belova D, Prosekov A. Comparative analysis of physical and chemical properties of biodegradable edible films of various compositions. Journal of Food Process Engineering. 2017;40(1). <https://doi.org/10.1111/jfpe.12331>.
7. Babich OO, Pokrovsky VS, Anisimova NY, Sokolov NN, Prosekov AY. Recombinant l-phenylalanine ammonia lyase from *Rhodospiridium toruloides* as a potential anticancer agent. Biotechnology and Applied Biochemistry. 2013;60(3):316–322. <https://doi.org/10.1002/bab.1089>.
8. Les conseils du Dr Laurent Chevallier pour une alimentation-santé [The advice of Dr. Laurent Chevallier for a healthy diet] [Internet]. [cited 2020 Mar 20]. Available from: <https://www.tempslibremagazine.com/dr-chevallier-alimentation-sante>.
9. Green E, Murphy C. Altered processing of sweet taste in the brain of diet soda drinkers. Physiology and Behavior. 2012;107(4):560–567. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2012.05.006>.
10. Sandrakova IV, Reznichenko IYu. Health food consumers research. Practical Marketing. 2019;274(12):22–27. (In Russ.).
11. Lohner S, Toews I, Meerpohl JJ. Health outcomes of non-nutritive sweeteners: analysis of the research landscape. Nutrition Journal. 2017;16(55). <https://doi.org/10.1186/s12937-017-0278-x>.
12. Norma general del CODEX para los aditivos alimentarios [Internet]. [cited 2020 Mar 20]. Available from: https://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS_192s.pdf.
13. Statement of EFSA on the scientific evaluation of two studies related to the safety of artificial sweeteners. EFSA Journal. 2011;9(2). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2089>.
14. Food Additives & Petitions [Internet]. [cited 2020 Mar 20]. Available from: <https://www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/FoodAdditivesIngredients/default.htm>.
15. Martyn DM, Nugent AP, McNulty BA, O'Reilly E, Tlustos C, Walton J, et al. Dietary intake of four artificial sweeteners by Irish pre-school children. Food Additives and Contaminants: Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment. 2016;33(4):592–602. <https://doi.org/10.1080/19440049.2016.1152880>.
16. Popkin BM, Hawkes C. Sweetening of the global diet, particularly beverages: patterns, trends, and policy responses. Lancet Diabetes and Endocrinology. 2016;4(2):174–186. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(15\)00419-2](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(15)00419-2).
17. Lemus-Mondaca R, Vega-Galvez A, Zura-Bravo L, Ah-Hen K. *Stevia rebaudiana* Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. Food Chemistry. 2012;132(3):1121–1132. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.140>.
18. Agüero SD, Davila LA, Contreras MCE, Gomez DR, Costa JD. Noncaloric sweeteners in children: A controversial theme. BioMed Research International. 2018;2018. <https://doi.org/10.1155/2018/4806534>.
19. Jabbarova SK. Influence of sugar-substitutes and sweeteners on the safety of confectionery products. UNIVERSUM: Technical Sciences. 2019;59(2):27–31. (In Russ.).
20. Carocho M, Morales P, Ferreira ICFR. Natural food additives: *Quo vadis?* Trends in Food Science and Technology. 2015;45(2):284–295. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.06.007>.

21. Hartel RW, Ergun R, Vogel S. Phase/state transitions of confectionery sweeteners: thermodynamic and kinetic aspects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2010;10(1):17–32. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00136.x>.
22. Morrow EA, Terban MW, Thomas LC, Gray DL, Bowman MJ, Billinge SJL, et al. Effect of amorphization method on the physicochemical properties of amorphous sucrose. *Journal of Food Engineering*. 2019;243:125–141. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.08.036>.
23. Maximo GJ, Carareto NDD, Costa MC. Solid-liquid equilibrium in food processes. In: Pereira CG, editor. *Thermodynamics of phase equilibria in food engineering*. Academic Press; 2019. pp. 335–384. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811556-5.00008-9>.
24. Klinjapo R, Krasaekoopt W. Microencapsulation of color and flavor in confectionery products. In: Grumezescu AM, Holban AM, editors. *Natural and artificial flavoring agents and food dyes*. Academic Press; 2018. pp. 457–494. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811518-3.00014-4>.
25. Sharma A, Amarnath S, Thulasimani M, Ramaswamy S. Artificial sweeteners as a sugar substitute: Are they really safe? *Indian Journal of Pharmacology*. 2016;48(3):237–240. <https://doi.org/10.4103/0253-7613.182888>.
26. Purohit V, Sundeeep M. The truth about artificial sweeteners – Are they good for diabetics? *Indian Heart Journal*. 2018;70(1):197–199. <https://doi.org/10.1016/j.ihj.2018.01.020>.
27. Fagherazzi G, Gusto G, Affret A, Mancini FR, Dow C, Balkau B, et al. Chronic consumption of artificial sweetener in packets or tablets and type 2 diabetes risk: evidence from the E3N-European Prospective Investigation into cancer and nutrition study. *Annals of Nutrition and Metabolism*. 2017;70(1):51–58. <https://doi.org/10.1159/000458769>.
28. Schmidt C, Bornmann R, Schuldt S, Schneider Y, Rohm H. Thermo-mechanical properties of soft candy: Application of time-temperature superposition to mimic response at high deformation rates. *Food Biophysics*. 2017;13(1):11–17. <https://doi.org/10.1007/s11483-017-9506-3>.
29. Nikitin IA, Bogatyryev VA, Mironchenko YaA, Lavrov SV. Development of chocolate technology for dietary purposes based on natural sweeteners. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2017;79(2)(72):153–158. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-2-153-158>.
30. Aidoo RP, Depypere F, Afoakwa EO, Dewettinck K. Industrial manufacture of sugar-free chocolates – Applicability of alternative sweeteners and carbohydrate polymers as raw materials in product development. *Trends in Food Science and Technology*. 2013;32(2):84–96. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.05.008>.
31. Belščak-Cvitanović A, Komes D, Dujmović M, Karlović S, Biskić M, Brncić M, et al. Physical, bioactive and sensory quality parameters of reduced sugar chocolates formulated with natural sweeteners as sucrose alternatives. *Food Chemistry*. 2015;167:61–70. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.064>.
32. Konar N, Palabiyik I, Toker OS, Polat DG, Kelleci E, Pirouzian HR, et al. Conventional and sugar-free probiotic white chocolate: Effect of inulin DP on various quality properties and viability of probiotics. *Journal of Functional Foods*. 2018;43:206–213. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.02.016>.
33. Tkeshelashvili ME, Bobozhonova GA, Sorokina AV. Development of confectionery enriched with protein. *Storage and Processing of Farm Products*. 2019;(1):57–65. (In Russ.).
34. Krylova EN, Mavrina EN, Savenkova TV. The use of sweeteners in the production of fruit jelly candies. *Confectionery manufacture*. 2015;(6):17–18. (In Russ.).
35. Tabatorovich AN, Reznichenko IYu. Formulation and quality assessment of diabetic jelly marmalade “karkade” fortified with succinic acid. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2019;49(2):320–329. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-320-329>.
36. Tabatorovich AN, Reznichenko IYu. Rationale for the formulations and quality assessment of jelly marmalade based on roselle infusion (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Food Industry*. 2019;(5):66–71. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10075>.
37. Reznichenko IYu, Tabatorovich AN, Chistyakov AM. Method of manufacturing sorbitol and stevioside enriched by iodine-caseine additive pastille for special purpose. *Russia patent RU 2657475C1*. 2018.
38. Galiyeva AI, Reznichenko IYu, Iwaniec GE. Substantiation of formulas of enriched sugar-centered dragée. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2014;33(2):39–44. (In Russ.).
39. Dorn GA, Galieva AI, Reznichenko IYu, Guryanov YuG. Development formulation and production technology sugar confectionery as factors form them quality. *Technology and merchandising of the innovative foodstuff*. 2014;24(1):62–68. (In Russ.).
40. Reznichenko IYu, Galieva AI. Development and assessment of quality of new sugar confectionery. *International Research Journal*. 2013;15(8–2):59–60. (In Russ.).
41. Lazareva TN, Matveeva TV. Inulin and oligoructose use to reduce sugar formula amount and mélange in biscuits. *Technology and merchandising of the innovative foodstuff*. 2011;7(2):18–22. (In Russ.).
42. Reznichenko IYu, Sidorova OS. Development of diabetic flour confectionary products. *Food Industry*. 2008;(7):58–60. (In Russ.).
43. Zorkina NN, Reznichenko IYu. Sugar free sponge-cake production method. *Russia patent RU 2532438C1*. 2014.
44. Mariotti M, Alamprese C. About the use of different sweeteners in baked goods. Influence on the mechanical and rheological properties of the doughs. *LWT – Food Science and Technology*. 2012;48(1):9–15. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.03.001>.

45. Spahova MV, Kolendina NB, Voevodina OS. Oatmeal cookies with stevioside. Food Industry. 2012;(11):61–63. (In Russ.).
46. Popova NN, Shchetilina IP, Denisova AA, Kiseleva EA. Development of wafers with lowered glycemic index. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2016;70(4):181–186. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-4-181-186>.
47. Nikitina TA, Kliukina ON, Ptichkina NM. The study on consumer characteristics of dietary food analogous to Italian dessert of tiramisu. Food Processing: Techniques and Technology. 2016;41(2):67–72. (In Russ.).
48. Soldatova EA, Savenkova TV. Aspects of freeze flour confectionery products using sugar substitutes. Bread products. 2015;(6):50–52. (In Russ.).

Сведения об авторах

Резниченко Ирина Юрьевна

д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой управления качеством, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-54, e-mail: Irina.Reznichenko@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-7486-4704>

Щеглов Михаил Сергеевич

аспирант кафедры управления качеством, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 35-26-71, e-mail: soonofa@gmail.com

Information about the authors

Irina Yu. Reznichenko

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Head of the Department of Quality Management, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-54, e-mail: Irina.Reznichenko@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-7486-4704>

Mikhail S. Shcheglov

Postgraduate Student of the Department of Quality Management, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 35-26-71, e-mail: soonofa@gmail.com

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-588-601>
УДК 343.535:005+631.1(571.17)

Оригинальная статья
<http://fppt.ru>

Методический инструментарий диагностики несостоятельности (банкротства) организаций в системе антикризисного управления



С. Г. Черниченко*^{ORCID}, Р. М. Котов^{ORCID}

Кемеровский государственный университет^{ORCID},
Кемерово, Россия

Дата поступления в редакцию: 22.05.2020
Дата принятия в печать: 25.12.2020

*e-mail: chernichenko66@mail.ru



© С. Г. Черниченко, Р. М. Котов, 2020

Аннотация.

Введение. В качестве важнейшего элемента механизма правового регулирования рыночных отношений предприятий в современной экономике выступает институт несостоятельности (банкротства). Это обуславливает значимость проблемы прогнозирования потенциального дефолта в общей системе антикризисного управления народным хозяйством и предопределяет применение современных методических технологий и инструментария антикризисной диагностики для своевременного принятия управленческих решений.

Объекты и методы исследования. Аналитическая информация носит многоярусный характер и отражает общероссийский, общепромышленный, региональный, регионально-отраслевой и корпоративный уровни. В качестве центрального объекта анализа выступают сельскохозяйственные предприятия Кемеровской области. Форматирование информации предусматривается с трех позиций: законодательный, статистический и диагностический форматы.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе исследования проведена оценка ситуативного состояния внешних факторов и трендов в движении отдельных компонентов антикризисной диагностики в заданном секторе экономики на фоне общероссийских и общепромышленных тенденций. По результатам анализа зафиксирован высокий уровень чувствительности предприятий к риску банкротства, но отмечено снижение этого уровня в динамике за период 2014–2018 гг. Второй этап посвящен созданию селективно-индикативной модели диагностики несостоятельности (банкротства) российских организаций с учетом регионально-отраслевой спецификации и ориентацией на крупные и средние сельскохозяйственные предприятия региона.

Выводы. Итоговую комплектацию генеральных экспонентов диагностической модели можно квалифицировать как нейроаналог «классических» моделей, игнорирующий значения коэффициентов регрессии, обычно не адаптированных к российским реалиям. Модель, построенная на базе индикаторов банкротства с учетом их индивидуального «долевого участия» в рейтинговом числе, может быть использована в качестве гибкого методического инструмента диагностики банкротства в народном хозяйстве России.

Ключевые слова. Несостоятельность, банкротство, диагностика, антикризисное управление, индикатор, модель, спецификация, прогнозирование

Для цитирования: Черниченко, С. Г. Методический инструментарий диагностики несостоятельности (банкротства) организаций в системе антикризисного управления / С. Г. Черниченко, Р. М. Котов // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 588–601. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-588-601>.

Original article

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

Methodological Tools for Diagnosing Insolvency (Bankruptcy) of Organizations in the Anti-Crisis Management System

Svetlana G. Chernichenko*^{ORCID}, Roman M. Kotov^{ORCID}

Received: May 22, 2020
Accepted: December 25, 2020

Kemerovo State University^{ORCID}, Kemerovo, Russia

*e-mail: chernichenko66@mail.ru



© S.G. Chernichenko, R.M. Kotov, 2020

Abstract.

Introduction. Bankruptcy is the most important element of legal regulation of modern market relations. National economy has to be able to predict a potential default in the general system of anti-crisis management. Therefore, it needs advanced techniques and tools

of anti-crisis diagnostics for the timely management solutions.

Study objects and methods. The analytical information presented in this work is multi-tiered and reflects the All-Russian, industry-wide, regional, regional-industry, and corporate levels. The research featured agricultural enterprises of the Kemerovo region. The information underwent three types of formatting: legislative, statistical, and diagnostic.

Results and discussion. During the first stage, the authors assessed external factors and trends in individual components of anti-crisis diagnostics in a given economy sector against the background of All-Russian and industry-wide trends. Enterprises appeared sensitive to bankruptcy risk; the trend decreased in 2014–2018. The second stage involved developing of a selective-indicative model for diagnosing insolvency of Russian organizations. The model took into account regional and industrial traits and focuses on large and medium-sized agricultural enterprises in the region. The model selected general indicators from a set of studied parameters, formed from fifty financial ratios presented in twenty-two of the most well-known methods of anti-crisis analysis. Bankruptcy was diagnosed on the basis of preference matrix, according to the criterion of the active use of coefficients in analytical practice. A comparative analysis of bankruptcy criteria and indicators made it possible to define the degree of adequacy of the set of indicators. Four analytical vectors were defined after thematic grouping of the identified indicators: balance sheet liquidity (current liquidity ratio), property and capital structure (financial dependence and asset mobility ratios), security (working capital ratio with own circulating assets), efficiency (economic profitability, or loss ratio, and the ratio of business activity in the market). The equation of rating assessment of the insolvency probability demonstrated the total impact of these indicators, taking into account their individual “equity participation” in the aggregate of key parameters.

Conclusion. The final set of general exponents of the diagnostic model can be qualified as a neuro-analogue of “classical” models that ignores the values of the regression coefficients, which are usually not adapted to Russian realities. The model built on the basis of bankruptcy indicators, taking into account their individual “equity participation” in the rating number, can be used as a flexible methodological tool for diagnosing bankruptcy in the national economy of Russia.

Keywords. Insolvency, bankruptcy, diagnostics, anti-crisis management, indicator, model, specification, forecasting

For citation: Chernichenko SG, Kotov RM. Methodological Tools for Diagnosing Insolvency (Bankruptcy) of Organizations in the Anti-Crisis Management System. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(4):588–601. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-588-601>.

Введение

Проблематика антикризисного управления содержит проблемы распознавания предкризисных ситуаций, методологические проблемы прогнозирования кризисов, проблемы разработки инновационных стратегий финансового оздоровления предприятия и т. п. В этом контексте все большее значение и актуальность приобретают проведение глубоких научных исследований и разработка прикладных референций в области методических технологий финансовой диагностики несостоятельности (банкротства) российских предприятий. Современная финансовая наука аккумулировала опыт по выявлению предкризисных факторов и оценке вероятности несостоятельности (банкротства) предприятий. Однако непосредственное использование зарубежных разработок невозможно из-за невыполнения основных условий их применения, а исследования российских ученых по данному вопросу либо отражают адаптацию известных моделей зарубежных авторов, либо имеют рекомендательный и незавершенный характер.

В этой связи проблема выявления наиболее результативных моделей прогнозирования банкротства предприятий представляется очень важной, т. к. эффективная оценочная процедура на стадии принятия управленческих решений позволяет предотвратить проблему дефолта в народном хозяйстве.

Федеральным законом № 127-ФЗ от 26.10.2002 г. (ред. от 03.07.2019) «О несостоятельности

(банкротстве)» определена сущность соответствующего термина. «Несостоятельность (банкротство) – признанная арбитражным судом неспособность должника в полном объеме удовлетворить требования кредиторов по денежным обязательствам, о выплате выходных пособий и (или) об оплате труда лиц, работающих или работавших по трудовому договору, и (или) исполнить обязанность по уплате обязательных платежей». Признаки банкротства определены статьей 3 закона. «Юридическое лицо считается неспособным удовлетворить требования кредиторов по денежным обязательствам и (или) исполнить обязанность по уплате обязательных платежей, если соответствующие обязательства и (или) обязанность не исполнены им в течение трех месяцев с даты, когда они должны были быть исполнены». В мировой практике известны некоторые критерии банкротства, которые принято подразделять на формальные и неформальные (табл. 1).

В качестве ключевых формальных признаков банкротства можно признать критерий неплатежеспособности (денежных потоков) и критерий дисбаланса стоимости имущества и обязательств должника. Основные неформальные критерии следует сгруппировать следующим образом: недостаточный и/или снижающийся во времени уровень ликвидности баланса (и воздействующих факторов ликвидности); нерациональная структура имущества и его источников (активов и пассивов); отрицательный финансовый результат, свидетельствующий о неэффективной деятельности;

Таблица 1. Формальные и неформальные критерии банкротства предприятий

Table 1. Formal and informal criteria for bankruptcy of enterprises

Классификация критериев	Описание	Содержание
Формальные критерии банкротства		
объективный критерий	критерий неплатежеспособности (потока денежных средств)	должник признается банкротом, если не имеет средств расплатиться с кредиторами в течение определенного времени
критерий неоплаченности	дисбаланс стоимости имущества и обязательств	должник признается банкротом, если стоимость его имущества меньше общего размера его обязательств
Неформальные критерии банкротства		
основные критерии	показатели с низким (неблагоприятным) уровнем или динамикой, которые в настоящее время могут привести к неудовлетворительному финансовому положению (банкротству)	<ul style="list-style-type: none"> – неудовлетворительная структура имущества предприятия (в первую очередь оборотных активов); – замедление оборачиваемости средств (чрезмерное накопление запасов, ухудшение состояния расчетов с покупателями); – значительные суммы дебиторской задолженности, относимые на убытки; – тенденция к росту в их составе труднореализуемых активов (сомнительной дебиторской задолженности, запасов товарно-материальных ценностей с длительным периодом оборота); – тенденция к вытеснению в составе обязательств предприятия дешевых заемных средств «дорогостоящими» и их неэффективное размещение в активе; – сокращение периода погашения кредиторской задолженности при замедлении оборачиваемости оборотных активов; – наличие просроченной кредиторской задолженности и увеличение ее удельного веса в составе обязательств предприятия; – тенденция опережающего роста наиболее срочных обязательств в сравнении с изменением высоколиквидных активов; – падение значений коэффициентов ликвидности; – нерациональная структура привлечения и размещения средств, формирование долгосрочных активов за счет краткосрочных источников средств; – убытки, отражаемые в балансе и др.
вспомогательные критерии	показатели и неформализованные признаки, низкий (неблагоприятный) уровень или динамика которых не является основанием для рассмотрения текущего финансового положения как критического, но сигнализирует о возможности резкого его ухудшения, если не будут приняты соответствующие действенные меры	<ul style="list-style-type: none"> – нарушение ритмичности, продолжительные остановки производства; – недальновидная инвестиционная политика; – недальновидная кадровая политика, результатом которой может стать потеря ключевых сотрудников; – участие в судебных разбирательствах сомнительного характера; – чрезмерная зависимость результатов работы от одного проекта, вида оборудования и т. п.

Составлено авторами по [4, 12].

The table was based on [4, 12].

замедление оборачиваемости оборотного капитала. Вспомогательные критерии косвенно влияют на проявление основных признаков и характеризуют непрофессиональный и неэффективный уровень производственно-технологической, финансовой, инвестиционной, юридической, маркетинговой и кадровой политики предприятия.

Развитие процесса финансовой несостоятельности (банкротства) имеет определенную диалектику. Кризисный процесс включает четыре последовательных, формирующих друг друга,

стадии: стратегический кризис (потеря конкурентоспособности бизнес-модели на рынке), тактический кризис (падение продаж, отрицательный денежный поток, кассовые разрывы, привлечение дорогих источников финансирования), кризис обеспеченности (высокая закредитованность, мультипликативный эффект задолженности) и кризис неплатежеспособности («работа на проценты», финансовая зависимость от кредитора, несоизмеримость стоимости имущества и размера обязательств и т. п.).

Для поддержания безубыточной деятельности организации целесообразно проведение ранней финансовой диагностики несостоятельности (банкротства) и возможного предупреждения дефолта. Термин «предупреждение» демонстрирует совокупность мер предотвращения кризиса или выхода предприятия из кризисного состояния с минимальными потерями. С этой целью и формируется политика антикризисного управления, отражающая процесс применения форм, методов и процедур, направленных на социально-экономическое оздоровление финансово-хозяйственной деятельности предприятия.

Как всякий управленческий процесс, антикризисное управление базируется на оценочной процедуре. В этой связи в настоящей работе исследуется одна из функциональных подсистем системы антикризисного управления – оценка вероятности наступления несостоятельности (банкротства), которая позволяет определить и применить качественные и количественные параметры в процессе детализированного исследования (анализа) финансового положения предприятия.

Развитие современной парадигмы перспективного анализа в заданной области отражает использование механизмов финансового прогнозирования банкротства. Однако прогнозные модели опираются на ретроспективные данные и предусматривают экстраполяцию ретроспективы на ближайшую перспективу. Таким образом, прогностическая и аналитико-оценочная эмпирические базы в этом случае тождественны, что позволяет нам, с определенной долей условности, применять многопозиционное понятие диагностики несостоятельности (банкротства) экономического субъекта как процесса распознавания и обозначения проблемы, а также установления диагноза ненормального состояния деятельности исследуемой организации (по результатам аналитической и прогностической процедуры).

А, учитывая тот факт, что диагностика осуществляется в рамках системы антикризисного управления, мы не видим препятствий для использования понятий «антикризисный анализ» и «антикризисная диагностика» в качестве условно тождественных терминов.

В качестве инструментов диагностики несостоятельности (банкротства) предусматриваем к использованию накопленный мировой практикой методический аппарат (математические, аналитические и прогнозные модели) и действующие методические технологии. А методический инструментарий диагностики несостоятельности (банкротства) представим в виде совокупности конкретно научных методов и моделей исследования, в том числе их ключевых экспонентов.

Объекты и методы исследования

Целевая направленность исследовательской работы ориентирована на создание селективно-индикативной модели диагностики несостоятельности (банкротства) российских организаций с регионально-отраслевой спецификацией.

Объектом исследования выступают отдельные процессы, протекающие внутри организаций, и закономерности их функционирования с учетом влияния внешней среды. В качестве предмета исследования рассматривается диагностическая процедура в области несостоятельности (банкротства) организаций.

Теоретической и методологической основой исследования послужили труды отечественных и зарубежных исследователей, посвященные вопросам теории банкротства, теории принятия решений, теории риск-менеджмента и антикризис-менеджмента.

Информационная база исследования отражает материалы государственной статистики и справочно-методическую литературу.

В процессе исследования применялись следующие методы: экономико-статистический, монографический, абстрактно-логический, методы сравнения и группировки, анализа и синтеза и др.

Результаты и их обсуждение

Представленная для использования методического инструментария аналитическая информация носит многоярусный характер. Она отражает общероссийский, отраслевой общероссийский (общепромышленный), региональный, регионально-отраслевой и корпоративный уровни. Первые четыре уровня информации целесообразно использовать для оценки ситуативного состояния внешних факторов потенциальной несостоятельности (банкротства) виртуального предприятия. Пятый уровень информации, имеющий внутрифирменный характер, может свидетельствовать об индивидуальном уровне риска несостоятельности (банкротства) реальной организации.

Форматирование информации предусматривается в трех направлениях: законодательный, статистический и диагностический форматы. Законодательный формат принимает исторический характер и включает базовые показатели прогностической процедуры банкротства, а именно коэффициенты текущей ликвидности и обеспеченности собственными оборотными средствами. Нормативная система критериев для оценки несостоятельности (неплатежеспособности) предприятия была определена Постановлением Правительства РФ № 498 от 20 мая 1994 г. «О некоторых мерах по реализации законодательства о несостоятельности (банкротстве)» и Методическими положениями по оценке финансового состояния

Формат диагностического инструмента	Уровни аналитической информации				
	общероссийский	общепромышленной	региональный	регионально-отраслевой	корпоративный
1 законодательный					
2 статистический					
3 диагностический					

Рисунок 1. Сопоставление уровней и форматов антикризисных диагностических инструментов¹

Figure 1. Comparison of levels and formats of anti-crisis diagnostic tools

Таблица 2. Анализ основных антикризисных диагностических инструментов в рамках законодательного формата

Table 2. Analysis of the main anti-crisis diagnostic tools within the framework of the legislative format

Показатель/Уровень аналитической информации	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Отклонение, 2018 г. к 2014 г. (+, -)
Коэффициент текущей ликвидности (норма: > 2,0), ед						
Общероссийский уровень	1,25	1,26	1,30	1,37	1,44	0,19
Общепромышленной уровень	2,17	2,37	2,46	2,52	2,62	0,45
Региональный уровень	1,13	1,14	1,16	1,16	1,18	0,05
Регионально-отраслевой уровень	1,76	1,74	1,77	1,82	1,80	0,04
Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами (норма: > 0,1), ед						
Общероссийский уровень	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,07
Общепромышленной уровень	0,17	0,28	0,32	0,33	0,36	0,19
Региональный уровень	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01
Регионально-отраслевой уровень	-1,43	-1,29	-1,12	-1,09	-0,10	1,33

Составлено авторами по [7, 8, 14].

The table was based on [7, 8, 14].

предприятий и установлению неудовлетворительной структуры баланса ФСДН № 31-р от 12 августа 1994 г. (в настоящий момент документы утратили силу). Статистический формат, условно сопряженный с формальными и неформальными критериями несостоятельности (банкротства), представляет информацию о сальдированном финансовом результате, рентабельности активов, удельном весе убыточных организаций). Диагностический формат будет представлен комбинацией индикаторов несостоятельности (банкротства), выявленных на основе конкретных прогностических моделей.

Соотнесение уровней и форматов инструментов диагностики несостоятельности (банкротства) предприятий в прогностической процедуре представлено на рисунке 1.

Законодательный формат информации будет представлен на всех предусмотренных уровнях; статистический формат – на всех уровнях, исключая корпоративный сегмент; а диагностический – коснется только корпоративного яруса использования антикризисных диагностических инструментов.

С учётом выше изложенного материала была спланирована основная исследовательская работа.

На первом этапе диагностической работы проведена оценка ситуативного состояния внешних факторов потенциальной несостоятельности (банкротства) виртуального предприятия. Второй этап посвящён созданию селективно-индикативной модели диагностики несостоятельности (банкротства) российских организаций с регионально-отраслевой спецификацией (ориентацией на крупные и средние сельскохозяйственные предприятия Кемеровской области). Модель конструировалась на базе отбора (селекции) генеральных показателей (индикаторов) из совокупности исследуемых параметров, что обуславливает ее описательную характеристику.

Первый этап исследований был посвящён ситуативному состоянию и трендам в движении отдельных компонентов антикризисной диагностики по данным 2014–2018 гг. В работе рассматривался период новейшей экономической истории с одинаковыми условиями хозяйствования во временных интервалах (период работы субъектов в условиях экономических санкций и политики импортозамещения). Во-первых, на базе статистической информации представлен законодательный формат антикризисных диагностических инструментов (табл. 2).

Статистическая информация, характеризующая уровень коэффициента текущей ликвидности,

¹ Составлено авторами самостоятельно.

Таблица 3. Анализ показателей антикризисной диагностики в границах статистического формата

Table 3. Analysis of indicators of anti-crisis diagnostics within the statistical format

Показатель/Уровень аналитической информации	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Отклонение, 2018 г. к 2014 г. (+, -)
Сальдированный финансовый результат (прибыль минус убыток), млн. руб						
Общероссийский уровень	4347109	7502796	12801581	9036848	13797173	9450064
Общепромышленный уровень	181704	62354	7289	-2176	1692	-180012
Региональный уровень	-88804	-25610	133811	257398	249191	337995
Регионально-отраслевой уровень	-13673	-17692	9136	-2406	1434	15107
Рентабельность активов, %						
Общероссийский уровень	2,5	3,7	5,9	3,8	6,4	3,9
Общепромышленный уровень	1,20	0,70	0,13	-0,05	0,08	-1,12
Региональный уровень	-3,01	-1,94	10,70	11,70	9,50	12,51
Регионально-отраслевой уровень	-8,17	-7,42	2,10	-8,60	1,60	9,77
Удельный вес убыточных организаций (в процентах от общего числа организаций), %						
Общероссийский уровень	33,0	32,6	29,5	31,9	27,4	-5,6
Общепромышленный уровень	28,1	28,2	31,4	30,2	29,8	1,7
Региональный уровень	39,8	36,6	36,5	35,0	33,7	-6,1
Регионально-отраслевой уровень	48,7	47,1	39,4	46,2	28,9	-19,8
Коэффициент автономии (финансовой независимости), ед						
Общероссийский уровень	0,501	0,502	0,510	0,513	0,517	0,006
Общепромышленный уровень	0,580	0,621	0,642	0,651	0,660	0,080
Региональный уровень	0,642	0,677	0,678	0,676	0,670	0,028
Регионально-отраслевой уровень	0,410	0,430	0,431	0,460	0,490	0,080

Составлено авторами по [7–11, 14].

The table was based on [7–11, 14].

свидетельствует о ненормативных значениях показателя (≥ 2) на общероссийском, региональном и регионально-отраслевом уровнях. Но в то же время – об ярко выраженной положительной тенденции их роста.

Общепромышленные значения коэффициента соответствуют норме. Это связано с огромными массивами дебиторской задолженности в деятельности российских сельскохозяйственных предприятий. Движение параметра во времени отражает условно положительную тенденцию. Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами демонстрирует нормативное значение и стабильную динамику роста на общероссийском и общепромышленном уровнях.

Не достигает заданной величины показатель российских сельскохозяйственных предприятий. Однако он демонстрирует свое стремление к норме. А его положительная величина говорит в пользу фактического наличия собственного оборотного капитала. На регионально-отраслевом уровне отслеживается недостаточность собственного оборотного капитала организаций, правда, снижающаяся во времени.

В связи с выявленной проблемой недостаточности собственного капитала для формирования оборотных фондов было принято решение о расширении статистического формата аналитического материала за счет коэффициента автономии (финансовой независимости) организаций.

Во-вторых, в таблице 3 отражены основные экспоненты статистического формата.

При значительном росте положительного сальдированного финансового результата на общероссийском (на 9450064 млн. руб.), региональном (на 337995 млн. руб.) и регионально-отраслевом (на 15107 млн. руб.) уровнях данный показатель в отраслевом сегменте российской экономики имеет общую негативную динамику (снижение на 180012 млн. руб.). Отмечено многократное падение сальдированной прибыли в 2014–2016 гг. (с 181704 млн. руб. до 7289 млн. руб.), получен сальдированный убыток в 2017 г. (-2176 млн. руб.), отслеживается стремление к улучшению ситуации в 2018 г. (сальдированная прибыль 7289 млн. руб.).

Региональный уровень аналитической информации свидетельствует о полученном сальдированном убытке в 2014–2015 гг. (-88804 млн. руб. и -25 610 млн. руб. соответственно) и о кардинальных изменениях в финансовых результатах деятельности региональных предприятий в 2016–2018 гг. (положительный финансовый результат: 133811 млн. руб., 257398 млн. руб., 249191 млн. руб. соответственно).

На регионально-отраслевом уровне экономики ситуация менее устойчивая: если период 2014–2015 гг. характеризуется растущим сальдированным убытком (-13673 млн. руб.

и –17692 млн. руб. соответственно), то в 2016 г. сельскохозяйственные предприятия Кемеровской области выходят на положительный финансовый результат (9136 млн. руб.). Однако в 2017–2018 гг. сценарий «рваного тренда» повторяется (сальдированный убыток –2406 млн. руб. и сальдированная прибыль 1434 млн. руб. соответственно).

Соответствующие изменения отмечены и в динамике уровня рентабельности (убыточности) активов организаций: рост показателя в общероссийском (с 2,5 % в 2014 г. до 6,4 % в 2018 г.), региональном (с –3,01 % в 2014 г. до 9,5 % в 2018 г.) и регионально-отраслевом (с –8,17 % в 2014 г. до 1,6 % в 2018 г.) сегментах экономики. Также снижение уровня рентабельности активов российских сельскохозяйственных предприятий с 1,2 % до 0,08 %. При этом наблюдается аритмия указанного параметра на всех уровнях аналитической информации, что свидетельствует о дестабилизации деятельности предприятий в новейших экономических условиях.

На последнюю расчётную дату рентабельность активов сельскохозяйственных предприятий Кузбасса ниже общероссийского и регионального уровней в 4 и 5,9 раза соответственно. При снижении доли убыточных предприятий на общероссийском (на 5,6 %), региональном (на 6,1 %) и регионально-отраслевом (на 19,8 %) уровнях отмечен рост их удельного веса в зоне ответственности сельскохозяйственных предприятий России (на 1,7 %). Если в 2014–2015 гг. доля убыточных сельскохозяйственных предприятий Кузбасса превышала общероссийский, общероссийский и региональный уровни, то, начиная с 2016 г., ситуация начала выравниваться. Однако в 2017 г. опять происходит существенное увеличение доли неэффективных предприятий в регионально-отраслевом сегменте экономики. Но к концу 2018 г. показатель равноценен общероссийскому и общероссийскому сегментам.

В связи с тем, что на регионально-отраслевом уровне была выявлена недостаточность собственного оборотного капитала организаций (табл. 2), подвергали анализу коэффициент автономии (финансовой независимости), отражающий долю собственного капитала в совокупных активах экономического субъекта. Общероссийский, общероссийский и региональный уровни коэффициента финансовой независимости отражают соответствие норме ($\geq 0,5$) и общую положительную тенденцию. Регионально-отраслевая компонента характеризуется недостаточной концентрацией собственного капитала, но стремлением показателя к нормальному значению. В 2018 г. коэффициент автономии максимально приближен к рекомендуемому уровню (0,490). Следовательно,

в течение расчетного периода произошло снижение уровня чувствительности предприятий к финансовым рискам в регионально-отраслевом сегменте хозяйствования.

Синтезируя аналитическую информацию, характеризующую уровень риска банкротства сельскохозяйственных предприятий Кемеровской области, и оценивая ее на фоне общероссийского, общероссийского и регионального форматов, мы пришли к выводу о сложности ее однозначной оценки. С одной стороны, отслеживаются позитивные тенденции, связанные с общей положительной динамикой коэффициентов текущей ликвидности и обеспеченности собственными оборотными средствами, со значительным общим ростом положительного сальдированного финансового результата и уровня рентабельности активов, со снижением доли убыточных предприятий. Но, с другой стороны, выявлены определенные проблемные места, обусловленные ненормативным уровнем коэффициентов текущей ликвидности и обеспеченности собственными оборотными средствами, отрицательной величиной собственного оборотного капитала, гипераритмией сальдированного финансового результата, низким уровнем рентабельности активов, недостаточной величиной собственного капитала и высокой долей убыточных предприятий. В целом, при оценке ситуативного состояния и трендов в движении отдельных компонентов антикризисной диагностики в заданном секторе экономики зафиксирован высокий уровень чувствительности предприятий к риску банкротства, но снижение этого уровня в динамике за период 2014–2018 гг.

На втором этапе исследовательской процедуры разработана селективно-индикативная конструкция диагностики вероятности банкротства предприятий с учетом регионально-отраслевой спецификации. Оценка вероятности банкротства экономического субъекта на ранних стадиях предполагает применение аналитических моделей, формируемых на основе исторического (ретроспективного) анализа.

Действующие прогностические модели традиционно классифицируются по нескольким критериям: по типу формализации (количественные, качественные, комбинированные), по признаку используемого инструмента оценки (шкалы вероятности, системы рейтингов), по типу зависимости (линейно-вероятностные, логит-модели (*logit model*) и пробит-модели (*probit model*)) и т. п. Для целей прогнозирования финансовой несостоятельности применяются детерминированные комбинированные аддитивно-мультипликативные аналитические модели с формированием «Z-счетов» (так называемые «классические» модели).

В современной аналитической практике все чаще применяются нейроаналоги «классических» моделей

прогнозирования банкротства, которые игнорируют значения ранее полученных числовых коэффициентов регрессии. Считается, что нейросетевые аналоги «классических» моделей целесообразно использовать в качестве гибкого аналитического инструмента диагностики неплатежеспособности и прогнозирования банкротства, что соответствует парадигме анализа стратегических данных. Несмотря на значительное количество и высокое прогностическое качество многих количественных моделей, следует подчеркнуть их общие недостатки, связанные с игнорированием макроэкономических факторов, регионально-отраслевой принадлежности и особенностей деятельности предприятия и т. п. Интегральный подход к прогнозированию банкротства экономических субъектов предполагает выбор лишь нескольких базовых параметров из множества применяемых на практике аналитических коэффициентов.

С целью обнаружения основных экспонентов антикризисного анализа введено понятие индикаторов (указателей) несостоятельности (банкротства), т. е. набор ключевых относительных показателей, гипотетически обладающих наиболее высокими прогностическими качествами. В процессе сравнительного анализа авторских моделей, с целью выявления индикаторов несостоятельности (банкротства) было исследовано конечное множество финансовых коэффициентов на примере 22-х наиболее известных классических, адаптированных и оригинальных методик антикризисного анализа, а именно: (1) двухфакторная и (2) пятифакторная модели множественного дискриминантного анализа угрозы банкротства Э. Альтмана; (3) система показателей У. Бивера для оценки кредитного риска и вероятности банкротства предприятия; (4) четырехфакторная прогнозная модель финансовой несостоятельности (банкротства) Р. Таффлера и Г. Тишоу; (5) модель «сигнального» анализа (по схеме: недостатки, ошибки, симптомы) Дж. Аргенти; (6) модель классификации кредитов и выявления риска банкротства (CART – «рекурсивное разбиение») Дж. Ф. Синки; (7) двухфакторная модель М. А. Федотовой; (8) пятифакторная модель Р. С. Сайфулина и Г. Г. Кадыкова для среднесрочного прогнозирования банкротства; (9) четырёхфакторная модель Г. В. Давыдовой и А. Ю. Беликова для прогноза риска банкротства («модель R», «иркутская модель»); (10) двухфакторная модель Е. А. Мизиковского, И. М. Соколова и И. И. Соколова; (11) шестифакторная математическая модель О. П. Зайцевой, основанная на расчёте комплексного коэффициента банкротства; (12) современный альтернативный методический подход к оценке вероятности банкротства А. Колышкина; (13) модель, разработанная учеными Казанского государственного технологического университета,

с учетом специфики отраслей; (14) модель Р. Лиса; (15) модель Гордона Спрингейта; (16) модель Д. Фулмера; (17) модель оценки финансовой ситуации предприятия (метод credit-men) Ж. Депаляна; (18) методика Д. Дюрана по определению уровня платёжеспособности предприятия; (19) шестифакторная модель прогнозирования банкротства Л. В. Донцовой и Н. А. Никифоровой; (20) пятифакторная модель В. В. Ковалева и О. Н. Волковой; (21) модель прогнозирования финансовой несостоятельности фирмы, на основе надзора над ссудами (автор – Чессер); (22) пятифакторная модель Г. В. Савицкой по оценке вероятности банкротства.

Выявление индикаторов несостоятельности (банкротства) осуществлялось на основе матрицы предпочтения, имеющей стандартную структуру: в строках отражались финансовые коэффициенты антикризисной диагностики, а в столбцах порядковые номера авторских методик. К выбору предназначались параметры, наиболее активно применяемые в прогностической процедуре. Это отразилось на фиксации критерия выявления индикаторов – активность (частота, множественность) их использования.

Исследовав 50 коэффициентов и изучив уровень значимости (процент «популярности») каждого из них в совокупности методик, можно утверждать, что генеральными индикаторами несостоятельности (банкротства) являются:

- коэффициент текущей ликвидности (покрытия), который используется в 10 методиках из 22, т. е. его распространенность в совокупности моделей 45,45 %;
- коэффициент деловой активности на рынке (отношение выручки и совокупных активов), используемый в 6 исследованных моделях, с уровнем значимости 27,27 %;
- коэффициент финансовой зависимости (финансовый рычаг), который рассчитывается в 5 методиках, и имеет уровень «популярности» 22,73 %;
- коэффициент мобильности активов (доля оборотного капитала в совокупных активах), отраженный в 5 методиках, и получивший уровень «популярности» в аналитической практике 22,73 %;
- коэффициент обеспеченности оборотного капитала собственными оборотными средствами, представленный в 4 методиках, с уровнем популярности 18,18 %;
- показатель экономической рентабельности (убыточности) деятельности предприятия, применяемый в 4 методиках, с уровнем значимости, аналогичным предыдущему коэффициенту 18,18 %.

Был сопоставлен набор выявленных индикаторов со списком формальных и основных неформальных признаков банкротства (см. группировку признаков на основе табл. 1) предприятий (табл. 4).

Данные, приведенные в таблице 4, требуют описания. Критерий неплатежеспособности

Таблица 4. Соответствие выявленных генеральных индикаторов несостоятельности (банкротства) формальным и основным неформальным признакам банкротства

Table 4. Compliance of the identified general indicators of insolvency (bankruptcy) with formal and basic in-formal signs of bankruptcy

Признаки банкротства	Индикаторы несостоятельности (банкротства)
критерий неплатежеспособности (денежных потоков)	коэффициент деловой активности на рынке
критерий дисбаланса стоимости имущества и обязательств должника	коэффициент финансовой зависимости (финансовый рычаг)
недостаточный и/или снижающийся во времени уровень ликвидности баланса (и воздействующих факторов ликвидности)	коэффициент текущей ликвидности (покрытия)
нерациональная структура имущества и его источников (активов и пассивов)	коэффициент обеспеченности оборотного капитала собственными оборотными средствами
отрицательный финансовый результат, свидетельствующий о неэффективной деятельности	показатель экономической рентабельности (убыточности)
замедление оборачиваемости оборотного капитала	коэффициент мобильности активов (доля оборотного капитала в совокупных активах)

Составлено авторами самостоятельно.

The table was based on the data obtained by the authors.

(денежных потоков) можно оценить с помощью коэффициента деловой активности предприятия на рынке (соотношение выручки и активов), т. к. выручка от реализации продукции предприятия формирует денежный поток, а ее соотношение с совокупными активами даст представление о достаточности денежных средств для непрерывного функционирования экономического субъекта. Критерий дисбаланса стоимости имущества и обязательств должника логично было бы оценить посредством соотношения стоимости заёмного капитала и размера имущества предприятия, что позволяет сделать коэффициент финансовой зависимости (финансовый рычаг). Недостаточный и/или снижающийся во времени уровень ликвидности баланса (и воздействующих факторов ликвидности) измерит и оценит коэффициент текущей ликвидности (покрытия). Применение коэффициента обеспеченности оборотного капитала собственными оборотными средствами позволит дать оценку критерию нерациональной структуры имущества и его источников (активов и пассивов) в связи с тем, что при расчёте данного показателя задействованы

ключевые структурные компоненты активов (внеоборотные активы, оборотные активы) и пассивов (собственный капитал). Критерий отрицательного финансового результата, свидетельствующего о неэффективной деятельности предприятия, закономерно будет оценить через показатель экономической рентабельности (убыточности) деятельности предприятия. Односторонняя оценка такого кризисного признака, как замедление оборачиваемости оборотного капитала, возможна посредством коэффициента мобильности активов (доля оборотного капитала в совокупных активах).

Таким образом, результаты сравнительного анализа признаков и индикаторов банкротства свидетельствуют об их абсолютной совместимости, что указывает на адекватность набора выявленных индикаторов несостоятельности (банкротства) в заданной ситуации.

После оценки адекватности набора индикаторов была отражена процедура их типизации. Тематическая группировка выявленных индикаторов несостоятельности (банкротства) позволяет наметить 4 аналитических вектора: ликвидность баланса

Индикаторы несостоятельности (банкротства)			
Ликвидность	Эффективность	Обеспеченность	Структура имущества и капитала
Коэффициент текущей ликвидности	Показатель экономической	Коэффициент обеспеченности оборотного капитала собственными оборотными средствами	Коэффициент финансовой зависимости
	Коэффициент деловой активности на рынке		Коэффициент мобильности активов

Рисунок 2. Тематическая группировка генеральных индикаторов несостоятельности (банкротства) предприятий²

Figure 2. Thematic grouping of general indicators of insolvency (bankruptcy) of enterprises

² Составлено авторами самостоятельно.

Таблица 5. Перечень и существенные характеристики генеральных экспонентов селективно-индикативной модели диагностики несостоятельности (банкротства) сельскохозяйственных организаций Кемеровской области

Table 5. List and essential characteristics of the general exponents of the selective-indicative model for diagnosing the insolvency (bankruptcy) of agricultural organizations in the Kemerovo region

Коэффициент	Уровень «долевого участия», %	Критическое значение	Формула расчета
(X1) коэффициент текущей ликвидности, ед	29,410	$\geq 2,0$	$\frac{\text{Оборотные активы}}{\text{Текущие обязательства}}$
(X2) коэффициент деловой активности на рынке, оборотов	17,646	$\geq 0,47$	$\frac{\text{Выручка}}{\text{Совокупные активы}}$
(X3) коэффициент финансовой зависимости (финансовый рычаг), ед	14,708	$< 0,5$	$\frac{\text{Заемный капитал}}{\text{Валюта баланса}}$
(X4) коэффициент мобильности активов, ед	14,708	$\geq 0,5$	$\frac{\text{Оборотные активы}}{\text{Активы}}$
(X5) коэффициент обеспеченности оборотного капитала собственными оборотными средствами, ед	11,764	$\geq 0,1$	$\frac{\text{Собственный капитал} - \text{Внеоборотные активы}}{\text{Оборотный капитал}}$
(X6) показатель экономической рентабельности (убыточности), ед	11,764	$\geq 0,0646$	$\frac{\text{Чистая прибыль}}{\text{Совокупные активы}}$

Составлено авторами самостоятельно.

The table was based on the data obtained by the authors.

(коэффициент текущей ликвидности), структура имущества и капитала (коэффициенты финансовой зависимости и мобильности активов), обеспеченность (коэффициент обеспеченности оборотного капитала собственными оборотными средствами), эффективность (показатель экономической рентабельности (убыточности) и коэффициент деловой активности на рынке). Результаты тематической группировки представим на рисунке 2.

Определяя «долевое участие» каждого показателя в совокупности индикаторов (154,54 %), получили следующие результаты: (X1) коэффициент текущей ликвидности (покрытия) – 29,410 %; (X2) коэффициент деловой активности на рынке – 17,646 %; (X3) коэффициент финансовой зависимости (финансовый рычаг) – 14,708 %; (X4) коэффициент мобильности активов – 14,708 %; (X5) коэффициент обеспеченности оборотного капитала собственными оборотными средствами – 11,764 %; (X6) показатель экономической рентабельности деятельности предприятия – 11,764 %. Основные характеристики ключевых диагностических параметров модели представлены в таблице 5.

В таблице 5 в качестве критических значений экспонентов модели отражены два уровня параметров: классический и специфический. Нормативные значения показателей на классическом уровне теоретически обоснованы и признаны в международной (X1, X3, X5) или отечественной (X4) аналитической практике. Специфический уровень представлен среднегодовыми фактическими «значениями-ориентирами» коэффициентов X2 и X6 центрального объекта анализа – крупных и средних сельскохозяйственных предприятий Кемеровской области.

Таким образом, механизм регионально-отраслевой спецификации диагностической модели касается двух параметров: (X2) коэффициента деловой активности на рынке и (X6) показателя экономической рентабельности (убыточности).

Коэффициент деловой активности демонстрирует следующий числовой ряд: 0,51 оборота (716 дней) в 2014 г., 0,44 оборота (830 дней) в 2015 г., 0,56 оборота (652 дня) в 2016 г., 0,45 оборота (811 дней) в 2017 г., 0,42 оборота (869 дней) в 2018 г. Среднее фактическое значение коэффициента за пять лет составляет 0,47 оборота в году, т. е. средний период оборачиваемости активов – 776 дней. Рассматривая реальный уровень коэффициента на фоне общероссийских и общепромышленных показателей, можно заметить его существенное отставание (общероссийский уровень: 2,55 оборота (143 дня) в 2014 г., 2,48 оборота (147 дней) в 2015 г., 2,42 оборота (151 день) в 2016 г., 2,34 оборота (156 дней) в 2017 г., 2,25 оборота (162 дня) в 2018 г., средняя величина за период 2014–2018 гг. – 2,41 оборота в году или 152 дня – период оборачиваемости активов; общепромышленный уровень: 0,582 оборота (627 дней) в 2014 г., 0,654 оборота (558 дней) в 2015 г., 0,636 оборота (574 дня) в 2016 г., 0,586 оборота (623 дня) в 2017 г., 0,593 оборота (615 дней) в 2018 г., средняя величина за период 2014–2018 гг. – 0,61 оборота в году или 599 дней – период оборачиваемости активов).

Показатель экономической рентабельности (убыточности) имеет следующий динамический ряд: 5,2 % в 2014 г., 6,6 % в 2015 г., 6,4 % в 2016 г., 6,1 % в 2017 г., 8,0 % в 2018 г. Среднее фактическое значение коэффициента за пять лет составляет 6,46 % или 0,0646 единиц. К сожалению,

Таблица 6. Итоговая комплектация генеральных экспонентов селективно-индикативной модели диагностики несостоятельности (банкротства) сельскохозяйственных организаций Кемеровской области

Table 6. Final set of the general exhibitors of the selective-indicative model for diagnosing the insolvency (bankruptcy) of agricultural organizations in the Kemerovo region

Коэффициент	Уровень «долевого участия», %	Критическое значение	Формула расчета
(X1) коэффициент текущей ликвидности, ед.	29,410	$\geq 2,0$	$\frac{\text{Оборотные активы}}{\text{Текущие обязательства}}$
(X2) коэффициент деловой активности на рынке, оборотов	17,646	$\geq 0,47$	$\frac{\text{Выручка}}{\text{Совокупные активы}}$
(X3) коэффициент финансовой независимости (автономии), ед.	14,708	$> 0,5$	$\frac{\text{Заёмный капитал}}{\text{Валюта баланса}}$
(X4) коэффициент мобильности активов, ед.	14,708	$\geq 0,5$	$\frac{\text{Оборотные активы}}{\text{Активы}}$
(X5) коэффициент обеспеченности оборотного капитала собственными оборотными средствами, ед.	11,764	$\geq 0,1$	$\frac{\text{Собственный капитал} - \text{Внеоборотные активы}}{\text{Оборотный капитал}}$
(X6) показатель экономической рентабельности (убыточности), ед.	11,764	$\geq 0,0646$	$\frac{\text{Чистая прибыль}}{\text{Совокупные активы}}$
$VB = 0,29410 \cdot X1 + 0,17646 \cdot X2 + 0,14708 \cdot X3 + 0,14708 \cdot X4 + 0,11764 \cdot X5 + 0,11764 \cdot X6$			

Составлено авторами самостоятельно.

The table was based on the data obtained by the authors.

статистическая компонента по общероссийскому и общепромышленному уровням данного параметра не может быть представлена в связи с отсутствием данной информации.

Следует акцентировать внимание еще на одном показателе (X3), который «выбивается» из списка своим стремлением к минимуму, в отличие от большинства параметров модели с заданным вектором максимизации. Проблему разнонаправленности векторов решить можно, заменив коэффициент финансовой зависимости (норма $< 0,5$) на равноценный обратный коэффициент финансовой независимости (норма $> 0,5$). Таким образом, мы обеспечим однозначное (однонаправленное) движение параметров модели, сопряженное с максимизацией целевой функции.

Опираясь на индивидуальное «долевое участие» параметров в совокупности и представляя его в виде коэффициентов, получили уравнение рейтинговой оценки вероятности наступления несостоятельности (банкротства) предприятия (VB):

$$VB = 0,29410 \cdot X1 + 0,17646 \cdot X2 + 0,14708 \cdot X3 + 0,14708 \cdot X4 + 0,11764 \cdot X5 + 0,11764 \cdot X6 \quad (1)$$

Таким образом, в диагностической модели представлены не традиционные коэффициенты корреляции, а коэффициенты индивидуального «долевого участия» индикаторов в заданной комбинации, подчеркивающие ценность и весомость этих ключевых параметров в аналитической конструкции. В таблице 6 представлена синтезируемая аналитическая информация.

Рассчитали критическое значение заданной функции: $VB = 0,29410 \cdot 2 + 0,17646 \cdot 0,47 + 0,14708 \cdot 0,5 + 0,14708 \cdot 0,5 + 0,11764 \cdot 0,1 + 0,11764 \cdot 0,0646 = 0,837579744$. Для получения результатов итоговой оценки к заданному уравнению применили существующие в аналитической практике нормативные (критические) значения показателей и среднегодовые значения некоторых показателей регионально-отраслевого уровня. Следовательно, градиционная шкала примет следующий вид (критическое значение рейтингового числа $VB = 0,837579744$): если $VB < 0,837579744$, то вероятность банкротства более 50 %; если $VB \geq 0,837579744$, то вероятность банкротства менее 50 %.

Выводы

На основе изученных методик сформирована селективно-индикативная модель диагностики несостоятельности (банкротства) предприятия с регионально-отраслевой спецификацией. Данная диагностическая модель применима для любых предприятий при условии пересмотра критических значений коэффициентов X2 и X6. Итоговую комплектацию генеральных экспонентов диагностической модели можно, с определенной долей условности, квалифицировать как нейроаналог «классических» моделей, игнорирующий значения коэффициентов регрессии, обычно не адаптированных к российским реалиям. Модель, построенная на базе индикаторов банкротства с учетом их индивидуального «долевого участия» в рейтинговом числе, может быть использована в качестве гибкого методического инструмента

диагностики банкротства в народном хозяйстве России.

Критерии авторства

Сбор, обработка, анализ и обобщение материалов исследований – С. Г. Черниченко (50 %). Консультирование, общие выводы по результатам исследования – Р. М. Котов (50 %).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

S.G. Chernichenko was responsible for collection, processing, analysis, and generalization of research materials (50%). R.M. Kotov supervised the research and formulated general conclusions based on the obtained results (50%).

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Анализ направлений и моделей оценки устойчивого роста компаний и корпораций / А. О. Андрианов, Е. Е. Козлова, О. Ю. Бубнова [и др.] // *Финансовая экономика*. – 2019. – № 1. – С. 287–289.
2. Бердникова, Т. Б. Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия / Т. Б. Бердникова. – М. : ИНФА-М, 2014. – 224 с.
3. Болтунова, Е. М. Оценка вероятности банкротства предприятия в российской и зарубежной практике / Е. М. Болтунова // *Экономика и предпринимательство*. – 2014. – Т. 42, № 1–1. – С. 239–244.
4. Давыдова, Г. В. Методика количественной оценки риска банкротства предприятий / Г. В. Давыдова, А. Ю. Беликов // *Управление риском*. – 1999. – № 3. – С. 13–20.
5. Зайцева, О. П. Антикризисный менеджмент в российской фирме / О. П. Зайцева // *Сибирская финансовая школа*. – 1998. – Т. 28–29, № 11–12. – С. 66–73.
6. Казаков, А. В. Разработка моделей прогнозирования банкротства в современных российских условиях / А. В. Казаков, А. В. Колышкин // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*. – 2018. – Т. 34, № 2. – С. 241–266. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu05.2018.203>.
7. Камзабаева, М. С. Развитие методики стратегического анализа внешней среды организации / М. С. Камзабаева // *Финансовая экономика*. – 2019. – № 1. – С. 174–176.
8. Мизиковский, Е. А. Экономический анализ и прогнозирование несостоятельности предприятий / Е. А. Мизиковский, И. М. Соколов, И. И. Соколов // *Современный бухгалтер*. – 2011. – № 5. – С. 10–19.
9. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Кемеровской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kemerovostat.gks.ru>. – Дата обращения: 20.02.2020.
10. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gks.ru>. – Дата обращения: 20.02.2020.
11. Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации. – М. : Росстат, 2017. – 751 с.
12. Регионы России. Социально-экономические показатели. – М. : Росстат, 2018. – 1162 с.
13. Российский статистический ежегодник. – М. : Росстат, 2018. – 694 с.
14. Русак, Н. А. Финансовый анализ субъекта хозяйствования / Н. А. Русак, В. А. Русак. – Минск : Высшая школа, 2016. – 309 с.
15. Савицкая, Г. В. Анализ хозяйственной деятельности предприятий АПК / Г. В. Савицкая. – М. : Инфра-М, 2018. – 519 с.
16. Справочник финансовых показателей отраслей Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.testfirm.ru/finfactor>. – Даты обращения: 20.02.2020.
17. Федеральный закон «О несостоятельности (банкротстве)» от 26.10.2002 N 127-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/185181/>. – Даты обращения: 20.02.2020.
18. Федорова, Е. А. Анализ влияния внешних факторов на прогнозирование финансовой несостоятельности российских компаний / Е. А. Федорова, С. О. Мусиенко, Ф. Ю. Федоров // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*. – 2020. – Т. 36, № 1. – С. 117–133. <https://doi.org/10.21638/spbu05.2020.106>.
19. Шейнман, О. К. Интегрируемые системы алгебраического происхождения и разделение переменных / О. К. Шейнман // *Функциональный анализ и его приложения*. – 2018. – Т. 52, № 4. – С. 94–98. <https://doi.org/10.4213/faa3553>.
20. Шпильрайн, В. Случайность и сложность в группах матриц / В. Шпильрайн // *Фундаментальная и прикладная математика*. – 2019. – Т. 22, № 4. – С. 253–262.
21. Firm age dynamics and causes of corporate bankruptcy: age dependent explanations for business failure / A. Kücher, S. Mayr, C. Mitter [et al.] // *Review of Managerial Science*. – 2020. – Vol. 14, № 3. – P. 633–661. <https://doi.org/10.1007/s11846-018-0303-2>.

References

1. Andrianov AO, Kozlova EE, Bubnova OYu, Solov'ev OD. Analysis of trends and models for assessing the level of sustainable growth of companies and corporations. *Financial Economy*. 2019;(1):287–289. (In Russ.).
2. Berdnikova TB. Analiz i diagnostika finansovo-khozyaystvennoy deyatelnosti predpriyatiya [Analysis and diagnostics of the financial and economic activities of the enterprise]. Moscow: INFA-M; 2014. 224 p. (In Russ.).
3. Boltunova EM. Evaluation of the probability of bankruptcy of the company in Russian and foreign practice. *Economy and entrepreneurship*. 2014;42(1–1):239–244. (In Russ.).
4. Davydova GV, Belikov AYu. Metodika kolichestvennoy otsenki riska bankrotstva predpriyatiy [Methodology for quantitative assessment of the risk of bankruptcy of enterprises]. *Risk Management*. 1999;(3):13–20. (In Russ.).
5. Zaytseva OP. Antikrizisnyy menedzhment v rossiyskoy firme [Anti-crisis management in a Russian firm]. *Siberian Financial School*. 1998;28–29(11–12):66–73. (In Russ.).
6. Kazakov AV, Kolyshkin AV. The development of bankruptcy prediction models in modern Russian economy. *St Petersburg University Journal of Economic Studies*. 2018;34(2):241–266. (In Russ.). <https://doi.org/10.21638/11701/spbu05.2018.203>.
7. Kamzabaeva MS. Methods development of the strategic external environment analysis of the organization. *Financial Economy*. 2019;(1):174–176. (In Russ.).
8. Mizikovskiy EA, Sokolov IM, Sokolov II. Ehkonomicheskiy analiz i prognozirovaniye nesostoyatel'nosti predpriyatiy [Economic analysis and forecasting of the insolvency of enterprises]. *Sovremennyy bukhuchet [Modern accounting]*. 2011;(5):10–19. (In Russ.).
9. Territorial'nyy organ Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki po Kemerovskoy oblasti [Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Kemerovo Region] [Internet]. [cited 2020 Feb 20]. Available from: <https://kemerovostat.gks.ru>.
10. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Federal State Statistics Service] [Internet]. [cited 2020 Feb 20]. Available from: <https://www.gks.ru>.
11. Regiony Rossii. Osnovnye kharakteristiki sub'ektov Rossiyskoy Federatsii [Regions of Russia. Main characteristics of the constituent entities of the Russian Federation]. Moscow: Rosstat; 2017. 751 p. (In Russ.).
12. Regiony Rossii. Sotsial'no-ehkonomicheskie pokazateli [Regions of Russia. Socio-economic indicators]. Moscow: Rosstat; 2018. 1162 p. (In Russ.).
13. Russian statistical yearbook. Moscow: Rosstat; 2018. 694 p. (In Russ.).
14. Rusak NA, Rusak VA. Finansovyy analiz sub'ekta khozyaystvovaniya [Financial analysis of a business entity]. Minsk: Vysshaya shkola; 2016. 309 p. (In Russ.).
15. Savitskaya GV. Analiz khozyaystvennoy deyatelnosti predpriyatiy APK [Analysis of the economic activity of agricultural enterprises]. Moscow: Infra-M; 2018. 519 p. (In Russ.).
16. Spravochnik finansovykh pokazateley otrasley Rossiyskoy Federatsii [Directory of financial indicators of industries in the Russian Federation] [Internet]. [cited 2020 Feb 20]. Available from: <https://www.testfirm.ru/finfactor>.
17. Federal'nyy zakon "O nesostoyatel'nosti (bankrotstve)" ot 26.10.2002 N 127-FZ [Federal Law "On Insolvency (Bankruptcy)" dated October 26, 2002 No. 127-FL] [Internet]. [cited 2020 Feb 20]. Available from: <https://base.garant.ru/185181/>.
18. Fedorova EA, Musienko SO, Fedorov FYu. Analysis of the external factors influence on the forecasting of bankruptcy of Russian companies. *St Petersburg University Journal of Economic Studies*. 2020;36(1):117–133. (In Russ.). <https://doi.org/10.21638/spbu05.2020.106>.
19. Sheinman OK. Integrable systems of algebraic origin and separation of variables. *Functional Analysis and Its Applications*. 2018;52(4):94–98. (In Russ.). <https://doi.org/10.4213/faa3553>.
20. Shpilrain V. Randomness and complexity in matrix groups. *Fundamental and Applied Mathematics*. 2019;22(4):253–262. (In Russ.).
21. Kücher A, Mayr S, Mitter C, Duller C, Feldbauer-Durstmüller B. Firm age dynamics and causes of corporate bankruptcy: age dependent explanations for business failure. *Review of Managerial Science*. 2020;14(3):633–661. <https://doi.org/10.1007/s11846-018-0303-2>.

Сведения об авторах

Черниченко Светлана Геннадьевна

канд. эконом. наук, доцент кафедры бухгалтерского учёта, анализа, аудита и налогообложения, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (960) 935-87-40, e-mail: chernichenko66@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0172-3783>

Information about the authors

Svetlana G. Chernichenko

Cand.Sci.(Eco.), Associate Professor of the Department of Accounting, Analysis, Audit and Taxation, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (960) 935-87-40, e-mail: chernichenko66@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0172-3783>

Котов Роман Михайлович

канд. эконом. наук, доцент, проректор по учебной работе,
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (906)
978-72-73, e-mail: rmkotov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0238-3466>

Roman M. Kotov

Cand.Sci.(Eco.), Associate Professor, Vice-Rector for
Academic Affairs, Kemerovo State University, 6, Krasnaya
Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (906) 978-72-73,
e-mail: rmkotov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0238-3466>

Кератиказы *Streptomyces* и *Bacillus*: свойства и направления использования

А. И. Дмитриева^{1,*}, А. В. Алексеенко², Д. Д. Белова³,
Н. И. Пискаева¹, Л. В. Терещук¹



¹ Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

² Каролинский институт, Стокгольм, Швеция

³ Балтийский федеральный университет имени Иммануила Кант, Калининград, Россия

Дата поступления в редакцию: 29.05.2020

Дата принятия в печать: 25.12.2020

*e-mail: a_piskaeva@mail.ru



© А. И. Дмитриева, А. В. Алексеенко, Д. Д. Белова, Н. И. Пискаева, Л. В. Терещук, 2020

Аннотация.

Введение. Перопуховые отходы являются перспективным источником кормового белка. По химическому составу перопуховое сырье является ценным источником питательных веществ и актуально как компонент кормовых добавок. Цель работы заключалась в скрининге бактерий с высокой кератинолитической активностью для снижения антропогенной нагрузки на экосистему путем применения биопрепарата на основе консорциума штаммов для утилизации сложных органических отходов птицефабрик.

Объекты и методы исследования. Лиофилизированные штаммы микроорганизмов и перопуховые отходы. В работе были использованы современные биоинформатические методы обработки данных: филогенетическая идентификация ферментов, алгоритм поиска ортологических генов InParanoid 8, а также стандартные биотехнологические методы: электрофоретический анализ в полиакриламидном геле, анализ аминокислотного состава, микроскопия, высокоэффективная жидкостная хроматография.

Результаты и их обсуждение. Произведен скрининг кератинолитических штаммов с использованием баз данных белковых последовательностей. Доказано, что гомологичные (гомология более 98 %) по кератиназам штаммы относятся к родам *Streptomyces* и *Bacillus*. Обозначены группы ферментов, потенциально участвующих в деградации кератина. Для выделенных ферментов была проведена филогенетическая идентификация, которая основывалась на анализе с использованием специализированного алгоритма поиска ортологических генов InParanoid 8.

Выводы. На основании совокупной оценки отобраны четыре штамма микроорганизмов, обладающих максимальной ферментативной активностью по отношению к кератину. К данным штаммам были отнесены бактерии рода *Bacillus*, а именно *Bacillus licheniformis* В-740, *Bacillus pumilus* В-508 и *Bacillus subtilis* ATCC 6051, а также бактерия *Streptomyces albidoflavus* ATCC 25422. Перечисленные штаммы использовались для создания биосовместимого консорциума по переработке отходов птицефабрик (перопуховые сырье) в кормовую добавку. Было подтверждено наличие биологически ценных веществ, содержащихся в полученных гидролизатах, а также возможность их использования в качестве высокобелкового компонента кормовой добавки для сельскохозяйственных животных.

Ключевые слова. Кератинолитическая активность, кератиназа, перопуховые отходы, переработка отходов, скрининг микроорганизмов, кормовой белок

Финансирование. Исследования финансировались Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) в рамках Стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики (СП 2018-2020).

Для цитирования: Кератиказы *Streptomyces* и *Bacillus*: свойства и направления использования / А. И. Дмитриева, А. В. Алексеенко, Д. Д. Белова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 602–615. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-602-615>.

Original article

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

Streptomyces and *Bacillus* Keratinases: Properties and Uses

Anastasia I. Dmitrieva^{1,*}, Andrey V. Alexeyenko², Daria D. Belova³,
Nina I. Piskaeva¹, Lubov V. Tereshchuk¹



Abstract.

Introduction. Feather waste is a promising source of feed protein. Its chemical composition is a valuable source of nutrients and can become an important component of feed additives. The research objective was to screen bacteria with a high keratinolytic activity and develop a bio-product based on a bacterial consortium in order to recycle complex organic poultry waste, thus reducing the anthropogenic load on the ecosystem.

Study objects and methods. The research featured lyophilized strains of microorganisms provided by State Research Institute “Gosniigenetika” and feather waste provided by Kuzbass Broiler LLC (Russia, Novokuznetsk district). The study involved such advanced bioinformatic methods of data processing as phylogenetic identification of enzymes and InParanoid 8 algorithm for searching orthologous genes. The standard biotechnological methods included an electrophoretic analysis in polyacrylamide gel, an analysis of amino acid composition, a microscopy, and a high-performance liquid chromatography.

Results and discussion. Keratinolytic strains were screened using protein sequence databases. The homologous keratinase strains with homology of more than 98% appeared to belong to the genera *Streptomyces* and *Bacillus*. The research helped to identify groups of enzymes that are potentially involved in keratin degradation. The selected enzymes were subjected to a phylogenetic identification based on InParanoid 8, a specialized algorithm of orthologous genes search.

Conclusion. The experiment made it possible to select four strains of microorganisms with maximum enzymatic activity in relation to keratin. These strains included bacteria of the genus *Bacillus*, namely *Bacillus licheniformis* B-740, *Bacillus pumilus* B-508 and *Bacillus subtilis* ATCC 6051, and the bacterium *Streptomyces albidoflavus* ATCC 25422. These strains were used to create a biocompatible consortium for processing feather waste into a feed additive. The research confirmed the presence of biologically valuable substances in the obtained hydrolysates, as well as the possibility of their use as a high-protein component of feed additives for farm animals.

Keywords. Keratinolytic activity, keratinase, feather-down waste, waste processing, screening of microorganisms, feed protein

Funding. The research was financed by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka)^{ROR} as part of the Grant of the President of the Russian Federation for young scientists and graduate students working in priority areas of modernization of the Russian economy (SP 2018-2020).

For citation: Dmitrieva AI, Alexeyenko AV, Belova DD, Piskaeva NI., Tereshchuk LV. *Streptomyces* and *Bacillus* Keratinases: Properties and Uses. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(4):602–615. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-602-615>.

Введение

Недостаточное использование ценного сырья приводит к потере в нем богатого источника питательных веществ. Применение отходов птицефабрик в не переработанном виде (перопухового сырья) (70 % данных ресурсов в неизменном виде скармливается животным) приводит к потере до 40 % ценных нутриентов. Это свидетельствует о нерациональном использовании вторичных ресурсов предприятия [1, 2].

Одним из перспективных способов переработки перопухового сырья является биотехнологический способ, который основан на способности микроорганизмов преобразовывать исходные вещества субстрата (в качестве которого можно использовать перо и пух) в новые полезные метаболиты [3]. Данный способ является инновационным и представляет собой альтернативный метод по утилизации кератинсодержащих отходов.

К известным микроорганизмам, способным деградировать кератин, относят:

- актиномицеты, выделенные из почвы, водоемов, тел животных, рода *Streptomyces rimosus*, а именно *S. roseochromogenes*, *S. griseus*, *S. parvus*, *S. praecox*, *S. scabies*, *S. griseoluteus*, *S. microflavus*, *S. globisporusvulgaris*, и рода *Nocardia*, а именно *Nocardia rubra* [4, 5];
- почвенные грибы рода *Penicillium*, а именно *P. rubrum*, *P. lilacium*, и гриб *Fusarium nivale* [4, 6];
- дрожжеподобные грибы *Candida albicans* и грибы рода *Trichophyton*, а именно *T. mentagrophytes*, *T. schoenleini*, *T. rubrum*, *T. terrestre* и *T. mentagrophytes* [7, 8];
- бактерии *Fusiformis nodosus* (или *Bacterioides nodosus*) и рода *Bacillus* [9].

Но не все из перечисленных штаммов можно использовать в безопасном процессе биоконверсии кератинсодержащих отходов (как субстрата) в полезные метаболиты. Важен подбор

микроорганизмов-продуцентов. Помимо подбора штамма, актуален и выбор состава питательной среды, а именно ее азотный, углеродный состав, их соотношение, присутствие сахаров (глюкозы, лактозы или мальтозы) [10–12]. Также важна оптимальная фаза роста микроорганизмов, наиболее подходящая для продуцирования ферментов, обладающих кератинолитической активностью. Так для бактерий рода *Bacillus* оптимальными фазами являются постэкспоненциальный и стационарный период.

Ферменты, обладающие кератинолитической активностью, называются протеазами. Они способны полностью преобразовывать белки пера [3–4, 7]. Для расщепления кератина необходимы две группы ферментов: сначала дисульфидные редуктазы уменьшают количество дисульфидных связей в молекуле белка, делая его доступным для сериновых протеаз или кератиназ (кеатиназы не могут воздействовать на кератин в нативной форме). Данные ферменты продуцируются микроорганизмами только при условии наличия в субстрате кератина в нативной форме.

Так как большинство кератинолитических штаммов способно продуцировать только один вид фермента или два вида ферментов, но не с одинаковой активностью, то процесс биоконверсии протекает поэтапно, потому что один из этапов гидролиза замедлен [4, 7].

Консорциумы микроорганизмов, обладающих кератинолитической активностью, являются малоизученными, но наиболее перспективными источниками ферментов, способных ступенчато провести полный гидролиз кератина. В связи с этим поиск и исследование кератинолитических микроорганизмов и их ферментов является актуальным направлением научных изысканий как для развития фундаментального аспекта, так и для повышения биотехнологического потенциала.

Цель данной работы заключалась в скрининге бактерий с высокой кератинолитической активностью для снижения антропогенной нагрузки на экосистему путем применения биопрепарата на основе консорциума подобранных штаммов для утилизации сложных органических отходов птицефабрик.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются микроорганизмы-продуценты ферментов, разлагающих кератин, которые были предоставлены НИЦ «Курчатовский институт» – ГосНИИгенетика» (www.genetika.ru) и организацией «ATCC – American Type Culture Collection» (www.atcc.org). К объектам исследования относятся:

– лиофилизированные культуры, относящиеся к грамположительным микроорганизмам, бактерии рода *Bacillus*, а именно *B. brevis* (ATCC 8246), *B. licheniformis* (B-740), *B. pumilus* (B-508),

B. stearothermophilus (ATCC 12980), *B. subtilis* (ATCC 6051), *B. velezensis* (B-64), бифидобактерии *Bifidobacterium longum* (ATCC 15707), стрептомицеты *Streptomyces albidoflavus* (ATCC 25422) и *Streptomyces sp.* (OWU 1633);

– лиофилизированные патогенные культуры грамположительные кокки *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), грамотрицательные палочки *Salmonella typhimurium* (ATCC 1353), *Salmonella pullorum* (ATCC 19945) и условно-патогенные культуры грамположительные палочки *Clostridium perfringens* (ATCC 13124), грамотрицательные палочковидные *Escherichia coli* (B-5), *Proteus vulgaris* (ATCC 13315), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853) (тест-культуры);

– специализированные консорциумы, способные разлагать кератин. Это грамположительные палочковидные бактерии *Bacillus licheniformis* (B-740), *Bacillus pumilus* (B-508), *Bacillus subtilis* (ATCC 6051) и актиномицет *Streptomyces albidoflavus* (ATCC 25422).

Поиск штаммов, обладающих способностью разлагать кератин, осуществлялся с помощью базы данных «Center for Biotechnological Information» (NCBI, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>), а поиск аминокислотных последовательностей ферментов осуществлялся с помощью «Открытой базы данных последовательностей белков – UniProtKB» (<https://www.uniprot.org/>), «Базы данных семейств белков, доменов и функциональных сайтов – InterPro» (www.ebi.ac.uk/interpro), «Базы данных семейств белковых доменов – Pfam» (<http://xfam.org/>) и раздела «белок» NCBI.

В качестве субстрата для культивирования микроорганизмов использовали перопуховые отходы, полученные от кур породы «Ломанн Браун», «Ломанн-ЛСЛ-Классик» и «РОСС 708», соответствующие ГОСТ Р 53397-2009, и предоставленные ООО «Кузбасский бройлер» (Россия)¹. Перо было чистым, без посторонних примесей. Оно подвергалось предварительному промыванию в формальдегиде с последующим высушиванием на воздухе.

Культивирование выбранных штаммов проводилось согласно оптимальным для них условиям, указанным в паспортах. Продолжительность культивирования составляла 12 ч и 24 ч. Измерения концентрации биомассы осуществляли при помощи многорежимного детектора «Glomax Multi+» (США).

Для определения активности ферментов, выделяемых микроорганизмами, необходимо было осуществить следующие этапы [13]:

– к навеске измельченного пера добавить 10 см³ 0,05 М боратного буферного раствора, содержащего фермент;

¹ ГОСТ Р 53397-2009. Сырье перопуховое. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2009. – 15 с.

Таблица 1. Химический состав отходов, полученных от различных пород кур, предоставленных компанией ООО «Кузбасский бройлер»

Table 1. Chemical composition of waste obtained from various breeds of chickens provided by Kuzbass Broiler LLC

Породы кур	Массовая доля веществ, %					
	Протеин	Клетчатка	Зола	Макроэлементы		
				Кальций	Фосфор	Натрий
«Ломанн Браун»	86,32 ± 1,29	0,72 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,79 ± 0,04	0,65 ± 0,04	0,16 ± 0,01
«Ломанн-ЛСЛ-Классик»	89,57 ± 1,25	0,49 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,85 ± 0,04	0,74 ± 0,04	0,24 ± 0,01
«РОСС 708»	83,94 ± 1,16	0,63 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,81 ± 0,03	0,59 ± 0,04	0,20 ± 0,01

– после навеску перемешивали (интенсивно и тщательно встряхивая) и помещали в термостат на культивирование в течение 3 ч при температуре 37 °С. В процессе культивирования и осуществлялся гидролиз;

– по истечению 3 ч нераспавшийся белок необходимо было осадить с помощью раствора трихлоруксусной кислоты (ТХУ). После осаждения раствор отфильтровывали с помощью фильтра «Красная лента»;

– в фильтрате определяли оптическую плотность при длине волны в 340 нм.

По методу Барнштейна определяли содержание белка по ГОСТ 28178-89².

Степень гидролиза определяли как отношение аминного азота к общему [14].

Перевариваемость кератиновых гидролизатов определяли по ГОСТ 55987-2014³. Их фракционный состав устанавливали с помощью электрофореза в полиакриламидном геле (ПААГ). Визуальная оценка гелей осуществлялась при помощи УФ-транслюминатора «ТСР-20М» («Vilber Lourmat», США), длина волны излучения составляла 312 нм. Анализ и обработка полученной информации при проведении электрофореза в ПААГ проводилась при помощи гель-документирующей системы «Vitran-Photo» (ООО «Компания Биоком», Россия).

Аминокислотный состав гидролизатов белка кератина, согласно протоколам прибора, осуществлялся с помощью автоматического аминокислотного анализатора «Agacus» (РМА GmbH). Гидролизаты подготавливали методом щелочного гидролиза, т. е. добавлением водного раствора оксида кальция (5 % от массы сырья).

Для объектов исследования с помощью бумажных дисков, пропитанных растворами антибиотика 0,4 % концентрации, определяли антибиотикорезистентность. Результаты устойчивости к антибиотикам выражались в виде зон

ингибирования (или стерильности) роста бактерий, которые замерялись с учетом диаметра самого диска на 1 и 2 день культивирования при 37 ± 2 °С.

Определяли антагонистические свойства выбранных штаммов по методике «диффузия в агаре» при их культивировании на твердой питательной среде с учетом сравнения размеров зон угнетения роста тест-микроорганизмов: *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella pullorum*, *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa*.

Методом взаимного присутствия или совместного культивирования, осуществляемого на плотной питательной среде (мясопептонном агаре), проводили определение биосовместимости кератинолитических штаммов. Наличие зон угнетения роста одной культуры по периферии пятна роста другой культуры свидетельствует о наличии сильного антагонизма штаммов друг к другу.

Осуществляли культивирование следующих кератинолитических штаммов: *Bacillus licheniformis*, *B. pumilus*, *B. subtilis*, *Streptomyces albidoflavus* в соотношениях 25:25:25:25, 15:45:15:25, 15:35:15:35, 35:15:35:15 для подбора оптимального соотношения микроорганизмов [5, 6, 11, 12]. Оптимальное соотношение определялось по параметрам: титр жизнеспособных клеток, наличие кератинолитической активности, концентрация биомассы микроорганизмов, степень гидролиза кератина и массовая доля полученного при гидролизе белка. Культивирование проводили на мясопептонном бульоне (МПБ) при температуре 37,0 ± 0,5 °С в течение 24 ч.

Результаты и их обсуждение

С помощью баз данных NCBI и UniProtKB по результатам скрининга были подобраны штаммы, имеющие в своем геноме гены, ответственные за трансляцию ферментов, а именно дисульфидных редуктаз и сериновых протеаз (или кератиназ), гидролизующих кератин. К данным микроорганизмам было отнесено десять непатогенных штаммов: рода *Bacillus*, а именно: *B. brevis*, *B. licheniformis*, *B. pumilus*, *B. stearothermophilus*, *B. subtilis*, *B. velezensis*, слегка изогнутых палочковидных бактерии *Bifidobacterium longum*, *Stenotrophomonas*

² ГОСТ Р ИСО 16634-1-2011. Продукты пищевые. Определение общего содержания азота путем сжигания по методу Дюма и расчет содержания сырого протеина. Часть 1. Масличные культуры и корма для животных. – М. : Стандартинформ, 2013. – 28 с.

³ ГОСТ Р 55987-2014. Корма, комбикормовое сырье. Метод определения переваримости муки из гидролизованного пера *in vitro*. – М. : Стандартинформ, 2014. – 7 с.

Таблица 2. Ферменты, участвующие в деградации пептидных и дисульфидных связей

Table 2. Enzymes involved in the degradation of peptide and disulfide bonds

Фермент	Количество	Деградируемые связи
Кератиназа	11	-CO-NH-
Дисульфидная редуктаза	13694	-S-S-
Сериновая протеаза	10239	-CO-NH-
Щелочная протеаза	125	-CO-NH-
Металлопротеаза	158	-CO-NH-
Субтилизин	220	-CO-NH-
Треодоксин	553	-S-S-

maltophilia и актинобактерии рода *Streptomyces*, а именно *S. albidoflavus* и *S. sp.*

Для выбора наиболее ценного по содержанию питательных компонентов перопухового сырья в качестве субстрата было осуществлено определение химического состава. Результаты представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 следует, что кератинсодержащие отходы (перо и пух), полученные от кур различных пород, характеризуется высоким содержанием сырого протеина (от 83 %), низким содержанием клетчатки (от 0,49 %), золы (от 0,09 %) и макроэлементов (кальция от 0,79 %, фосфора от 0,59 %, натрия от 0,16 %). Был сделан вывод о том, что перопуховые отходы от кур породы «Ломанн-ЛСЛ-Классик» являются богатым сырьем по химическому составу. Именно перо и пух этой породы кур использовались для дальнейших исследований в качестве субстрата для культивирования выбранных микроорганизмов.

На рисунке 1 представлено дерево сходства аминокислотных последовательностей белков микроорганизмов, продуцирующих ферменты, разлагающих кератин. Для построения данного дерева использовался раздел «Genbank» база данных NCBI.

Из рисунка 1 следует, что гомология более 98 %. Следовательно, микроорганизмы рода *Streptomyces* и *Bacillus* гомологичны по белкам штаммы. Этот



Рисунок 1. Дерево сходства аминокислотных последовательностей белков выбранных штаммов

Figure 1. Tree of similarity for the amino acid sequences of the proteins obtained from the selected strains

вывод также подтверждается литературным анализом [4, 5, 10–12].

С помощью базы данных UniProt был осуществлен поиск ферментов (редуктаз и протеаз) по их наличию в штаммах микроорганизмов (а именно в бактериях, дрожжах и микроскопических грибах). Наибольшее количество ферментов двух групп продуцируется бактериями (дисульфидные редуктазы продуцируются в количестве 5593; а сериновые протеазы – 15948), данная информация также подтверждается результатами литературного анализа [4, 6].

Ферменты, которые потенциально могут деградировать кератин, т. е. разрушать как пептидные, так и дисульфидные связи, представлены в таблице 2. Поиск данных ферментов также осуществлялся в базе UniProt.

Домены белков, чаще всего встречающихся в ферментах и обладающих кератиназной активностью, представленные в таблице 2, были исследованы в базах данных InterPro (<https://www.ebi.ac.uk/interpro/>) и Pfam (<http://xfam.org/>). Результаты исследования по идентификации и аннотирования представлены в таблице 3 [15].

При анализе представленных в таблице 3 данных видно:

– что во всех белках (ферментах), участвующих в процессе разложения кератина, действующих на пептидную (-CO-NH-) связь, присутствует один и тот же домен. В базе InterPro он имеет порядковый номер IPR000209 и аннотирован как Пептидаза S8/S53;

– что отличительной особенностью дисульфидных редуктаз, действующих на бисульфидную (-S-S-) связь, является отсутствие сходных с кератиназой доменов [15]. Это подтверждают литературные данные о необходимости наличия двух типов ферментов для протекания процесса гидролиза [4, 6].

Для филогенетической идентификации выявления взаимоотношений ферментов, представленных в таблице 2, был проведен анализ в программе InParanoid 8 (<http://InParanoid.sbc.su.se>). Программа представляет собой специализированный алгоритм поиска ортологических генов. InParanoid 8 требует больших затрат вычисленных мощностей. Учитывая высокую гомологичность штаммов, было принято рациональное решение об исследовании только одного штамма – *Bacillus pumilus*.

Анализ в программе InParanoid 8 показал наличие кератиназных ортологов (гомологов) у *Bacillus pumilus* среди *B. licheniformis*, *B. Brevis* и *Streptomyces sp.* Данные микроорганизмы выделены зеленым в таблице 3.

Полученные результаты о выделении четырех штаммов легли в основу создания консорциума, обладающего кератинолитической активностью. Но для создания консорциума штаммы должны соответствовать следующим критериям: рост

Таблица 3. Доменная архитектура ферментов, участвующих в деградации кератина, полученная с помощью баз данных InterPro и Pfam

Table 3. Domain architecture of enzymes involved in keratin degradation obtained using the InterPro and Pfam databases

Ферменты	База данных			
	InterPro		Pfam	
	ID	Аннотация	ID	Аннотация
Кератиназа (11)	IPR000209 (10)	Пептидаза S8/S53	PF00082 (10*)	Пептидаза S8/S53 домен
	IPR015500 (10)	Пептидаза S8, субтилизин-подобная	PF05922 (6)	Ингибитор пептидазы I9
	IPR023827 (9)	Пептидаза S8, субтилизин	PF04151 (3)	Бактериальная пре-пептидаза С-терминальный домен
	IPR023828 (8)	Пептидаза S8, субтилизин, Ser- активный сайт		
Дисульфидная редуктаза (13694)	IPR012336 (5634)	Тиоредоксин	PF02683 (5549)	Трансмембранная область белка биогенеза цитохрома С
	IPR003834 (5549)	Цитохром	PF11412 (5549)	Тиол: дисульфидный обменный белок DsbD
	IPR017937 (4814)	Тиоредоксин	PF13098 (320)	Складка тиоредоксина
Щелочная протеаза (125)	IPR000209 (67)	Пептидаза S8/S53	PF00082 (8)	Пептидаза S8/S53 домен
	IPR022398 (53)	Пептидаза S8, субтилизин	PF05922 (4)	Ингибитор пептидазы I9
Сериновая протеаза (10239)	IPR002610 (3237)	Пептидаза S54, ромбоид	PF01694 (3237)	Доменные связи
	IPR022764 (3237)	Доменные связи	PF12122 (3229)	Белок неизвестной функции
	IPR022732 (3229)	Пептидаза S54, GlpG пептидаза, N-конец	PF13180 (357)	Доменные связи
	IPR023662 (3229)	Ромбовидная протеаза GlpG	PF00595 (131)	Доменные связи
Металло-протеазы (158)	IPR000209 (99)	Пептидаза S8/S53	PF00082 (99)	Пептидаза S8/S53 домен
	IPR015500 (98)	Пептидаза S8, субтилизин-подобная		
	IPR023828 (94)	Пептидаза S8, субтилизин		
Тиоредоксин протеаза (553)	IPR012336 (129)	Тиоредоксин	PF02943 (128)	Ферредоксин тиоредоксинредуктаза
	IPR004209 (128)	Бета-субъединица ферредоксина тиоредоксинредуктазы	PF00085 (83)	Тиоредоксин
	IPR005746 (83)	Тиоредоксин	PF00070 (65)	Пиридин-нуклеотид-дисульфид-оксидоредуктаза
Субтилизин (220)	IPR000209 (94)	Пептидаза S8/S53	PF00082 (94)	Пептидаза S8/S53 домен
	IPR023827 (63)	Пептидаза S8, субтилизин	PF05922 (29)	Ингибитор пептидазы I9

В скобках указано количество ферментов с соответствующим доменом. Разными цветами выделены домены, повторяющиеся в кератиназе и в других ферментах.

The number of enzymes with the corresponding domain is given in brackets. Domains repeated in keratinase and other enzymes are given in different colors.

на питательной среде, в состав которой входят максимально доступные компоненты, обладание высокой кератиназной активностью, меньшими сроками культивирования и продолжительностью продуцирования ферментов.

К важным показателям кератинолитических микроорганизмов относятся: кератинолитическая активность ферментов, концентрация биомассы микроорганизмов, степень гидролиза нативного кератина, массовая доля продуцируемого белка, перевариваемость кератинового гидролизата. Данные показатели и их значения представлены в таблице 4.

В результате изучения показателей, представленных в таблице 4, максимальное значение концентрации биомассы штаммов, накапливающееся за 12 ч культивирования, было у микроорганизмов рода *Bacillus*: В-740, В-508, ATCC 6051, а также рода *Streptomyces* ATCC 25422 (от 232 КОК/г·дм³).

Микроорганизмы рода *Bacillus* отличаются высоким уровнем активности ферментов, деградирующих кератин – в среднем 30 Е/мг белка, что в три раза выше, чем у других исследуемых штаммов, а также значимым показателем накопления белка (от 65,19 до 76,50 %) и степенью гидролиза белка (от 78,32 до 79,44 %) [15].

Особую роль в питательной ценности корма играет содержание белков, обуславливающих пищевую и биологическую ценность кормовых добавок. В кормлении животных под сырым протеином (белком) подразумевают соединения, содержащие азот, т. е. белки, пептиды и амиды. Амидами являются азотсодержащие соединения небелкового характера, т. е. свободные аминокислоты, амиды, органические основания, нуклеиновые кислоты, нитриты, нитраты, алкалоиды и соли аммония. Их определяют по разности между сырым протеином и белком доменов [15].

Таблица 4. Свойства кератинолитических микроорганизмов

Table 4. Properties of keratinolytic microorganisms

Используемый штамм	Показатель				
	Кератинолитическая активность ферментов, Е/мг белка	Концентрация полученной биомассы, КОЕ/г·дм ³	Степень гидролиза белка-кератина, %	Массовая доля полученного белка, %	Перевариваемость кератинового гидролизата, %
Рода <i>Bacillus</i>					
ATCC 8246	12,1 ± 0,6	187,0 ± 10,2	52,1 ± 3,0	43,9 ± 2,5	52,1 ± 2,3
B-740	36,0 ± 1,8	370,4 ± 22,1	80,1 ± 1,5	69,4 ± 4,2	75,1 ± 4,5
B-508	37,7 ± 1,7	451,3 ± 25,6	79,4 ± 0,8	76,5 ± 3,4	79,5 ± 2,1
ATCC 12980	10,9 ± 0,1	110,0 ± 6,5	34,0 ± 1,2	24,5 ± 1,8	41,0 ± 2,1
ATCC 6051	24,6 ± 3,7	289,5 ± 13,8	78,3 ± 1,8	66,2 ± 4,4	65,9 ± 3,9
B-64	13,5 ± 0,8	143,0 ± 8,5	50,2 ± 2,0	31,1 ± 2,0	42,1 ± 2,1
Рода <i>Bifidobacterium</i>					
ATCC 15707	9,7 ± 0,2	112,0 ± 6,5	41,1 ± 1,6	23,1 ± 1,2	41,0 ± 2,0
Рода <i>Stenotrophomonas</i>					
ATCC 13637	7,9 ± 0,2	87,0 ± 5,3	26,2 ± 0,7	21,1 ± 1,20	33,6 ± 1,3
Рода <i>Streptomyces</i>					
ATCC 25422	22,9 ± 1,9	232,0 ± 14,8	78,6 ± 1,6	65,1 ± 4,7	63,3 ± 5,2
OWU 1633	8,7 ± 0,4	113,2 ± 6,6	45,4 ± 1,4	25,4 ± 1,5	43,4 ± 2,1

Кератинолитическая активность штаммов, способных последовательно продуцировать протеолитические ферменты, выражается в осуществлении процессов биоконверсии кератина. Для исследуемых штаммов был проведен анализ изменения фракций пептидов и аминокислот. Результаты исследования представлены в таблице 5.

Выбранные штаммы в процессе биоконверсии кератина обладают максимальным показателем уменьшения белков в течение 12 ч (от 164,00 до 212,00 мг/100 г образца), приростом пептидов (от 104,00 до 175,00 мг/100 г продукта), а также

приростом аминокислот (от 4,00 до 7,00 мг/100 г продукта) в культуральной жидкости.

Концентрация биомассы микроорганизмов, степень гидролиза кератина, массовая доля продуцируемого белка, перевариваемость кератинового гидролизата – это показатели, характеризующие микроорганизмы, которые обладают кератинолитической активностью. По результатам исследования данных показателей были выбраны четыре штамма бактерий: *Streptomyces albidoflavus* ATCC 25422, *Bacillus licheniformis* B-740, *Bacillus pumilus* B-508 и

Таблица 5. Изменение фракций растворимых азотистых соединений

Table 5. Change in fractions of soluble nitrogenous compounds

Штамм	Фракции азотистых соединений (пептидов и аминокислот), мг/100 г образца		
	белки	пептиды	аминокислоты
Рода <i>Bacillus</i>			
B-740	-188,3 ± 0,2	175,2 ± 0,5	5,89 ± 0,04
B-508	-211,9 ± 1,1	158,4 ± 0,6	7,10 ± 0,10
ATCC 6051	-163,7 ± 0,2	103,9 ± 0,8	4,94 ± 0,10
ATCC 8246	22,4 ± 0,1	23,7 ± 0,4	4,00 ± 0,01
ATCC 12980	-15,3 ± 0,1	44,5 ± 0,6	0,72 ± 0,02
B-64	125,6 ± 0,6	-21,3 ± 0,7	3,90 ± 0,01
Рода <i>Streptomyces</i>			
ATCC 25422	-183,0 ± 0,9	125,8 ± 0,7	3,45 ± 0,1
Рода <i>Bifidobacterium</i>			
ATCC 15707	62,9 ± 0,3	-17,8 ± 0,8	2,50 ± 0,01
Рода <i>Stenotrophomonas</i>			
ATCC 13637	138,2 ± 0,7	-21,3 ± 0,9	0,59 ± 0,1
Рода <i>Streptomyces</i>			
OWU 1633	-82,4 ± 0,4	131,5 ± 0,2	3,00 ± 0,02

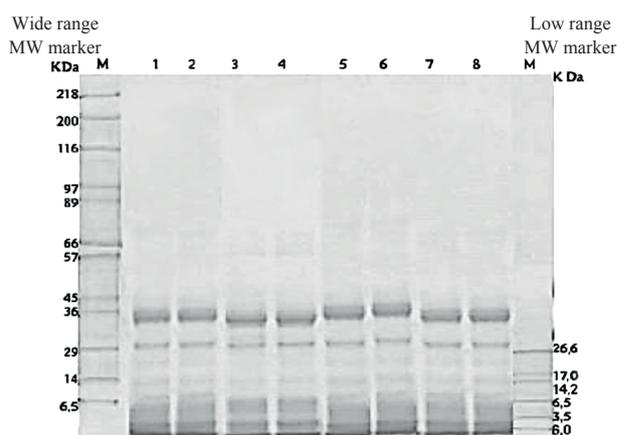


Рисунок 2. Электрофореграмма гидролизатов кератина, полученных при ферментации кератинолитических бактерий в течение 30 ч: М – маркер Sigma Aldrich (США); 1, 2 – B-740; 3, 4 – B-508; 5, 6 – ATCC 6051; 7, 8 – ATCC 25422

Figure 2. Electropherogram of keratin hydrolysates obtained by fermentation of keratinolytic bacteria for 30 h: M – Sigma Aldrich marker (USA); 1, 2 – B-740; 3, 4 – B-508; 5, 6 – ATCC 6051; 7, 8 – ATCC 25422

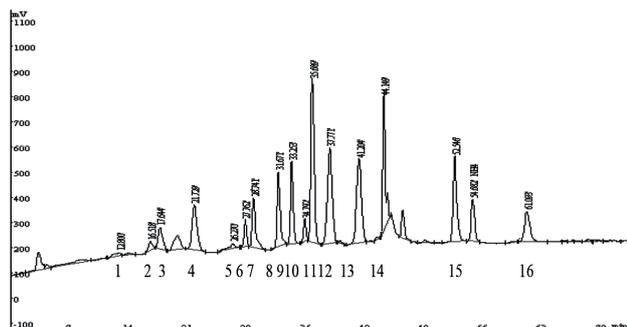


Рисунок 3. Хроматограмма, показывающая аминокислотный состав гидролизата перопуховых отходов, полученного под действием *B. licheniformis* (B-740) в течение 30 ч культивирования: 1 – His, 2 – Met, 3 – Ile, 4 – Tre, 5 – Phe, 6 – Val, 7 – Lys, 8 – Gly, 9 – Cys, 10 – Met, 11 – Asp, 12 – Leu, 13 – Ala, 14 – Glu, 15 – цистин, 16 – Arg

Figure 3. Chromatogram of the amino acid composition of the feather waste hydrolyzate obtained under the action of *B. licheniformis* (B-740) after 30 h of cultivation: 1 – His, 2 – Met, 3 – Ile, 4 – Tre, 5 – Phe, 6 – Val, 7 – Lys, 8 – Gly, 9 – Cys, 10 – Met, 11 – Asp, 12 – Leu, 13 – Ala, 14 – Glu, 15 – cystine, 16 – Arg

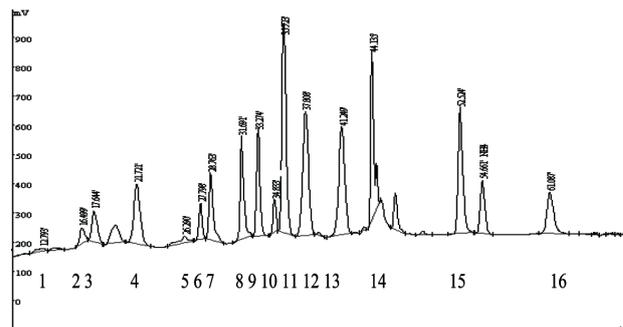


Рисунок 4. Хроматограмма, показывающая аминокислотного состава гидролизата, полученного под действием *B. pumilus* (B-508) в течение 30 ч культивирования: 1 – Ile, 2 – Val, 3 – Phe, 4 – Lys, 5 – His, 6 – Met, 7 – Cys, 8 – Gly, 9 – Met, 10 – Tre, 11 – Asp, 12 – цистин, 13 – Ala, 14 – Glu, 15 – Leu, 16 – Arg

Figure 4. Chromatogram of the amino acid composition of the hydrolyzate obtained by *B. pumilus* (B-508) after 30 h of cultivation: 1 – Ile, 2 – Val, 3 – Phe, 4 – Lys, 5 – His, 6 – Met, 7 – Cys, 8 – Gly, 9 – Met, 10 – Tre, 11 – Asp, 12 – cystine, 13 – Ala, 14 – Glu, 15 – Leu, 16 – Arg

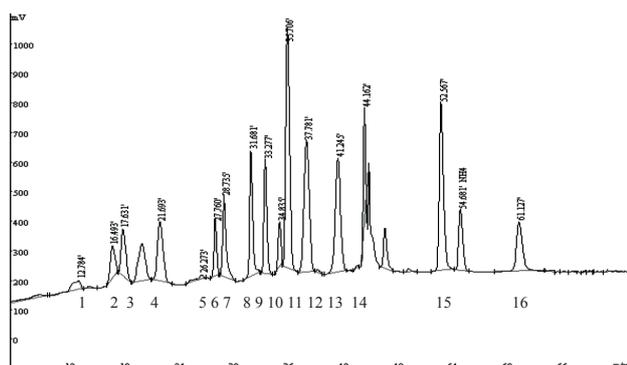


Рисунок 5. Хроматограмма, на которой представлен аминокислотный состав гидролизата перопуховых отходов, полученного под действием *B. subtilis* ATCC 6051 в течение 30 ч культивирования: 1 – His, 2 – Phe, 3 – Val, 4 – Arg, 5 – Met, 6 – Ile, 7 – Lys, 8 – цистин, 9 – Cys, 10 – Met, 11 – Asp, 12 – Ala, 13 – Gly, 14 – Leu, 15 – Glu, 16 – Tre

Figure 5. Chromatogram of the amino acid composition of the feather waste hydrolyzate obtained under the action of *B. subtilis* ATCC 6051 after 30 h of cultivation: 1 – His, 2 – Phe, 3 – Val, 4 – Arg, 5 – Met, 6 – Ile, 7 – Lys, 8 – cystine, 9 – Cys, 10 – Met, 11 – Asp, 12 – Ala, 13 – Gly, 14 – Leu, 15 – Glu, 16 – Tre

Bacillus subtilis ATCC 6051. У выбранных штаммов все перечисленные критерии имели максимальные значения. В дальнейшем эти штаммы использовались для создания консорциума по преобразованию перопуховых отходов птицефабрик в кормовую добавку.

Для получения наиболее полной характеристики химического состава гидролизатов перопухового сырья изучали состав пептидных фракций методом электрофореза в полиакриламидном геле по

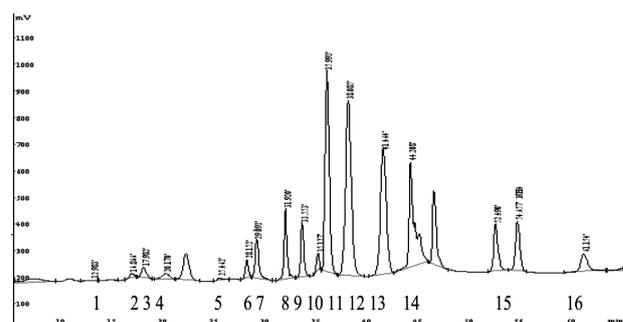


Рисунок 6. Хроматограмма, на которой представлен аминокислотный состав гидролизата перопухового сырья, полученного под действием *S. albidoflavus* ATCC 25422 в течение 30 ч культивирования: 1 – His, 2 – Phe, 3 – Met, 4 – Arg, 5 – Met, 6 – Tre, 7 – Lys, 8 – Ala, 9 – Gly, 10 – Ile, 11 – Asp, 12 – цистин, 13 – Cys, 14 – Leu, 15 – Glu, 16 – Val

Figure 6. Chromatogram of the amino acid composition of the hydrolyzate of feather raw materials obtained under the action of *S. albidoflavus* ATCC 25422 after 30 h of cultivation: 1 – His, 2 – Phe, 3 – Met, 4 – Arg, 5 – Met, 6 – Tre, 7 – Lys, 8 – Ala, 9 – Gly, 10 – Ile, 11 – Asp, 12 – cystine, 13 – Cys, 14 – Leu, 15 – Glu, 16 – Val

Лэммли (ПААГ). Электрофореграмма гидролизатов, ферментированных кератинолитическими бактериями, представлена на рисунке 2.

Результаты распределение пептидных фракций (по молекулярной массе) в гидролизате, полученном при ферментации бактерий B-740, B-508, ATCC 6051, ATCC 25422 в течение 30 ч, представлены в таблице 6. При учете пептидного состава важно иметь в виду наличие продуктов клеточного обмена (белков и аминокислот) в гидролизате. Для того чтобы уменьшить погрешность

Таблица 6. Молекулярно-массовое распределение фракций в гидролизате, ферментированном в течение 30 ч

Table 6. Molecular weight distribution of fractions in the hydrolyzate fermented for 30 h

№, п/п	Молекулярные массы, кДа	Содержание белковой фракции, %			
		В-740	В-508	АТСС 6051	АТСС 25422
1	89,0–66,0	0,2 ± 0,01	0,3 ± 0,01	0,2 ± 0,01	0,1 ± 0,01
2	65,0–57,0	0,5 ± 0,01	0,8 ± 0,03	0,3 ± 0,01	0,2 ± 0,01
3	57,0–45,0	0,6 ± 0,01	0,9 ± 0,03	0,6 ± 0,03	0,3 ± 0,01
4	45,0–36,0	4,0 ± 0,10	4,1 ± 0,10	3,9 ± 0,10	3,6 ± 0,10
5	37,0–30,0	21,1 ± 0,50	24,3 ± 0,50	20,1 ± 0,50	19,4 ± 0,50
6	30,0–14,0	14,7 ± 0,50	15,0 ± 0,50	14,5 ± 0,50	14,3 ± 0,50
7	14,0–6,5	12,7 ± 0,20	12,9 ± 0,20	12,0 ± 0,20	11,6 ± 0,20
8	6,5–3,5	38,3 ± 0,50	39,0 ± 0,50	37,6 ± 0,50	37,2 ± 0,50
9	3,5–3,0	45,2 ± 0,80	59,0 ± 0,80	44,3 ± 0,80	43,6 ± 0,80

Таблица 7. Содержание свободных аминокислот в гидролизате

Table 7. Content of free amino acids in the hydrolyzate

Наименование аминокислоты	Содержание аминокислот, г/100 г образца				
	В-740	В-508	АТСС 6051	АТСС 25422	Исходное сырье
Аспарагиновая кислота (Asp)	10,24 ± 0,47	11,24 ± 0,91	12,08 ± 0,64	10,17 ± 0,61	14,37 ± 0,61
Глутаминовая кислота (Glu)	7,26 ± 0,59	7,48 ± 0,61	11,24 ± 0,45	8,19 ± 0,38	13,78 ± 0,59
Лейцин (Leu)	7,11 ± 0,52	7,49 ± 0,46	6,09 ± 0,45	7,49 ± 0,44	9,59 ± 0,46
Цистин	9,11 ± 0,59	8,37 ± 0,67	7,78 ± 0,40	8,19 ± 0,46	10,15 ± 0,51
Аланин (Ala)	9,19 ± 0,46	8,92 ± 0,83	7,49 ± 0,40	8,58 ± 0,43	10,82 ± 0,34
Цистеин (Cys)	5,18 ± 0,31	5,32 ± 0,39	5,19 ± 0,33	5,22 ± 0,31	6,36 ± 0,30
Глицин (Gly)	5,45 ± 0,39	5,69 ± 0,38	5,67 ± 0,33	5,84 ± 0,23	6,97 ± 0,31
Лизин (Lys)	5,47 ± 0,28	5,21 ± 0,26	5,34 ± 0,27	5,02 ± 0,19	5,59 ± 0,27
Треонин (Tre)	4,15 ± 0,21	4,25 ± 0,74	4,78 ± 0,21	4,65 ± 0,19	4,98 ± 0,21
Аргинин (Arg)	3,95 ± 0,12	4,05 ± 0,34	4,01 ± 0,21	4,03 ± 0,45	3,98 ± 0,20
Валин (Val)	5,04 ± 0,22	4,22 ± 0,21	4,67 ± 0,23	5,00 ± 0,25	5,10 ± 0,26
Изолейцин (Ile)	4,12 ± 0,16	4,14 ± 0,21	4,01 ± 0,20	2,98 ± 0,15	4,22 ± 0,21
Метионин (Met)	2,28 ± 0,17	2,09 ± 0,10	2,28 ± 0,11	1,32 ± 0,07	2,34 ± 0,11
Фенилаланин (Phe)	0,50 ± 0,03	0,44 ± 0,02	0,53 ± 0,03	0,94 ± 0,04	0,55 ± 0,03
Гистидин (His)	0,34 ± 0,02	0,40 ± 0,01	0,53 ± 0,03	0,48 ± 0,01	0,54 ± 0,02
Всего	79,36	79,44	78,35	78,62	89,98

значений, вызванных присутствием в гидролизатах продуктов клеточного обмена, необходимо проводить анализ спустя 24–30 ч после начала культивирования, т. е. на фазе отмирания, когда происходит автолиз (распад белков клеток под действием собственных клеточных ферментов).

Во фракции под номером 6, с диапазоном молекулярных масс от 36,0 до 29,0 кДа наблюдается большое количество пептидов. Разбег молекулярной массы фракции 6 схож с молекулярной массой α -кератина, находящейся в пределах от 40 до 69 кДа [16, 17]. Следовательно, в данной фракции находятся продукты гидролиза α -кератина и частично продукты автолиза бактериальных культур (крупномолекулярные фракции). Также видно, что в исследуемых гидролизатах присутствуют белковые

фракции с молекулярными массами от 89,0 до 3,5 кДа.

По результатам проведенного анализа видно, что присутствуют низкомолекулярные пептиды с молекулярной массой меньше 19 кДа и свободные аминокислоты (примерно в 100–200 Да), относящиеся к представителям β -кератинов и образовавшихся в результате автолиза.

Таким образом, в гидролизате кератина, полученном под действием кератинолитических ферментов, продуцируемых бактериями В-740, В-508, АТСС 6051 и АТСС 25422, преобладают фракции низкомолекулярного состава. Данные результаты подтверждают высокую кератинолитическую активность ферментов, получаемых при культивировании консорциума подобранных штаммов.

Таблица 8. Устойчивость кератинолитических штаммов к действию антибиотиков

Table 8. Antibiotic resistance of the keratinolytic strains

Штаммы	Колистин	Тетрациклин	Энрофлоксацин	Ципрофлоксацин
	Радиус зоны ингибирования роста (R), мм			
B-740	1,0 ± 0,4	9,3 ± 0,2	1,4 ± 0,5	1,4 ± 0,4
B-508	1,0 ± 0,5	6,2 ± 0,4	1,6 ± 0,3	1,5 ± 0,3
ATCC 6051	1,6 ± 0,6	10,7 ± 0,4	1,5 ± 0,3	1,5 ± 0,2
ATCC 25422	1,8 ± 0,5	8,8 ± 0,2	1,7 ± 0,5	7,8 ± 0,5

Таблица 9. Антагонистические свойства кератинолитических штаммов

Table 9. Antagonistic properties of the keratinolytic strains

Микроорганизм	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Salmonella typhimurium</i>	<i>Salmonella pullorum</i>	<i>Clostridium perfringens</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Proteus vulgaris</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
	Радиус зоны ингибирования роста (R), мм						
B-740	11,0 ± 2,5	14,0 ± 1,4	16,0 ± 0,4	18,0 ± 2,2	19,0 ± 0,2	19,0 ± 2,7	20,0 ± 1,9
B-508	11,0 ± 1,3	15,0 ± 1,9	16,0 ± 0,9	18,0 ± 2,9	20,0 ± 1,6	21,0 ± 0,6	21,0 ± 1,6
ATCC 6051	9,0 ± 3,3	13,0 ± 2,3	15,0 ± 1,5	17,0 ± 0,9	19,0 ± 0,1	19,0 ± 2,9	20,0 ± 1,9
ATCC 25422	10,0 ± 1,9	13,0 ± 1,5	17,0 ± 0,7	18,0 ± 0,2	19,0 ± 2,2	20,0 ± 0,1	20,0 ± 2,4

Изучение, выделение и культивирование бактерий B-740, B-508, ATCC 6051 и ATCC 25422 является перспективным направлением по получению ферментов, обладающих способностью разлагать кератин. Применение данных штаммов для переработки кератинсодержащего сырья является актуальным процессом создания кормовых добавок с заданным белковым и пептидным профилем.

Так как важным показателем качества кормов животных является их аминокислотный состав, то был осуществлен количественный анализ по содержанию заменимых и незаменимых аминокислот в полученных гидролизатах кератина. Хроматоргаммы, свидетельствующие об аминокислотном составе, представлены на рисунках 3–6.

Данные хроматографического исследования представлены в таблице 7.

По результатам исследования аминокислотного состава полученных гидролизатов выявлено, что при культивировании бактерии *Bacillus licheniformis* B-740 получается гидролизат богатый цистином, валином, аланином, лизином, метионином; *Bacillus pumilus* B-508: гидролизат содержит наибольшее количество аспарагиновой кислоты, лейцина, аргинина, цистеина, изолейцина; *Bacillus subtilis* ATCC 6051: в гидролизате преимущественно содержится глутаминовая кислота, треонин, гистидин; *Streptomyces albidoflavus* ATCC 25422: глицин и фенилаланин преобладают в полученном гидролизате.

Содержание глутаминовой кислоты (Glu) для всех гидролизатов составляет 8,79 г/100 г образца, содержание аспарагиновой кислоты (Asp) – 10,93 г/100 г образца. Отмечено высокое содержание других аминокислот: лейцина (Leu) (7,14 г/100 г образца), аланина (Ala) (8,70 г/100 г образца),

цистина (8,38 г/100 г образца), цистеина (Cys) (5,22 г/100 г образца), глицина (Gly) (5,65 г/100 г образца). Данные результаты подтверждают наличие биологически активных веществ в полученных гидролизатах и возможность их использования в качестве высокобелковых кормовых добавок для животных.

Принимая во внимание вышеуказанные факторы, можно сделать вывод о том, что переработанные с помощью ферментов перопуховые отходы можно применять в качестве субстрата для получения сбалансированных кормовых добавок с высоким содержанием белка.

Перьевого покров может содержать патогенную микрофлору, т. к. птицы обитают среди постоянного присутствия источников инфекционного риска. Зараженные птицы очищают клюв о перья, тем самым загрязняя их. К тому же патогенная микрофлора также может использовать послеубойные отходы в качестве питательного субстрата. В связи с этим обработка перьевого сырья перед культивированием является важным подготовительным этапом. В производстве для обработки перьев используют химиотерапевтические средства (антибиотики, сульфаниламиды, фторхинолы и т. д.) [18]. Однако данные препараты не вызывают стопроцентной гибели патогенной микрофлоры. Поэтому важно, чтобы используемые в переработке перьев микроорганизмы обладали резистентностью к патогенной микрофлоре.

Используемые полезные штаммы должны обладать стойкостью к действию применяемого антибиотика, устойчивость к которым объясняется либо отсутствием мишени, либо ее недоступностью из-за пониженной проницаемости клеточной стенки, а также из-за инактивации антибиотика клеточными ферментами [19]. Зачастую устойчивость к анти-

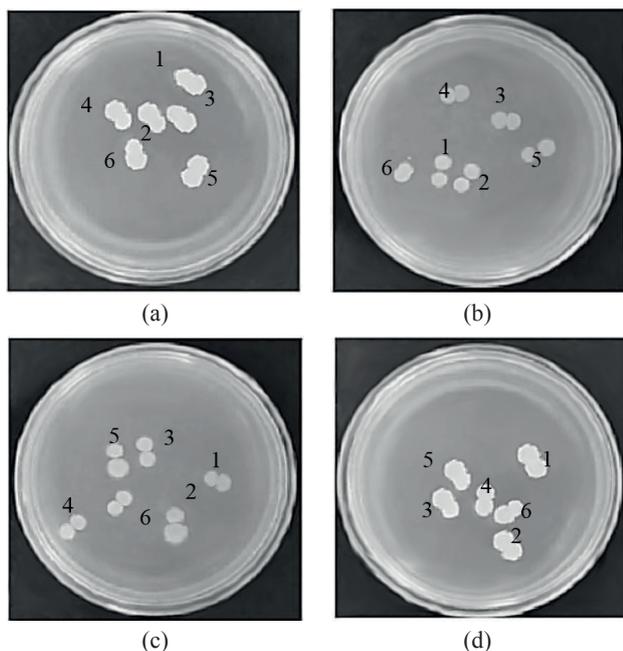


Рисунок 7. Оценка биосовместимости выбранных бактерий, осуществляемая методом взаимного присутствия при следующих концентрациях бактериальной суспензии:

(a) 1×10^{-3} КОЕ/г; (b) 1×10^{-4} КОЕ/г; (c) 1×10^{-5} КОЕ/г; (d) 1×10^{-6} КОЕ/г: 1 – B-508 + B-740; 2 – B-508 + ATCC 6051; 3 – B-508 + ATCC 25422; 4 – B-740 + ATCC 6051; 5 – ATCC 6051 + ATCC 25422; 6 – B-740 + ATCC 25422

Figure 7. Biocompatibility of the bacteria by the method of mutual presence at the following concentrations of the bacterial suspension:

(a) 1×10^{-3} КОЕ/г; (b) 1×10^{-4} КОЕ/г; (c) 1×10^{-5} КОЕ/г; (d) 1×10^{-6} КОЕ/г: 1 – B-508 + B-740; 2 – B-508 + ATCC 6051; 3 – B-508 + ATCC 25422; 4 – B-740 + ATCC 6051; 5 – ATCC 6051 + ATCC 25422; 6 – B-740 + ATCC 25422

биотикам является видовым признаком, который легко прогнозируется.

Установление устойчивости для полезных штаммов является актуальным и необходимым этапом при масштабировании биотехнологического процесса, т. к. упрощает работу со штаммами в производственных масштабах. В данной работе проводились исследования по выявлению антагонистических свойств в отношении патогенной микрофлоры, а также исследования антибиотико-резистентности выбранных полезных штаммов. В ходе исследования устойчивости к антибиотикам кератинолитических штаммов использовали следующие антибиотики: колистин, энрофлоксацин, тетрациклин и ципрофлоксацин. Результаты опытов приведены в таблице 8.

В соответствии с данными, приведенными в таблице 8, выбранные штаммы микроорганизмов проявляют устойчивость по отношению к колистину, энрофлоксацину и ципрофлоксацину. Так средний радиус зоны ингибирования для *Bacillus pumilus* B-508 составил 1,33 мм, для *Bacillus licheniformis* B-740 – 1,28 мм, для *Bacillus subtilis* ATCC 6051 –

1,58 мм. Было выявлено, что штамм *Streptomyces albidoflavus* ATCC 25422 проявляет высокие результаты резистентности при тесте с колистином и энрофлоксацином – 1,8 и 1,7 мм, но не обладает устойчивостью к действию ципрофлоксацина. У всех штаммов отсутствует устойчивость к тетрациклину (радиус зоны ингибирования от 8,8 до 10,7 мм).

В данной работе также изучались антагонистические свойства выбранных штаммов по отношению к представителям патогенной микрофлоры, а именно к *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella pullorum* и представителям условно-патогенной микрофлоры *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa*. Влияние микроорганизмов друг на друга оценивалось путем взаимного присутствия на твердой питательной среде с патогенными тест-штаммами методом дисков. Учет вели путем фиксации величины зон задержки роста тест-микробов. Результаты опытов приведены в таблице 9.

В результате культивирования видно, что изучаемые штаммы бактерий обладают значительной антагонистической активностью по отношению к представленным патогенным и условно-патогенным микроорганизмам. Это также подтверждается литературными данными [4, 7, 9, 10].

Средний радиус зоны ингибирования (R, мм) роста патогенных и условно-патогенных микроорганизмов для *Bacillus pumilus* (B-508) составляет 16,71 мм, для штамма *Bacillus licheniformis* B-740 – 15,82 мм, для *Bacillus subtilis* ATCC 6051 – 14,55 мм, для *Streptomyces albidoflavus* ATCC 25422 – 17,92 мм [15].

В дальнейшем оценивалась биосовместимость четырех выбранных штаммов. Оценка производилась путем метода совместного (взаимного) присутствия данных штаммов на одной питательной среде с поледующей оценкой зон перекрытия. При культивировании варьировали концентрацией микроорганизмов во вносимой бактериальной суспензии. Концентрация составляла: 1×10^{-3} КОЕ/г, 1×10^{-4} КОЕ/г, 1×10^{-5} КОЕ/г, 1×10^{-6} КОЕ/г. Результаты совместного культивирования представлены на рисунке 7.

В результате определения биосовместимости выбранных четырех штаммов бактерий, являющихся продуцентами ферментов, разлагающих кератин, было выявлено, что данные микроорганизмы не проявляют антагонистического эффекта по отношению друг к другу. Благодаря высокой степени биосовместимости подобранных кератинолитических штаммов их можно применять в качестве составляющих консорциума для переработки перопуховых отходов.

Выводы

Перопуховое сырье является недооцененным отходом птицеводства, содержащим в себе большое количество полезных пищевых компонентов.

Благодаря богатому белковому составу и наличию углеводов и макроэлементов перопуховой отход может использоваться в качестве субстрата, т. е. в качестве питательной среды для роста и развития микроорганизмов. В данной работе описан перспективный и инновационный способ переработки кератинсодержащего сырья (перопухового отхода) с помощью штаммов микроорганизмов, продуцирующих полезные метаболиты.

В данной работе описывался процесс выбора субстрата (перопухового отхода), наиболее богатого питательными компонентами, для культивирования микроорганизмов, которые обладают кератинолитической активностью. Для подбора необходимых микроорганизмов был произведен скрининг кератинолитических с использованием баз данных белковых последовательностей. Доказано, что гомологичные (гомология более 98 %) по кератиназам штаммы относятся к родам *Streptomyces* и *Bacillus*.

К группам ферментов, потенциально участвующих в деградации кератина, относятся дисульфидные редуктазы и сериновые протеазы. Представлена доменная архитектура данных ферментов. Для филогенетической идентификации редуктаз и протеаз был проведен анализ с использованием специализированного алгоритма для поиска ортологичных генов InParanoid 8.

Были изучены свойства десяти микроорганизмов, обладающих способностью разлагать кератин. Из десяти штаммов были выделены четыре микроорганизма (*Bacillus licheniformis* В-740, *Bacillus pumilus* В-508, *Bacillus subtilis* ATCC 6051 и *Streptomyces albidoflavus* ATCC 25422), обладающие максимально выраженными производственными признаками: концентрация биомассы при культивировании данных штаммов равнялась $335,0 \times 10^{-3}$ КОЕ/г, уровень кератинолитической активности продуцируемых штаммами ферментов – в среднем 30 Е/мг белка, показатель накопления белка в биомассе от 65,2 до 76,5 % и степень гидролиза белка от 78,4 до 79,4 %. Для выбранных штаммов была

оценена антибиотическая активность по отношению к представителям патогенной и условно-патогенной микрофлоры. В результате опытов выбранные микроорганизмы обладали высокой устойчивостью к действию тест-культур.

Четыре исследуемых штамма были проверены на резистентность к действию антибиотиков, применяемых в промышленности. В результате *Bacillus pumilus* В-508, *Bacillus licheniformis* В-740 и *Bacillus subtilis* ATCC 6051 имели выраженную устойчивость по отношению к колистину, энрофлоксацину и ципрофлоксацину. Бактерия *Streptomyces albidoflavus* ATCC 25422 показала высокие результаты при тесте с колистином и энрофлоксацином. Данный штамм не обладал устойчивостью к действию ципрофлоксацина. И ни один из четырех микроорганизмов не имел резистентность к действию тетрациклина.

Была доказана биосовместимость подобранных штаммов. С их помощью можно получать биологически ценные гидролизаты, в дальнейшем используемых в качестве высокобелковых кормовых добавок для сельскохозяйственных животных

Критерии авторства

Авторы были в равной степени вовлечены в написание рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

The authors were equally involved in the writing of the manuscript and are equally responsible for any potential plagiarism.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Efficient keratinase expression via promoter engineering strategies for degradation of feather wastes / J.-S. Gong, J.-P. Ye, L.-Y. Tao [et al.] // *Enzyme and Microbial Technology*. – 2020. – Vol. 137. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2020.109550>.
2. Abdel-Naby, M. A. Catalytic, kinetic and thermodynamic properties of *Bacillus pumilus* FH9 keratinase conjugated with activated pectin / M. A. Abdel-Naby, M. H. El-Araby, H. A. El-Refai // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2016. – Vol. 85. – P. 238–245. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.12.078>.
3. Combining pro-peptide engineering and multisite saturation mutagenesis to improve the catalytic potential of keratinase / C. Su, J.-S. Gong, Y.-X. Sun [et al.] // *ACS Synthetic Biology*. – 2019. – Vol. 8, № 2. – P. 425–433. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.8b00442>.
4. Biodegradation of feather waste keratin by the keratin-degrading strain *Bacillus subtilis* 8 / Z. He, R. Sun, Z. Tang [et al.] // *Journal of Microbiology and Biotechnology*. – 2018. – Vol. 28, № 2. – P. 314–322. <https://doi.org/10.4014/jmb.1708.08077>.
5. Bhari, R. Thermostable and halotolerant keratinase from *Bacillus aerius* NSMk2 with remarkable dehairing and laundry applications / R. Bhari, M. Kaur, R. S. Singh // *Journal of Basic Microbiology*. – 2019. – Vol. 59, № 6. – P. 555–568. <https://doi.org/10.1002/jobm.201900001>.
6. Molecular and biochemical characterization of a thermostable keratinase from *Bacillus altitudinis* RBDV1 / V. A. Pawar, A. S. Prajapati, R. C. Akhani [et al.] // *3 Biotech*. – 2018. – Vol. 8, № 2. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1130-5>.

7. Identification of two new keratinolytic proteases from a *Bacillus pumilus* strain using protein analysis and gene sequencing / S. Fellahi, A. Chibani, E. Feuk-Lagerstedt [et al.] // *AMB Express*. – 2016. – Vol. 6, № 1. <https://doi.org/10.1186/s13568-016-0213-0>.
8. Identification and characterization of a novel antioxidant peptide from feather keratin hydrolysates / M.-Y. Wan, G. Dong, B.-Q. Yang [et al.] // *Biotechnology Letters*. – 2016. – Vol. 38, № 4. – P. 643–649. <https://doi.org/10.1007/s10529-015-2016-9>.
9. Yang, Y. Utilizing discarded plastic bags as matrix material for composites reinforced with chicken feathers / Y. Yang, N. Reddy // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2013. – Vol. 130, № 1. – P. 307–312. <https://doi.org/10.1002/app.39173>.
10. Biodegradation of feather waste by keratinase produced from newly isolated *Bacillus licheniformis* ALW1 / A. M. Abdel-Fattah, M. S. El-Gamal, S. A. Ismail [et al.] // *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. – 2018. – Vol. 16, № 2. – P. 311–318. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2018.05.005>.
11. Effective biodegradation of chicken feather waste by co-cultivation of keratinase producing strains / Z. Peng, X. Mao, J. Zhang [et al.] // *Microbial Cell Factories*. – Vol. 2019. – Vol. 18, № 1. <https://doi.org/10.1186/s12934-019-1134-9>.
12. Huang, M. Secretory expression and purification of *Bacillus licheniformis* keratinase in insect cells / M. Huang, R. Chen, G. Ren // *PLoS ONE*. – 2017. – Vol. 12, № 8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183764>.
13. Пискаева, А. И. Оптимизация параметров культивирования консорциума микроорганизмов-деструкторов кератина в биотехнологических целях / А. И. Пискаева, А. Ю. Просеков // *Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология*. – 2016. – Т. 16. – С. 53–61.
14. Научно-методические подходы к развитию технологии белковых гидролизатов для специального питания. Часть 1. Технология производства и технические характеристики гидролизатов / Ю. Я. Свириденко, Д. С. Мягконосов, Д. В. Абрамов [и др.] // *Пищевая промышленность*. – 2017. – № 5. – С. 48–51.
15. Пискаева, А. И. Получение высокобелковой кормовой добавки из перопуховых отходов: дис. ... канд. техн. наук: 03.01.06 / Пискаева Анастасия Игоревна. – Кемерово, 2020. – 172 с.
16. Effective feather degradation and keratinase production by *Bacillus pumilus* GRK for its application as bio-detergent additive / M. Ramakrishna Reddy, K. Sathi Reddy, Y. Ranjita Chouhan [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2017. – Vol. 243. – P. 254–263. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.067>.
17. Abdel-Naby, M. A. Structural characterization, catalytic, kinetic and thermodynamic properties of Keratinase from *Bacillus pumilus* FH9 / M. A. Abdel-Naby, H. A. El-Refai, M. H. A. Ibrahim [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2017. – Vol. 105. – P. 973–980. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.118>.
18. Nnolim, N. E. *Bacillus* sp. FPF-1 produced keratinase with high potential for chicken feather degradation / N. E. Nnolim, A. I. Okoh, U. U. Nwodo // *Molecules*. – 2020. – Vol. 25, № 7. <https://doi.org/10.3390/molecules25071505>.
19. Егоров, А. М. Бактериальные ферменты и резистентность к антибиотикам / А. М. Егоров, М. М. Уляшова, М. Ю. Рубцова // *Acta Naturae*. – 2018. – Т. 10, № 4 (39). – С. 33–48.

References

1. Gong J-S, Ye J-P, Tao L-Y, Su C, Qin J, Zhang Y-Y, et al. Efficient keratinase expression via promoter engineering strategies for degradation of feather wastes. *Enzyme and Microbial Technology*. 2020;137. <https://doi.org/10.1016/j.enzymitec.2020.109550>.
2. Abdel-Naby MA, Ibrahim MH, El-Refai HA. Catalytic, kinetic and thermodynamic properties of *Bacillus pumilus* FH9 keratinase conjugated with activated pectin. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2016;85:23–245. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.12.078>.
3. Su C, Gong JS, Sun YX, Qin J, Zhai S, Li H, et al. Combining pro-peptide engineering and multisite saturation mutagenesis to improve the catalytic potential of keratinase. *ACS Synthetic Biology*. 2019;8(2):425–433. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.8b00442>.
4. He Z, Sun R, Tang Z, Bu T, Wu Q, Li C, et al. Biodegradation of Feather waste keratin by the keratin-degrading strain *Bacillus subtilis* 8. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2018;28(2):314–322. <https://doi.org/10.4014/jmb.1708.08077>.
5. Bhari R, Kaur M, Singh RS. Thermostable and halotolerant keratinase from *Bacillus aerius* NSMk2 with remarkable dehairing and laundry applications. *Journal of Basic Microbiology*. 2019;59(6):555–568. <https://doi.org/10.1002/jobm.201900001>.
6. Pawar VA, Prajapati AS, Akhiani RC, Patel DH, Subramanian RB. Molecular and biochemical characterization of a thermostable keratinase from *Bacillus altitudinis* RBDV1. *3 Biotech*. 2018;8(2). <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1130-5>.
7. Fellahi S, Chibani A, Feuk-Lagerstedt E, Taherzadeh MJ. Identification of two new keratinolytic proteases from a *Bacillus pumilus* strain using protein analysis and gene sequencing. *AMB Express*. 2016;6(1). <https://doi.org/10.1186/s13568-016-0213-0>.
8. Wan M-Y, Dong G, Yang B-Q, Feng H. Identification and characterization of a novel antioxidant peptide from feather keratin hydrolysates. *Biotechnology Letters*. 2016;38(4):643–649. <https://doi.org/10.1007/s10529-015-2016-9>.
9. Yang Y, Reddy N. Utilizing discarded plastic bags as matrix material for composites reinforced with chicken feathers. *Journal of applied polymer science*. 2013;130(1):307–312. <https://doi.org/10.1002/app.39173>.
10. Abdel-Fattah AM, El-Gamal MS, Ismail SA, Emran MA, Hashem AM. Biodegradation of feather waste by keratinase produced from newly isolated *Bacillus licheniformis* ALW1. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2018;16(2):311–318. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2018.05.005>.
11. Peng Z, Mao X, Zhang J, Du G, Chen J. Effective biodegradation of chicken feather waste by co-cultivation of keratinase producing strains. *Microbial Cell Factories*. 2019;18(1). <https://doi.org/10.1186/s12934-019-1134-9>.

12. Huang M, Chen R, Ren G. Secretory expression and purification of *Bacillus licheniformis* keratinase in insect cells. PLoS One. 2017;12(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183764>.
13. Piskaeva AI, Prosekov AYu. Optimization of cultivation parameters of the microbial consortium for recycling of feather wastes into fertilizer. The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Biology. Ecology. 2016;16:53–61. (In Russ.).
14. Sviridenko YuYa, Myagkonosov DS, Abramov DV, Ovchinnikova EG. Theoretical and practical aspects of development technology of manufacturing protein hydrolyzates for special nutrition use. Part 1. Technology of production and technical characteristics of hydrolysates. Food Industry. 2017;(5):48–51. (In Russ.).
15. Piskaeva AI. Poluchenie vysokobelkovoy kormovoy dobavki iz peropukhovyykh otkhodov [Obtaining a high-protein feed additive from feather waste]. Cand. eng. sci. diss. Kemerovo: Kemerovo State University; 2020. 172 p.
16. Ramakrishna Reddy M, Sathi Reddy K, Ranjita Chouhan Y, Bee H, Reddy G. Effective feather degradation and keratinase production by *Bacillus pumilus* GRK for its application as bio-detergent additive. Bioresource Technology. 2017;243:254–263. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.067>.
17. Abdel-Naby MA, El-Refai HA, Ibrahim MHA. Structural characterization, catalytic, kinetic and thermodynamic properties of Keratinase from *Bacillus pumilus* FH9. International Journal of Biological Macromolecules. 2017;105:973–980. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.118>.
18. Nnolim NE, Okoh AI, Nwodo UU. *Bacillus* sp. PPF-1 produced keratinase with high potential for chicken feather degradation. Molecules. 2020;25(7). <https://doi.org/10.3390/molecules25071505>.
19. Egorov AM, Ulyashova MM, Rubtsova MYu. Bacterial enzymes and antibiotic resistance. Acta Naturae. 2018;10(4) (39):33–48. (In Russ.).

Сведения об авторах

Дмитриева Анастасия Игоревна

научный сотрудник лаборатории биотестирования природных нутрицевтиков, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (923) 606-33-73, e-mail: a_piskaeva@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8764-4049>

Алексеев Андрей Владимирович

канд. техн. наук, научный сотрудник кафедры микробиологии, опухолевой и клеточной биологии, Каролинский институт, 17177, Швеция, г. Стокгольм, Solnavägen, 1, тел.: +46-07-07-47-2172, e-mail: andrey.alekseenko@scilifelab.se
<https://orcid.org/0000-0001-8812-6481>

Белова Дарья Дмитриевна

канд. техн. наук, младший научный сотрудник лаборатории микробиологии и биотехнологий Института живых систем, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», 236016, Россия, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14, тел.: +7 (951) 617-71-53, e-mail: antonina-daria@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0630-7658>

Пискаева Нина Игоревна

студент, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (951) 577-80-54, e-mail: nina-piskaeva@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3712-6590>

Терещук Любовь Васильевна

д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии продуктов питания из растительного сырья, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-51, e-mail: terechuk_l@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0321-160X>

Information about the authors

Anastasia I. Dmitrieva

Researcher of the Laboratory of Natural Nutraceuticals Biotesting, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (923) 606-33-73, e-mail: a_piskaeva@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8764-4049>

Andrey V. Alexeyenko

Cand.Sci.(Eng.), Researcher of the Department of Microbiology, Tumor and Cell Biology, Karolinska Institute, 1, Solnavägen, Stockholm, 17177, Sweden, phone: +46-07-07-47-2172, e-mail: andrey.alekseenko@scilifelab.se
<https://orcid.org/0000-0001-8812-6481>

Daria D. Belova

Cand.Sci.(Eng.), Junior Researcher of the Laboratory of Microbiology and Biotechnology of the Institute of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14, A. Nevskogo Str., Kaliningrad, 236016, Russia, phone: +7 (951) 617-71-53, e-mail: antonina-daria@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0630-7658>

Nina I. Piskaeva

Student, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (951) 577-80-54, e-mail: nina-piskaeva@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3712-6590>

Lubov V. Tereshchuk

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Professor of the Department of Food Technology from Plant Raw Materials, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-51, e-mail: terechuk_l@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0321-160X>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-616-629>
УДК 631.1:543.635.252

Оригинальная статья
<http://fppt.ru>

Исследование и разработка технологии получения мальтодекстринов для молочной промышленности

А. М. Федорова^{1,*}, О. В. Козлова¹, А. А. Славянский²,
Н. С. Величкович¹, В. М. Ле¹



¹ Кемеровский государственный университет , Кемерово, Россия

² Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ИТКУ) , Москва, Россия

Дата поступления в редакцию: 04.08.2020
Дата принятия в печать: 25.12.2020

*e-mail: anastasija.fedorova-af2014@yandex.ru



© А. М. Федорова, О. В. Козлова, А. А. Славянский, Н. С. Величкович, В. М. Ле, 2020

Аннотация.

Введение. Мальтодекстрины являются распространенной пищевой добавкой, состоящих из D-глюкозных единиц, соединенных (1–4) глюкозидной связью. Целью исследования является улучшение существующей технологии получения мальтодекстринов на основе картофельного и кукурузного крахмала.

Объекты и методы исследования. В данной работе мальтодекстрины получали путем ферментативного и кислотного неполного гидролиза картофельного и кукурузного крахмала. При ферментном гидролизе использовались препараты Амилолюкс АТС и Глюколюкс А, при кислотном – серная кислота. Готовый продукт получали с помощью распылительного высушивания. Органолептические свойства готового продукта определялись стандартными методами. Для установления углеводородного состава использовали метод высокоэффективной жидкостной хроматографии. Для определения восстанавливающей способности сахаров использовался метод декстрозного эквивалента.

Результаты и их обсуждение. В ходе исследования улучшена технология проведения ферментного расщепления крахмала. Выбран ферментный препарат Амилолюкс АТС и его концентрация – 0,5 мл/50 см³. Амилолитическая активность препарата составила 2330,50 ед/мл, температура гидролиза – 65 ± 2 °С, водородный показатель реакции – рН 6,5. Также подобраны оптимальные параметры для высушивания гидролизатов крахмала. Выбран метод распылительного высушивания (температура сушки и потока воздуха составила 100 °С, скорость подачи раствора равна 12 мл/мин). Для готового продукта установлен декстрозый эквивалент (12–13 %) и количественное содержание сахаров в полученных образцах. Для мальтодекстринов, полученных из картофельного крахмала, содержание мальтозы и глюкозы составило соответственно 16,73 ± 0,25 % и 12,48 ± 0,050 %, из кукурузного – 40,22 ± 0,30 % и 52,93 ± 0,040 %.

Выводы. Улучшенная в данной работе технология позволяет получить мальтодекстрины, применимые в молочной промышленности.

Ключевые слова. Декстрины, крахмал, гидролиз, высушивание, хроматография

Финансирование. Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России)  при государственной поддержке ведущих научных школ (НШ-2694.2020.4).

Для цитирования: Исследование и разработка технологии получения мальтодекстринов для молочной промышленности / А. М. Федорова, О. В. Козлова, А. А. Славянский [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 616–629. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-616-629>.

Original article

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

Research and Development of Maltodextrin Production Technology for the Dairy Industry

Anastasia M. Fedorova^{1,*}, Oksana V. Kozlova¹, Anatoliy A. Slavyanskiy²,
Natalia S. Velichkovich¹, Violeta M. Le¹

¹ Kemerovo State University , Kemerovo, Russia

Received: August 04, 2020

Accepted: December 25, 2020

*e-mail: anastasija.fedorova-af2014@yandex.ru



© A.M. Fedorova, O.V. Kozlova, A.A. Slavyanskiy, N.S. Velichkovich, V.M. Le, 2020

Abstract.

Introduction. Maltodextrins are a common dietary supplement with a number of positive properties. They consist of D-glucose units connected by a (1–4) glucoside bond. The research objective was to improve the existing technology of maltodextrin production based on potato and corn starch.

Study objects and methods. Maltodextrins were obtained by enzymatic and acidic incomplete hydrolysis of potato and corn starch. Amilolux ATS and Glucolux A were used for enzyme hydrolysis, and sulfuric acid was used for acid hydrolysis. The finished product was obtained by spray drying. The sensory properties of the finished product were determined by standard methods. The method of high-performance liquid chromatography defined the hydrocarbon composition, while the method of dextrose equivalent helped to determine the reducing capacity of sugars.

Results and discussions. The study improved the technique of the enzymatic breakdown of starch. Amylolysis ATS proved to be the optimal enzyme preparation in concentration of 0.5 mL/50 cm³. Other optimal parameters included the starch-splitting activity of 2,330.50 u/mL, temperature of hydrolysis of 65 ± 2°C, and pH reactions of pH 6.5. The method of spray drying proved most efficient for drying starch hydrolysates: the drying temperature and air flow was 100°C, while the flow rate of the solution was 12 mL/min). The experiment also established the dextrose equivalent of the finished product (12–13%) and the quantitative content of sugars in the obtained samples. For maltodextrins obtained from potato starch, the content of maltose and glucose was 16.73 ± 0.25% and 12.48 ± 0.050%, respectively; for corn maltodextrins – 40.22 ± 0.30% and 52.93 ± 0.040%.

Conclusion. The market for food additives is developing rapidly. Maltodextrin is a natural food additive that can be used in various branches of food industry. The research made it possible to improve the technology of maltodextrin production in t dairy industry.

Keywords. Dextrins, starch, hydrolysis, drying, chromatography

Funding. The research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka)  as grant of the President of the Russian Federation and the state support program for leading scientific schools (NSH-2694.2020.4).

For citation: Fedorova AM, Kozlova OV, Slavyanskiy AA, Velichkovich NS, Le VM. Research and Development of Maltodextrin Production Technology for the Dairy Industry. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(4):616–629. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-616-629>.

Введение

На сегодняшний день рынок пищевых ингредиентов представлен широким ассортиментом пищевых добавок. Их используют в пищевом производстве для:

- улучшения технологического процесса производства;
- улучшения внешнего вида (красители, стабилизаторы, фиксаторы окраски);
- регулирования вкуса (подсластители, улучшители вкуса и аромата, регуляторы кислотности, ароматизаторы);
- регулирования консистенции (загустители, гелеобразователи, стабилизаторы, эмульгаторы, разжижители, пенообразователи);
- увеличения сроков годности продуктов (консерванты, антиоксиданты, влагоудерживающие агенты, пленкообразователи) [1].

Некоторые пищевые добавки выполняют комплексные технологические функции. Именно к таким пищевым добавкам относится мальтодекстрины. Их используют в качестве подсластителя, сахарозаменителя, эмульгатора, стабилизатора и влагоудерживающего агента [2].

Мальтодекстрины являются продуктами неполного ферментативного и кислотного гидролиза крахмала, характеризуются значением декстрозного эквивалента (DE) 2–20 %. Представляют собой гомогенную смесь сахаридов широкого спектра молекулярных масс [3]. Эквивалент декстрозы является основным параметром, который характеризует реологические (изменение структуры продукта) и функциональные (увеличение интенсивности и сладости вкуса продукта, торможение процесса кристаллизации сахара и др.) свойства мальтодекстринов [4]. Мальтодекстрины с одними и теми же значениями DE могут проявлять различные физико-химические свойства, зависящие от ботанического происхождения крахмалов и параметров неполного ферментативного и кислотного гидролиза.

При ферментном гидролизе крахмала используются ферментные препараты класса гидролаз, подкласса карбогидраз, которые называются амилазами: α-амилаза и β-амилаза [5]. В качестве реагента для проведения кислотного гидролиза крахмала используются минеральные кислоты (серная или соляная кислота). Под

действием фермента или кислоты ассоциативные связи крахмала между макромолекулами амилозы и амилопектина ослабляются и разрываются. Затем разрываются α -(1→4) и α -(1→6)-гликозидные связи и на месте разрыва присоединяется молекула воды [6]. Кислотный гидролиз крахмала имеет множество недостатков. Одним из них является применение высоких концентраций кислот и высокой температуры (более 100 °C), приводящие к термической деградации и дегидротации сахаров. Так, в сравнении с кислотами, использование ферментов в производственном процессе является безопасным, т. к. образуется меньше побочных продуктов и поэтому качество изготавливаемого продукта становится выше. Благодаря специфичности действия ферментных препаратов гидролиз позволяет получить продукт с определенными физическими свойствами (например, сладостью). Следовательно, перспективно использовать ферментные препараты [7].

Так в работе N. P. Cuong и др. проведено исследование, в котором описывается непрерывное производство чистого мальтотекстрина, полученного ферментным гидролизом при использовании амилазы *Pyrococcus furiosus* [8]. Данная амилаза входит в группу амилолитических ферментов, имеет характеристики как циклодекстрин-гидролизующего фермента, так и α -амилазы. В исследованиях, проводимых M. K. Lam с соавторами, в качестве исходного сырья для получения мальтодекстринов применялся отход производства липидов – биомасса микроводорослей [9]. В качестве ферментных препаратов использовались: фермент α -амилаза из *Aspergillus oryzae* и фермент амилоглюкозидаза из *Aspergillus niger*. В 2017 г. В. В. Ананским и его коллегами была разработана технология получения мальтодекстрина, предусматривающая использование в качестве катализатора при ферментном гидролизе крахмала кукурузной муки ферментного препарата α -амилазы «Liquozyme Supra 2,8X» [10].

Так как мальтодекстрин имеет внешний вид однородного сыпучего порошка, то существует несколько методов высушивания гидролизатов. Например, распылительный и сублимационный (лиофильный).

Распылительная сушка используется для производства сухих продуктов благодаря быстрому удалению влаги из распыленных капель продукта горячим воздухом, нагретого до температур 100–300 °C, с последующей сепарацией твердых частиц [11]. Из литературных источников известно, что важнейшими технологическими параметрами распылительной сушки являются температура, скорость подачи раствора в установку и скорость потока воздуха [12]. Также на процесс оказывают влияние свойства самого материала: способность поглощать влагу, текучесть и др. В сравнении с

другими способами высушивание распылением имеет существенные преимущества. В первую очередь это продолжительность процесса, которая не превышает 3 часов и обеспечивает получение готового продукта высокого качества. Кроме того, преимуществом распылительной сушки является высокий выход продукта при минимальных затратах энергии и времени. Однако высокая температура процесса значительно снижает количество компонентов смеси, чувствительных к нагреванию (например, витаминов).

Процесс сублимационной сушки состоит из трех основных этапов: замораживание, сублимация, досушивание [13]. Процесс сублимации находится в прямой зависимости от продолжительности замораживания и температуры материала на выходе. Важным параметром сублимационной сушки является присутствие определенного количества сухих веществ (минимальное количество 25–30 %) [11]. Из-за своей дороговизны и затрат времени сублимационная сушка не находит широкое применение в молочном секторе, но используется для отдельных пищевых продуктов: пробиотиков и заквасок [11].

Мальтодекстрины обладают свойствами наполнения, структурирования, эмульгирования и стабилизации, а также способны впитывать специфический вкус молока и продлевать срок его хранения [15–17]. Благодаря таким свойствам мальтодекстрины нашли широкое применение в молочной промышленности при изготовлении следующих молочных продуктов [18]:

- мороженого порошка (10–25 %) для улучшения структуры, вкуса и эмульгирования;
- молочного сахара (6–8 %) для предотвращения кристаллизации продукции;
- сухого детского молока (9–11 %) в качестве эмульгатора;
- кисломолочных продуктов (5–7 %).

В работах Л. А. Забодало и его коллег проведено исследование по разработке комплексного состава углеводно-белкового кисломолочного напитка, в состав которого входит мальтодекстрины с декстрозным значением 11–12 %, витамины и пробиотические культуры бифидобактерий [19]. Данный кисломолочный продукт направлен для питания лиц, которые подвержены физическим нагрузкам. Существует исследование, посвященное изготовлению концентрированного молоко-содержащего продукта на основе мальтодекстрина, который используется в качестве частичной замены сахарного песка [20]. Это позволяет понизить уровень сахара в конечном продукте и улучшить его структуру и органолептические свойства.

В работе А. К. М. Chandrapala и др. сообщалось о влиянии соотношения лактозы и мальтодекстрина

на характеристики эмульсий молочных смесей и их свежеприготовленных порошков при хранении при двух температурах (22 и 40 °С) и трех уровнях относительной влажности воздуха (11, 23, 54 %) в течение нескольких месяцев [21, 22]. Понимание физико-химических изменений в порошках молочных смесей при хранении под влиянием соотношения лактозы и мальтодекстрина имеет практическое значение для пищевой промышленности. Порошок молочной смеси, который не содержал мальтодекстрина, образовал твердую лепешку после 60-дневного хранения. Порошки молочной смеси, содержащие 15 % и 30 % мальтодекстрина, не спекались и образовывали слабые агломераты, которые возвращались обратно к отдельным частицам после мягкого давления пальца. Содержание влаги во всех трех порошках еще больше уменьшилось после 90-дневного хранения, а также все порошки были спекшимися на этой стадии [23]. Мальтодекстрин с DE 20 % имеет высокую среднюю молекулярную массу, по сравнению с лактозой (342,3 г моль⁻¹), и его присутствие увеличивает значения температуры стеклования в порошках молочных смеси. При обеих температурах хранения температура стеклования оставался неизменной в течение всего периода хранения для всех порошков, хранящихся при относительной влажности воздуха 11 %, в то время как медленное и постепенное снижение температуры стеклования происходило в порошках, уравновешенных при относительной влажности воздуха 23 %. При относительной влажности воздуха 11 % и 23 % содержание влаги в порошке было низким, что является причиной относительно высокого уровня температуры [24].

Е. Zafer и N. Коса использовали мальтодекстрины с DE 20 % и молочную сыворотку для улучшения физических свойств высушенного сырного порошка, а также применяли полученный продукт как заменитель сыра, тем самым снижая затраты на сырье [25].

Мальтодекстрины применяются в качестве текстурирующих агентов и заменителей жира [26]. Также мальтодекстрины используются в производстве обезвоженных продуктов, поскольку они уменьшают их липкость и улучшают прочность [7]. Эти свойства обусловлены водопоглощающей способностью, а также способностью создавать защитный барьер на поверхности абсорбирующих частиц и повышать температуру стеклования [27].

Большое количество работ, направленных на использование мальтодекстринов в молочной промышленности, делает актуальным процесс улучшения и разработки существующих технологий получения данной добавки [28].

Целью исследования является улучшение существующей технологии получения



Рисунок 1. Ферментный гидролиз крахмального клейстера при взаимодействии с раствором йода

Figure 1. Enzymatic hydrolysis of starch paste upon interaction with iodine solution

мальтодекстринов на основе картофельного и кукурузного крахмала.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали: картофельный («Скайфуд», Россия) и кукурузный («Проксима», Россия) крахмал.

В данном исследовании для приготовления 1 %-ной картофельной и кукурузной крахмальной суспензии воду очищали на бидистилляторе марки ТУ 25-11.1592-81 БС («Лабинвест», Россия).

Для получения мальтодекстринов из картофельного и кукурузного крахмала при ферментном гидролизе использовали ферментные препараты Амилолюкс АТС и Глюколюкс А («Сиббиофарм», Россия). Активация фермента осуществлялась при нагревании бидистиллированной воды до 60 °С. Концентрация фермента Амилолюкс АТС составила 0,5 мл/50 см³, температура гидролиза 65 ± 2 °С. Концентрация фермента Глюколюкс А была равна 0,5 мл/25 см³, температура гидролиза составила 70 ± 5 °С.

Активированный ферментный препарат Амилолюкс АТС, взятый в количестве 3,3 мл для картофельного и 23,76 мл для кукурузного клейстера, приливали в 396 мл 1 %-ого картофельного и кукурузного крахмального клейстера. Ферментный препарат Глюколюкс А был взят для картофельного клейстера в количестве 36,9 мл, а для кукурузного – 55,35 мл. Все приготовленные суспензии перемешивали и помещали в водяную баню «ЭКРОС ПЭ-4310» («ЭКРОСХИМ», Россия). Процесс ферментного гидролиза контролировался свежеприготовленным 0,1 н раствором йода KI («ЛенРеактив», Россия). По истечении 1 мин отбиралась проба и вносилась в пробирку с раствором йода. Постепенное изменение окраски суспензий при реакции с йодом (синяя – амилоза и амилопектин, сине-фиолетовая – амилодекстрины, краснокирпичная – эритродекстрины, оранжевая



Рисунок 2. Кислотный гидролиз крахмального клейстера при взаимодействии с раствором йода

Figure 2. Acid hydrolysis of starch paste upon interaction with iodine solution

– ахродекстрины, желтая – мальтодекстрины) свидетельствовало о протекании гидролиза. Гидролиз заканчивали, когда крахмальный клейстер приобретал желтую окраску, и отмечали общую продолжительность гидролиза (рис. 1)¹.

Для того чтобы проанализировать исходное количество расщепленного картофельного или кукурузного крахмала после ферментативного гидролиза, проводился анализ на определение амилолитической активности ферментных препаратов Амилолюкс АТС и Глюколюкс А. Амилолитическая активность показывает способность расщепления крахмала до декстринов. Ее определяли спектрофотометрическим методом на спектрофотометре «UV-1800» («Shimadzu», Германия) при длине волны $\lambda = 656$ нм. Для анализа использовали кюветы с толщиной поглощения света 1 см. Бидистиллированная вода являлась контролем. Исходя из количества прогидролизованного крахмала, определялась скорость проведения ферментного гидролиза [29].

Для проведения кислотного гидролиза использовали 10 % серную кислоту H_2SO_4 («Сигма тек», Россия) [29]. Разбавленную серную кислоту вносили в картофельный клейстер (396 мл) в количестве 59,4 мл, а для кукурузного клейстера (396 мл) концентрация серной кислоты была равна 79,2 мл. Приготовленные кислотно-крахмальные клейстеры перемешивали и помещались в водяную баню на 2 ч. Кислотный гидролиз осуществлялся при 95 °С. Каждые 20 мин из колбы брали пробы и вносили в заранее приготовленные пробирки с раствором йода. Также отмечалась общая продолжительность кислотного гидролиза (рис. 2). После кислотного гидролиза необходимо нейтрализовать серную кислоту путем добавления $CaCO_3$ («Альфа-климат»,

¹ ГОСТ Р 50549–93. Продукты гидролиза крахмала. Определение восстанавливающей способности и эквивалента глюкозы. Метод постоянного титра Лейна и Эйнона. – М. : Издательство стандартов, 1993. – 7 с.

Россия) до pH 4,5–4,6. После нейтрализации получившийся осадок ($CaSO_4$) убирали на центрифуге («Centrifuge 5430», Россия). Основную массу нерастворимых компонентов в гидролизатах составляют жирно-белковые примеси (0,3–1 %). Они денатурируются и подвергаются пептизации после действия кислоты и высокой температуры. Для их удаления после нейтрализации гидролизаты подвергались фильтрованию через бумажные фильтры «Синяя лента» (Сартогосм, Россия) с размерами пор 2–3 мкм с использованием активированного угля («Медисорб», Россия). Активированный уголь применялся в качестве адсорбента для обесцвечивания и удаления запаха и примесей. Обесцвечивание происходило путем пропускания растворов гидролизатов через слой угля, нанесенного на фильтровальную бумагу¹.

В данной работе для обезвоживания гидролизатов, полученных при ферментном и кислотном гидролизе картофельного и кукурузного крахмала, рассматривали два способа сушки: распылительный и сублимационный (лиофильный). Для распылительного высушивания использовали распылительную сушилку «Mini Spray Dryer B-290» («Buchi», Швейцария) (рис. 3) [30]. Сушка на данной установке осуществлялась следующим образом: газ, нагретый с помощью микропроцессорной автоматики Fuzzy-logic 2, подавался в корпус сушилки. Одновременно с помощью шлангового насоса поступающий раствор гидролизата в распылительную форсунку 1, из которой впоследствии распылялся раствор на мельчайшие капли в сушильную камеру 3. Поток газа переносил частицы сухого продукта в

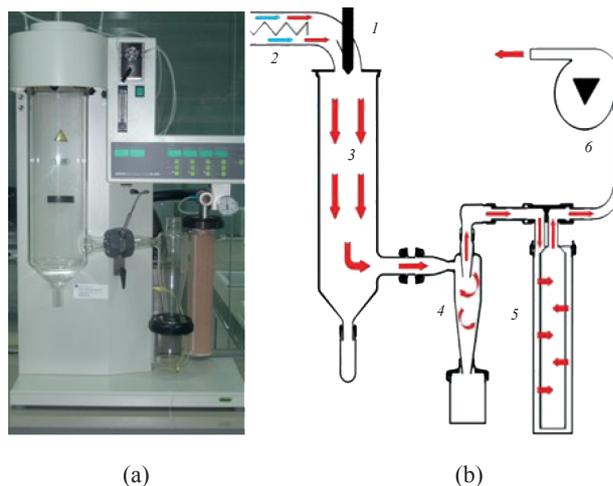


Рисунок 3. Распылительная сушилка: (а) общий вид; (б) схема установки: 1 – распылительная форсунка; 2 – нагреватель Fuzzy-logic; 3 – сушильная камера; 4 – циклон; 5 – выходной фильтр; 6 – потоковый аспиратор

Figure 3. Spray dryer: (a) general view; (b) installation diagram: 1 – spray nozzle; 2 – Fuzzy-logic heater; 3 – drying chamber; 4 – cyclone collector; 5 – output filter; 6 – flow aspirator



Рисунок 4. Сублимационная установка «ИНЕЙ-6М»

Figure 4. INEY-6M freeze-drier

циклон 4, где под действием собственной силы тяжести происходило осаждение сухих частиц. В конструкции распылительной сушилки предусмотрен текстильный выходной фильтр 5, удерживающий мелкие частицы, а также aspirатор 6, создающий поток воздуха во всей установке.

Сублимационное высушивание гидролизатов осуществляли методом лиофилизации с помощью установки «ИНЕЙ-6М» («Биоприбор», Россия) (рис. 4). Принцип сублимационной сушилки заключается в следующем: растворы гидролиза замораживали в течение суток до кристаллообразного состояния. Затем образовавшийся лед переходит в водяной пар, который под действием низковакуумного насоса откачивается из рабочей камеры. Далее образуется конденсация на низкомолекулярном конденсаторе [11].

Из рассмотренных двух методов высушивания гидролизатов сублимационное высушивание не подошло, т. к. количество сухих веществ в полученных гидролизатах составляло всего 1–8 %. Это не соответствует установленным нормам: процентное соотношение сухих веществ для сублимационного высушивания должно составлять не менее 25–30 % [11].

Определение органолептической оценки высушенных образцов мальтодекстринов осуществлялось в соответствии с ГОСТ 34274-2017².

Для полученных образцов мальтодекстринов определялся дектрозный эквивалент (DE), соответствующий методу восстанавливающей способности мальтодекстринов¹.

Массовая доля сахаров определена методом высокоэффективной жидкостной хроматографии

² ГОСТ 34274-2017. Мальтодекстрины. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2019. – 15 с.

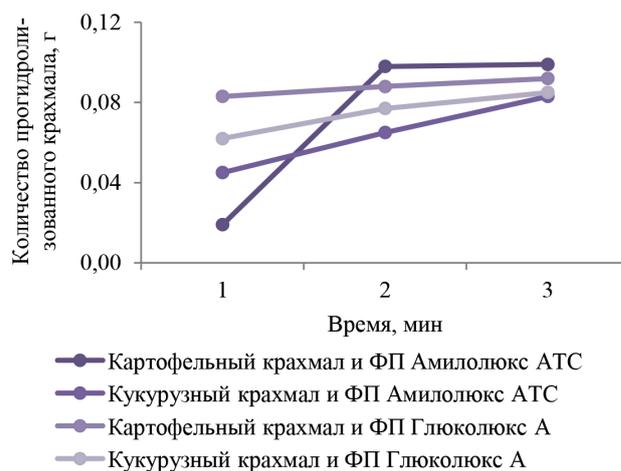


Рисунок 5. Количественное значение прогидролизованного картофельного и кукурузного крахмала

Figure 5. Quantitative value of hydrolyzed potato and corn starch

(ВЭЖХ). Вещества разделены с помощью хроматографа «Shimadzu LC-20» Prominence («Shimadzu», Япония) с спектрофотометрическим детектором «Shimadzu SPD20A» и рефрактометрическим детектором «RID-10A» с колонкой «SHODEX SUGAR SH1821» 8.0 ID×300 mmL. Существующий метод основан на хроматографическом разделении сахаров в полученных образцах мальтодекстрина с последующей регистрацией при использовании рефрактометрического детектора и количественным определением по методу внешних эталонов³. К основным условиям проведения хроматографического анализа относятся: элюент 0,1 N H₂SO₄; температура колонки 50,0 ± 0,1 °C; скорость потока 0,6 мл/мин; объем инъекции 5 мкл. Для количественного определения применялся метод внешних стандартов по площадям пиков испытуемых образцов мальтодекстрина. Для определения качественной оценки сахаров применялся метод сравнения значения времен удерживания исследуемых образцов мальтодекстринов в ВЭЖХ-спектрах³.

Результаты и их обсуждение

В результате серии проведенных экспериментов по ферментному и кислотному гидролизу картофельного и кукурузного крахмала получены несколько образцов мальтодекстринов.

Для ферментных препаратов определены следующие показатели: количество прогидролизованного картофельного и кукурузного крахмала, амилолитическая активность и скорость ферментного гидролиза. Также для высушенных образцов мальтодекстринов проанализированы

³ ГОСТ 32167-2013. Мед. Метод определения сахаров. – М. : Стандартинформ, 2018. – 17 с.

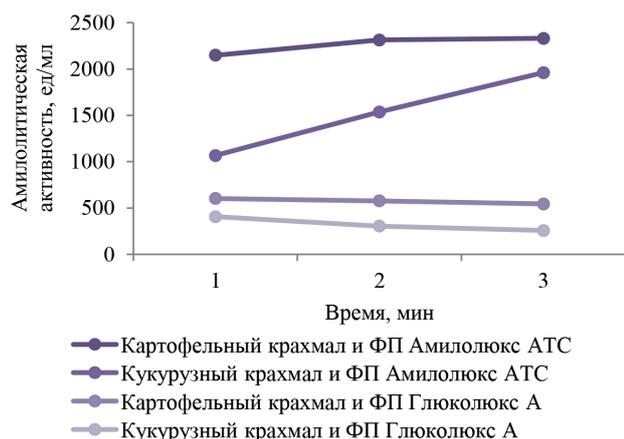


Рисунок 6. Амилолитическая активность ферментных препаратов

Figure 6. Amylolytic activity of enzyme preparations

такие показатели, как органолептическая оценка, DE-значение и массовая доля сахаров, образовавшиеся после ферментного и кислотного гидролиза.

На рисунках 5, 6 и 7 представлены результаты проведения ферментного гидролиза картофельного и кукурузного крахмала при участии ферментных препаратов Амилолюкс АТС и Глюколюкс А.

Из проведенного спектрофотометрического анализа видно, что количество прогидролизованного крахмала с ростом временного значения увеличивается независимо от вида крахмала и ферментного препарата. Активное расщепление осуществлялось при использовании картофельного крахмала и ферментного препарата Амилолюкс АТС.

На рисунке 6 показана зависимость амилолитической активности ферментных препаратов от времени их воздействия на крахмал.

По результатам амилолитической активности можно сделать вывод, что ферментный препарат Амилолюкс АТС является более активным, чем фермент Глюколюкс А, т. к. максимальная амилолитическая активность ферментного препарата Амилолюкс АТС при расщеплении картофельного крахмала составляет 2330,50 ед/мл, а кукурузного крахмала составляет 1960,50 ед/мл в течение 3 минут. Максимальная амилолитическая активность ферментного препарата Глюколюкс А прогидролизованного картофельного крахмала составляет всего 544,58 ед/мл, а кукурузного крахмала равна 257,66 ед/мл в течение такого же времени проведения гидролиза.

На рисунке 7 показана зависимость скорости ферментного гидролиза от времени.

Из полученных результатов видно, что скорость проведения ферментного гидролиза уменьшается пропорционально временному значению. Следо-

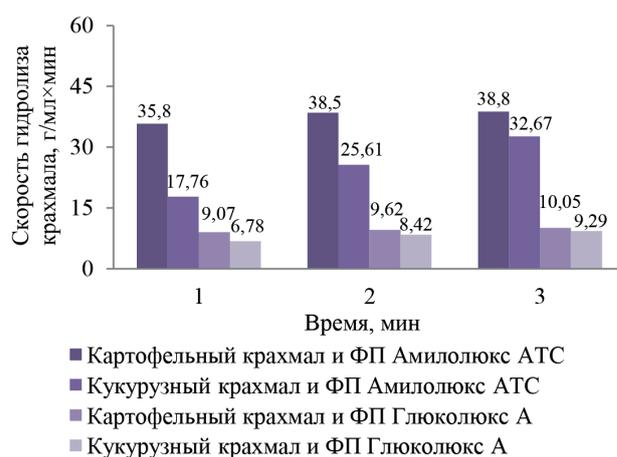


Рисунок 7. Скорость ферментного гидролиза крахмала

Figure 7. Rate of starch enzymatic hydrolysis

вательно, крахмал подвергался поэтапному расщеплению каждую минуту от амилозы и амилопектина до мальтодекстринов. В соответствии с определенными параметрами перспективным ферментным препаратом для проведения ферментного гидролиза крахмала является Амилолюкс АТС.

Исходя из полученных результатов, технология получения мальтодекстринов из картофельного и кукурузного крахмала станет упрощенной благодаря применению ферментного препарата Амилолюкс АТС. В связи с этим проведение дальнейших исследований планируется только с ферментным препаратом Амилолюкс АТС.

Внешний вид всех полученных образцов мальтодекстринов после распылительного высушивания был белого сыпучего порошка, не имеющего постороннего запаха, хорошо растворяющиеся в горячей и холодной воде. Образцы мальтодекстринов, полученные при ферментном и кислотном гидролизе картофельного и кукурузного крахмала, имели сладковатый привкус. Все органолептические показатели полученных образцов соответствовали установленному стандарту (ГОСТ 34274-2017).

Образцы, полученные при ферментном и кислотном гидролизе картофельного крахмала, имели DE 12 %. В образцах, полученных при ферментном и кислотном гидролизе кукурузного крахмала, DE равно 13 %. Из полученного декстрозного значения видно, что коэффициент сладости мальтодекстринов равен 0,1 по отношению к сахару. Коэффициент сладости сахара равен 1 [31]. Также способствуют снижению водопоглотительной способности гидроскопичных компонентов [32]. Следовательно, данные образцы возможно применять в качестве носителя для порошкообразных пищевых ароматизаторов и основы вкусоароматических добавок при изготовлении замороженных соусов и супов, а также в качестве пищевой биологической добавки в молочной промышленности, эмульгатора

Таблица 1. Массовая доля сахаров в полученных образцах мальтодекстрина

Table 1. Mass fraction of sugars in the obtained maltodextrin samples

Образец мальтодекстрина	Вид крахмала	Способ гидролиза крахмала	Массовая доля компонента, %	
			Мальтоза	Глюкоза
Мальтодекстрин № 1	Картофельный	Полный ферментный	23,07 ± 0,10	26,16 ± 0,02
Мальтодекстрин № 2	Картофельный	Ферментный	16,73 ± 0,25	12,48 ± 0,05
Мальтодекстрин № 3	Картофельный	Кислотный	7,97 ± 0,15	2,81 ± 0,03
Мальтодекстрин № 4	Кукурузный	Ферментный	40,22 ± 0,30	52,93 ± 0,04
Мальтодекстрин № 5	Кукурузный	Кислотный	18,43 ± 0,19	27,00 ± 0,01

Таблица 2. Значение времен удерживания сахаров ВЭЖХ-спектрах

Table 2. Time values of sugar retention in HPLC spectra

Образец мальтодекстрина	Вид крахмала	Способ гидролиза крахмала	Время удерживания сахаров, мин	
			Мальтоза	Глюкоза
Мальтодекстрин № 1	Картофельный	Полный ферментный	15,473 ± 0,020	16,773 ± 0,020
Мальтодекстрин № 2	Картофельный	Ферментный	15,731 ± 0,010	16,731 ± 0,050
Мальтодекстрин № 3	Картофельный	Кислотный	15,445 ± 0,030	16,737 ± 0,030
Мальтодекстрин № 4	Кукурузный	Ферментный	15,471 ± 0,050	16,771 ± 0,040
Мальтодекстрин № 5	Кукурузный	Кислотный	15,466 ± 0,040	16,769 ± 0,010

при изготовлении молочных продуктов (например, при изготовлении мороженого порошка и сливок). При этом найдут свое применение в качестве влагопоглотителя при производстве сухого молока. Также полученные образцы мальтодекстринов найдут свое применение в детском питании в качестве подсластителя при изготовлении детских сухих смесей.

Количественное определение сахаров во всех образцах мальтодекстринов, полученных ферментным и кислотным расщеплением картофельного и кукурузного крахмала, представлены в следующих результатах исследований. В таблице 1 приведены значения массовой доли сахаров в образцах мальтодекстрина после ферментного или кислотного гидролиза картофельного и кукурузного крахмала.

В результате проведенных испытаний хороший результат показали образцы «Мальтодекстрин № 2» и «Мальтодекстрин № 3», полученные при проведении

неполного ферментного и кислотного гидролиза картофельного крахмала, т. к. уровень массовой доли сахара мальтозы и глюкозы соответствует норме количества сахара содержащихся в мальтодекстринов (ГОСТ 32167-2013). Образцы «Мальтодекстрин № 4» и «Мальтодекстрин № 5», полученные при неполном ферментном и кислотном расщеплении кукурузного крахмала, расщепились до глюкозы, т. е. можно говорить о том, что гидролиз прошел полностью.

Одновременно при количественном определении сахаров осуществлялась и качественная оценка путем сравнения значений времен удерживания в ВЭЖХ-секторах стандартного раствора. Осуществлена идентификация полученных растворов мальтодекстринов. Значение времен удерживания образовавшихся сахаров в полученных образцах мальтодекстринов представлены в таблице 2.

На рисунках 8–12 представлены хроматограммы образцов высокоэффективной жидкостной хроматографии картофельного и кукурузного

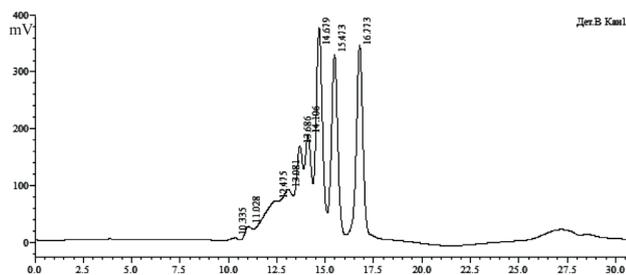


Рисунок 8. ВЭЖХ хроматограмма образца картофельного крахмала после полного ферментного гидролиза

Figure 8. HPLC chromatogram of a potato starch sample after complete enzymatic hydrolysis

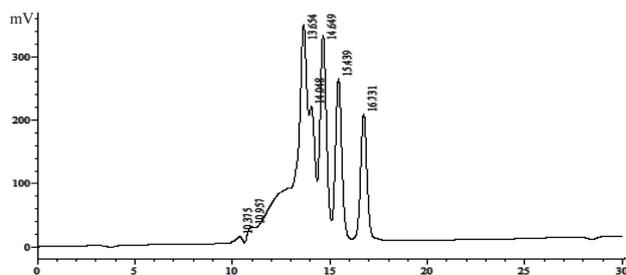


Рисунок 9. ВЭЖХ хроматограмма образца картофельного крахмала после неполного ферментного гидролиза

Figure 9. HPLC chromatogram of a potato starch sample after incomplete enzymatic hydrolysis

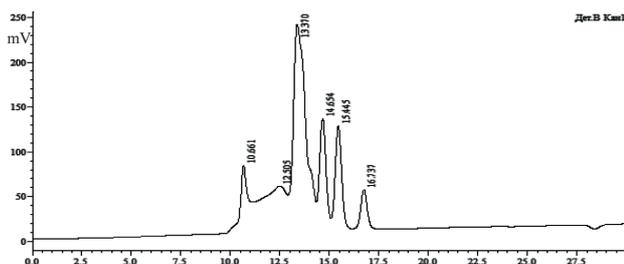


Рисунок 10. ВЭЖХ хроматограмма образца картофельного крахмала после неполного кислотного гидролиза

Figure 10. HPLC chromatogram of a potato starch sample after incomplete acid hydrolysis

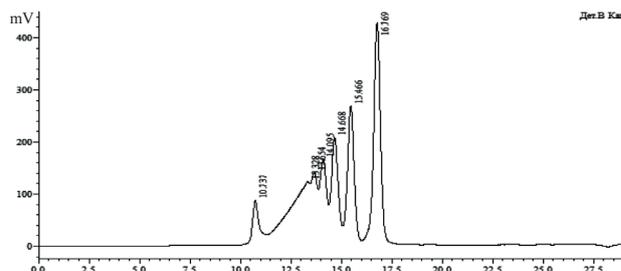


Рисунок 12. ВЭЖХ хроматограмма образца кукурузного крахмала после неполного кислотного гидролиза

Figure 12. HPLC chromatogram of a corn starch sample after incomplete acid hydrolysis

крахмала после ферментного и кислотного гидролиза. Данные хроматограммы подтверждают количественный выход сахаров.

Качественный анализ высокоэффективной жидкостной хроматографии (рис. 8) показал, что картофельный крахмал при полном ферментном гидролизе расщепился полностью, а именно до остатков глюкозы и редуцирующих сахаров мальтозы, что подтверждают результаты анализа хроматографии. Количество молекул глюкозы ($26,16 \pm 0,02$ %) превышает количество молекул мальтозы ($23,07 \pm 0,10$ %), что соответствует массовой доли сахаров в полученных образцах мальтодекстринов (табл. 1).

При исследовании ферментного и кислотного гидролиза картофельного крахмала (рис. 9 и 10) анализ ВЭЖХ показал, что пик выхода мальтозы происходит выше пика выхода глюкозы. То есть количество молекул мальтозы ($16,73 \pm 0,25$ % – при ферментном неполном гидролизе, $7,97 \pm 0,15$ % – при кислотном неполном гидролизе) больше, чем количество молекул глюкозы ($12,48 \pm 0,05$ % – при ферментном неполном гидролизе, $2,81 \pm 0,03$ % – при кислотном неполном гидролизе) (табл. 1).

Если рассмотреть ферментный и кислотный гидролиз кукурузного крахмала (рис. 11 и 12), то результаты ВЭЖХ показали, что пик выхода

мальтозы находится ниже пика выхода глюкозы. То есть количество молекул мальтозы ($40,22 \pm 0,30$ % – при ферментном неполном гидролизе, $18,43 \pm 0,19$ % – при кислотном неполном гидролизе) меньше, чем количество молекул глюкозы ($52,93 \pm 0,04$ % – при ферментном неполном гидролизе, $27,00 \pm 0,01$ % – при кислотном неполном гидролизе) (табл. 1).

В процессе проведения исследований были рассмотрены две технологии получения мальтодекстринов из картофельного и кукурузного крахмала. Одна из них представляет улучшенный технологический процесс получения мальтодекстрина путем ферментного гидролиза картофельного и кукурузного крахмала, применяя ферментный препарат Амилолюкс АТС. Другая технологическая схема рассматривает получения мальтодекстринов путем кислотного гидролиза картофельного и кукурузного крахмала.

Технология, главной технологической стадией которой является ферментный и кислотный гидролиз крахмала, включала в себя следующие операции:

1. Приготовление 1 %-ой суспензии картофельного и кукурузного крахмала;

2. Проведение неполного ферментативного и кислотного гидролиза картофельного и кукурузного крахмала:

- при ферментативном гидролизе использован ферментный препарат Амилолюкс АТС;

- при проведении кислотного гидролиза взята 10 % серная кислота;

3. Нейтрализация серной кислоты путем добавления CaCO_3 до pH 4,5–4,6;

4. Центрифугирование. Получившийся осадок (CaSO_4) после нейтрализации убирался путем центрифугирования в течение 15 мин при 7083 об/мин;

5. Очистка гидролизатов от жира-белковых примесей методом фильтрования гидролизатов;

6. Распылительное высушивание гидролизатов. Критериями подбора параметров являлись массовая доля влаги в образце (не более 5 %) и выход продукта (не менее 80 %). За минимально допустимое

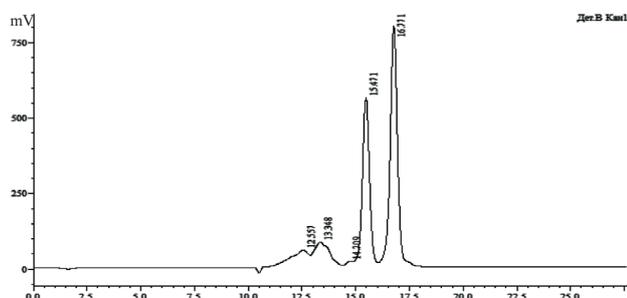


Рисунок 11. ВЭЖХ хроматограмма образца кукурузного крахмала после неполного ферментного гидролиза

Figure 11. HPLC chromatogram of a corn starch sample after incomplete enzymatic hydrolysis

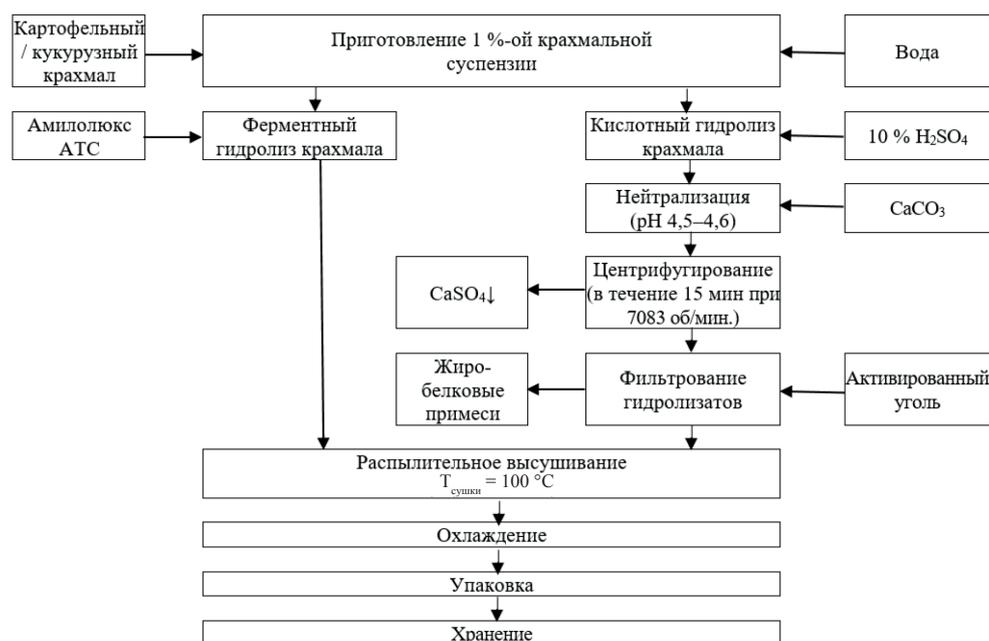


Рисунок 13. Процессуальная схема производства мальтодекстрина

Figure 13. Process flow diagram of maltodextrin production

значение выхода продукта принято 80 % в связи с экономической целесообразностью технологии. При выходе продукта ниже 80 % технология экономически невыгодна. Для высушивания гидролизатов подобраны основные параметры: температура сушки составила 100 °С, температура потока воздуха 100 °С, скорость подачи раствора в установку 12 мл/мин, продолжительность высушивания 3 ч;

7. Охлаждение до 30–35 °С;

8. Упаковка и хранение (24 месяца).

Процессуальная схема получения мальтодекстрина из картофельного и кукурузного крахмала представлена на рисунке 13.

Выводы

Ферментный и кислотный гидролиз крахмала является обязательным этапом технологического процесса производства мальтодекстрина. С целью улучшения технологии получения мальтодекстрина из картофельного и кукурузного крахмала для ферментного гидролиза были рассмотрены и исследованы два ферментных препарата Амиллолюкс АТС и Глюколюкс А. В результате исследований на определение количества прогидролизованного картофельного и кукурузного крахмала, амилотической активности ферментных препаратов Амиллолюкс АТС и Глюколюкс А и скорости ферментного гидролиза перспективным ферментным препаратом является Амиллолюкс АТС. Амилотическая активность Амиллолюкс АТС и скорость ферментного гидролиза выше, чем у ферментного препарата Глюколюкс А. В дальнейшем планируется подбор других ферментных препаратов.

По органолептическому показателю все четыре образца мальтодекстринов не различались между собой. Все образцы имели внешний вид белого сыпучего порошка, с сладковатым привкусом, не имеющего запаха. Хорошо растворяющегося как в горячей воде, так и в холодной.

Полученные мальтодекстрины имели декстрозный эквивалент 12–13 %. В связи с этим данные образцы можно применять в молочной промышленности в качестве эмульгатора при производстве кисломолочных продуктов. Также возможно применение полученных образцов в качестве добавки в сухое молоко, тем самым повысив растворимость продукта. Кроме молочной промышленности полученные образцы мальтодекстринов можно применять и в детском питании в качестве подсластителя, а также при изготовлении замороженных супов, соусов и ароматизаторов.

Проведенный хроматографический анализ показал, что образцы мальтодекстринов, полученные из картофельного крахмала при ферментном гидролизе, имели массовую долю мальтозы $16,73 \pm 0,25$ %, глюкозы – $12,48 \pm 0,05$ %, а при кислотном массовая доля мальтозы – $7,97 \pm 0,15$ %, глюкозы – $2,81 \pm 0,03$ %. Исходя из результатов, ферментный и кислотный гидролиз картофельного крахмала прошел успешно, т. к. количественный выход мальтозы превышает выход глюкозы. Те образцы, которые были получены из кукурузного крахмала при ферментном гидролизе, имели массовую долю мальтозы $40,22 \pm 0,30$ %, глюкозы – $52,93 \pm 0,04$ %, а при кислотном гидролизе

кукурузного крахмала количество мальтозы составляло $18,43 \pm 0,19$ %, глюкозы – $27,00 \pm 0,01$ %. Следовательно, ферментный и кислотный гидролиз кукурузного крахмала прошел полностью, т. к. количественный выход глюкозы значительно превышает выход мальтозы.

Исходя из разработанной технологии получения мальтодекстрина из картофельного и кукурузного крахмала, перспективным методом расщепления крахмала является ферментный гидролиз, по сравнению с кислотным, т. к. при кислотном гидролизе крахмала используется серная кислота. Данный реагент является небезопасным и при ее нейтрализации образуются значительное количество взвесей. Следовательно, готовый продукт получается с примесями.

Критерии авторства

Все авторы внесли равный вклад в создание исследования, обработку и анализ полученных результатов, а также в оформлении статьи.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors equally contributed to the research development, processing, data analysis, and the manuscript design

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Carochi, M. Sweeteners as food additives in the XXI century: A review of what is known, and what is to come / M. Carochi, P. Morales, I. C. F. R. Ferreira // *Food and Chemical Toxicology*. – 2017. – Vol. 107. – P. 302–317. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.06.046>.
2. Resistant maltodextrin as a shell material for encapsulation of naringin: Production and physicochemical characterization / D. A. Pai, V. R. Vangala, J. W. Ng [et al.] // *Journal of Food Engineering*. – 2015. – Vol. 161. – P. 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.037>.
3. Pycia, K. Maltodextrins produced from chemically modified starches as agents affecting stability and rheological properties of albumin foam / K. Pycia, D. Gałkowska, L. Juszczak // *LWT – Food Science and Technology*. – 2017. – Vol. 80. – P. 394–400. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.002>.
4. Effect of adding potato maltodextrins on baking properties of triticale flour and quality of bread / K. Pycia, G. Jaworska, J. Telega [et al.] // *LWT – Food Science and Technology*. – 2018. – Vol. 96 – P. 199–204. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.039>.
5. Complex enzyme hydrolysis releases antioxidative phenolics from rice bran / L. Liu, W. Wen, R. Zhang [et al.] // *Food Chemistry*. – 2017. – Vol. 214. – P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.038>.
6. Maidannyk, V. A. Structural strength analysis of amorphous trehalose-maltodextrin systems / V. A. Maidannyk, B. Nurhadi, Y. H. Roos // *Food Research International*. – 2017. – Vol. 96. – P. 121–131. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.03.029>.
7. Просеков, А. Ю. Исследование параметров гидролиза молочно-белкового концентрата для капсулирования продуктов питания / А. Ю. Просеков, С. А. Равнюшкин, М. Г. Курбанова // *Техника и технология пищевых производств*. – 2009. – Т. 13, № 2. – С. 69–73.
8. Continuous production of pure maltodextrin from cyclodextrin using immobilized *Pyrococcus furiosus* thermostable amylase / N. P. Cuong, W.-H. Lee, I.-N. Oh [et al.] // *Process Biochemistry*. – 2016. – Vol. 51, № 2. – P. 282–287. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2015.11.022>.
9. Lam, M. K. Utilizing lipid-extracted microalgae biomass residues for maltodextrin production / M. K. Lam, I. S. Tan, K. T. Lee // *Chemical Engineering Journal*. – 2014. – Vol. 2351. – P. 224–230. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.023>.
10. Ананских, В. В. О возможности получения мальтодекстринов из кукурузной муки / В. В. Ананских, Л. Д. Шлеина // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2017. – № 11. – С. 9–13.
11. Effect of spray and freeze drying on physico-chemical, functional, moisture sorption and morphological characteristics of camel milk powder / G. K. Deshwal, A. K. Singh, D. Kumar [et al.] // *LWT – Food Science and Technology*. – 2020. – Vol. 134. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110117>.
12. Liquefaction concentration impacts the fine structure of maltodextrin / H. Kong, Y. Zou, Z. Gu [et al.] // *Industrial Crops and Products*. – 2018. – Vol. 123. – P. 687–697. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.042>.
13. Effects of maltodextrin and pulp on the water sorption, glass transition, and caking properties of freeze-dried mango powder / S. Fongin, A. E. A. Granados, N. Harnkarnsujarit [et al.] // *Journal of Food Engineering*. – 2019. – Vol. 247. – P. 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.027>.
14. Hallagan, J. B. The GRAS provision – The FEMA GRAS program and the safety and regulation of flavors in the United States / J. B. Hallagan, R. L. Hall, J. Drake // *Food and Chemical Toxicology*. – 2020. – Vol. 138. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111236>.

15. Karbasi, M. Surface decoration of whey protein microgels through the Maillard conjugation with maltodextrin / M. Karbasi, G. Askari, A. Madadlou // *Food Hydrocolloids*. – 2019. – Vol. 91. – P. 190–197. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.003>.
16. Churio, O. Development and characterization of maltodextrin microparticles to encapsulate heme and non-heme iron / O. Churio, C. Valenzuela // *LWT – Food Science and Technology*. – 2018. – Vol. 96. – P. 568–575. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.072>.
17. Karaca, A. C. Microcapsule production employing chickpea or lentil protein isolates and maltodextrin: Physicochemical properties and oxidative protection of encapsulated flaxseed oil / A. C. Karaca, M. Nickerson, N. H. Low // *Food Chemistry*. – 2013. – Vol. 139, № 1–4. – P. 448–457. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.040>.
18. Functionalization of yogurts with *Agaricus bisporus* extracts encapsulated in spray-dried maltodextrin crosslinked with citric acid / C. R. L. Francisco, S. A. Heleno, I. P. M. Fernandes [et al.] // *Food Chemistry*. – 2018. – Vol. 245. – P. 845–853. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.098>.
19. Разработка комплексных кисломолочных напитков для спортивного питания. Часть 1. / Л. А. Забодалова, Е. П. Сучкова, Д. А. Петров [и др.] // *Вестник международной академии холода*. – 2019. – № 2. – С. 55–61. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2019-18-2-55-61>.
20. Мальтодекстрин в технологии производства концентрированного молокосодержащего продукта / Л. В. Голубева, О. И. Долматова, Г. М. Смольский [и др.] // *Пищевая промышленность*. – 2015. – № 3. – С. 14–16.
21. Effect of lactose-to-maltodextrin ratio on emulsion stability and physicochemical properties of spray-dried infant milk formula powders / A. K. M. Masum, J. Chandrapala, B. Adhikari [et al.] // *Journal of Food Engineering*. – 2019. – Vol. 254. – P. 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.023>.
22. Effect of storage conditions on the physicochemical properties of infant milk formula powders containing different lactose-to-maltodextrin ratios / A. K. M. Masum, J. Chandrapala, T. Huppertz [et al.] // *Food Chemistry*. – 2020. – Vol. 319. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126591>.
23. Novoselova, M. V. Technological options for the production of lactoferrin / M V. Novoselova, A. Yu. Prosekov // *Foods and Raw Materials*. – 2016. – Vol. 4, № 1. – P. 90–101. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-90-101>.
24. Лукин, Д. Н. К вопросу импортозамещения продуктов глубокой переработки зерна и картофеля / Д. Н. Лукин, Н. Р. Андреев // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. – 2014. – Т. 62, № 4. – С. 291–294.
25. Erbay, Z. Effects of using whey and maltodextrin in white cheese powder production on free fatty acid content, nonenzymatic browning and oxidation degree during storage / Z. Erbay, N. Koca // *International Dairy Journal*. – 2019. – Vol. 96. – P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.04.002>.
26. Electrospinning of whey and soy protein mixed with maltodextrin – Influence of protein type and ratio on the production and morphology of fibers / I. Kutzli, M. Gibis, S. K. Baier [et al.] // *Food Hydrocolloids*. – 2019. – Vol. 93. – P. 206–214. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.028>.
27. Prosekov, A. Yu. Theory and practice of prion protein analysis in food products / A. Yu. Prosekov // *Foods and Raw Materials*. – 2014. – Vol. 2, № 2. – P. 106–120. <https://doi.org/10.12737/5467>.
28. Папахин, А. А. Исследование процесса ферментативного гидролиза нативного кукурузного крахмала в гетерогенной среде / А. А. Папахин, Н. Д. Лукин, З. М. Бородина // *Международная научно-практическая конференция «Биотехнология и качество жизни»*. – Москва, 2014. – С. 386–387.
29. Kyriakoudi, A. Properties of encapsulated saffron extracts in maltodextrin using the Büchi B-90 nano spray-dryer / A. Kyriakoudi, M. Z. Tsimidou // *Food Chemistry*. – 2018. – Vol. 266. – P. 458–465. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.038>.
30. Кочетов, О. С. Исследование процессов распылительной сушки / О. С. Кочетов // *Научно-технический прогресс как фактор развития современной цивилизации : сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции*. – Магнитогорск, 2017. – С. 135–137.
31. A new sensory sweetness definition and sweetness conversion method of five natural sugars, based on the Weber-Fechner Law / Y. Mao, S. Tian, Y. Qin [et al.] // *Food Chemistry*. – 2019. – Vol. 281. – P. 78–84. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.049>.
32. Maltodextrin promotes calcium caseinate fibre formation through air inclusion / Z. Wang, B. L. Dekkers, R. Boom [et al.] // *Food Hydrocolloids*. – 2019. – Vol. 95. – P. 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.028>.

References

1. Carocho M, Morales P, Ferreira ICFR. Sweeteners as food additives in the XXI century: A review of what is known, and what is to come. *Food and Chemical Toxicology*. 2017;107:302–317. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.06.046>.
2. Pai DA, Vangala VR, Ng JW, Ng WK, Tan RBH. Resistant maltodextrin as a shell material for encapsulation of naringin: Production and physicochemical characterization. *Journal of Food Engineering*. 2015;161:68–74. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.037>.

3. Pycia K, Galkowska D, Juszcak L. Maltodextrins produced from chemically modified starches as agents affecting stability and rheological properties of albumin foam. *LWT – Food Science and Technology*. 2017;80:394–400. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.002>.
4. Pycia K, Jaworska G, Telega J, Sudol I, Kuźniar P. Effect of adding potato maltodextrins on baking properties of triticale flour and quality of bread. *LWT – Food Science and Technology*. 2018;96:199–204. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.039>.
5. Liu L, Wen W, Zhang R, Wei Z, Deng Y, Xiao J, et al. Complex enzyme hydrolysis releases antioxidative phenolics from rice bran. *Food Chemistry*. 2017;214:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.038>.
6. Maidannyk VA, Nurhadi B, Roos YH. Structural strength analysis of amorphous trehalose-maltodextrin systems. *Food Research International*. 2017;96:121–131. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.03.029>.
7. Prosekov AYu, Ravnyushkin SA, Kurbanova MG. Study parameter hydrolysis milk-protein concoction for products of the feeding in capsule. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2009;13(2):69–73. (In Russ.).
8. Cuong NP, Lee W-H, Oh I-N, Thuy NM, Kim D-G, Park J-T, et al. Continuous production of pure maltodextrin from cyclodextrin using immobilized *Pyrococcus furiosus* thermostable amylase. *Process Biochemistry*. 2016;51(2):282–287. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2015.11.022>.
9. Lam MK, Tan IS, Lee KT. Utilizing lipid-extracted microalgae biomass residues for maltodextrin production. *Chemical Engineering Journal*. 2014;235:224–230. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.023>.
10. Ananskikh VV, Shleina LD. About a possibility of receiving maltodextrins from cornmeal. *Storage and Processing of Farm Products*. 2017;(11):9–13. (In Russ.).
11. Deshwal GK, Singh AK, Kumar D, Sharma H. Effect of spray and freeze drying on physico-chemical, functional, moisture sorption and morphological characteristics of camel milk powder. *LWT – Food Science and Technology*. 2020;134. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110117>.
12. Kong H, Zou Y, Gu Z, Li Z, Jiang Z, Cheng L, et al. Liquefaction concentration impacts the fine structure of maltodextrin. *Industrial Crops and Products*. 2018;123:687–697. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.042>.
13. Fongin S, Granados AEA, Harnkarnsujarit N, Hagura Y, Kawai K. Effects of maltodextrin and pulp on the water sorption, glass transition, and caking properties of freeze-dried mango powder. *Journal of Food Engineering*. 2019;247:95–103. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.027>.
14. Hallagan JB, Hall RL, Drake J. The GRAS provision – The FEMA GRAS program and the safety and regulation of flavors in the United States. *Food and Chemical Toxicology*. 2020;138. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111236>.
15. Karbasi M, Askari G, Madadlou A. Surface decoration of whey protein microgels through the Maillard conjugation with maltodextrin. *Food Hydrocolloids*. 2019;91:190–197. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.003>.
16. Churio O, Valenzuela C. Development and characterization of maltodextrin microparticles to encapsulate heme and non-heme iron. *LWT – Food Science and Technology*. 2018;96:568–575. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.072>.
17. Karaca AC, Nickerson M, Low NH. Microcapsule production employing chickpea or lentil protein isolates and maltodextrin: Physicochemical properties and oxidative protection of encapsulated flaxseed oil. *Food Chemistry*. 2013;139(1–4):448–457. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.040>.
18. Francisco CRL, Heleno SA, Fernandes IPM, Barreira JCM, Calhella RC, Barros L, et al. Functionalization of yogurts with *Agaricus bisporus* extracts encapsulated in spray-dried maltodextrin crosslinked with citric acid. *Food Chemistry*. 2018;245:845–853. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.098>.
19. Zabodalova LA, Suchkova EP, Petrov DA, Kritchenkov AS. Development of complex acid and milk drinks for sports food. Part 1. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2019;(2):55–61. (In Russ.). <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2019-18-2-55-61>.
20. Golubeva LV, Dolmatova OI, Smolskiy GM, Gubanov AA, Daryin AO. Maltodextrin in the production technology of the concentrated milk-containing product. *Food Industry*. 2015;(3):14–16. (In Russ.).
21. Masum AKM, Chandrapala J, Adhikari B, Huppertz T, Zisu B. Effect of lactose-to-maltodextrin ratio on emulsion stability and physicochemical properties of spray-dried infant milk formula powders. *Journal of Food Engineering*. 2019;254:34–41. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.023>.
22. Masum AKM, Chandrapala J, Huppertz T, Adhikari B, Zisu B. Effect of storage conditions on the physicochemical properties of infant milk formula powders containing different lactose-to-maltodextrin ratios. *Food Chemistry*. 2020;319. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126591>.
23. Novoselova MV, Prosekov AYu. Technological options for the production of lactoferrin. *Foods and Raw Materials*. 2016;4(1):90–101. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-90-101>.
24. Lukin DN, Andreev NR. On the issue of import substitution of deep processing products from grain and potato. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2014;62(4):291–294. (In Russ.).
25. Erbay Z, Koca N. Effects of using whey and maltodextrin in white cheese powder production on free fatty acid content, nonenzymatic browning and oxidation degree during storage. *International Dairy Journal*. 2019;96:1–9. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.04.002>.
26. Kutzli I, Gibis M, Baier SK, Weiss J. Electrospinning of whey and soy protein mixed with maltodextrin – Influence of protein type and ratio on the production and morphology of fibers. *Food Hydrocolloids*. 2019;93:206–214. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.028>.

27. Prosekov AYu. Theory and practice of prion protein analysis in food products. *Foods and Raw Materials*. 2014;2(2): 106–120. <https://doi.org/10.12737/5467>.

28. Papakhin AA, Lukin ND, Borodina ZM. Study of enzymatic hydrolysis of native corn starch in heterogeneous medium. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Biotekhnologiya i kachestvo zhizni"* [International scientific and practical conference "Biotechnology and Quality of Life"]; 2014; Moscow. Moscow: Ehkspo-biokhim-tekhnologii; 2014. p. 386–387. (In Russ.).

29. Kyriakoudi A, Tsimidou MZ. Properties of encapsulated saffron extracts in maltodextrin using the Büchi B-90 nano spray-dryer. *Food Chemistry*. 2018;266:458–465. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.038>.

30. Kochetov OS. Issledovanie protsessov raspylitel'noy sushilki [Research of spray dryer processes]. *Nauchno-tehnicheskiiy progress kak faktor razvitiya sovremennoy tsvivilizatsii: sbornik statey po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Scientific and technical progress as a factor in the development of modern civilization: Proceedings of the International scientific and practical conference]; 2017; Magnitogorsk. Magnitogorsk: Agency for International Studies; 2017. p. 135–137. (In Russ.).

31. Mao Y, Tian S, Qin Y, Han J. A new sensory sweetness definition and sweetness conversion method of five natural sugars, based on the Weber-Fechner Law. *Food Chemistry*. 2019;281:78–84. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.049>.

32. Wang Z, Dekkers BL, Boom R, van der Goot AJ. Maltodextrin promotes calcium caseinate fibre formation through air inclusion. *Food Hydrocolloids*. 2019;95:143–151. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.028>.

Сведения об авторах

Федорова Анастасия Михайловна

магистрант кафедры биотехнологии, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (983) 224-89-62, e-mail: anastasija.fedorova-af2014@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-8071-4411>

Козлова Оксана Васильевна

д-р техн. наук, доцент кафедры бионанотехнологии, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (923) 618-75-57, e-mail: ms.okvk@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-2960-0216>

Славянский Анатолий Анатольевич

д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой технологии продуктов из растительного сырья и парфюмерно-косметических изделий, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ)», 109004, Россия, г. Москва, ул. Земляной вал, 73, тел.: +7 (903) 542-81-23, e-mail: anatoliy4455@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

Величкович Наталья Сергеевна

канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (950) 575-57-41, e-mail: velichkovich@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9061-1256>

Ле Виолета Мироновна

канд. хим. наук, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (909) 513-99-31, e-mail: ya808@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9546-6633>

Information about the authors

Anastasia M. Fedorova

Undergraduate of the Department of Biotechnology, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (983) 224-89-62, e-mail: anastasija.fedorova-af2014@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-8071-4411>

Oksana V. Kozlova

Dr.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Bionanotechnology, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (923) 618-75-57, e-mail: ms.okvk@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-2960-0216>

Anatoliy A. Slavyanskiy

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Head of the Department of Technology of Products from Vegetable Raw Materials and Perfumery and Cosmetic Products, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossacs University), 73, Zemlyanoy Val Str., Moscow, 109004, Russia, +7 (903) 542-81-23, e-mail: anatoliy4455@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

Natalia S. Velichkovich

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (950) 575-57-41, e-mail: velichkovich@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9061-1256>

Violeta M. Le

Cand.Sci.(Chem.), Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (909) 513-99-31, e-mail: ya808@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9546-6633>

Разработка новых заторно-сусловарочно-фильтрационных аппаратов для производства крафтового пива

Д. М. Бородулин*^{ID}, А. В. Шалев^{ID}, Е. А. Сафонова^{ID}, М. В. Просин^{ID},
Я. С. Головачева^{ID}, Е. А. Вагайцева^{ID}



Дата поступления в редакцию: 28.08.2020
Дата принятия в печать: 25.12.2020

Кемеровский государственный университет^{ROR}, Кемерово, Россия

*e-mail: borodulin_dmitri@list.ru



© Д. М. Бородулин, А. В. Шалев, Е. А. Сафонова, М. В. Просин, Я. С. Головачева, Е. А. Вагайцева, 2020

Аннотация.

Введение. Внедрение новых инновационных технологий в пищевой промышленности позволяет повысить эффективность процессов. В данной работе рассмотрено совершенствование способа приготовления пивного сусла для производства крафтового пива с применением новых конструкций заторно-сусловарочно-фильтрационных аппаратов, совмещающих в себе проведение процессов затираания и фильтрования.

Объекты и методы исследования. Разработаны две новые конструкции заторно-сусловарочно-фильтрационных аппаратов № 1 и № 2. При исследовании процесса затираания были использованы солод, хмель, питьевая вода и пивное сусло. В работе применялись общепринятые физико-химические и органолептические методы исследования.

Результаты и их обсуждение. Разработаны новые конструкции аппаратов. Заторно-сусловарочно-фильтрационный аппарат № 1 отличается от традиционной конструкции тем, что на днище корпуса установлен фильтрационный чан, который выполнен в виде цилиндрической обечайки с размещенными фильтрами в ее нижней и верхней частях. Через чан осуществляется принудительная циркуляция потока жидкой среды при помощи насоса, установленного на наружной стороне паровой рубашки. Наружная сторона паровой рубашки покрыта сверхтонкой жидкой теплоизоляцией Корунд классик. Заторно-сусловарочно-фильтрационный аппарат № 2 в корпусе имеет фильтрационное дно, выполненное из перфорированного листа. В процессе работы аппарата осуществляется интенсивная циркуляция жидкости. Также происходит перемешивание заторной массы с помощью мешалки, частота вращения которой имеет возможность регулирования. Это позволяет оптимизировать процесс затираания в различные моменты времени. После окончания процесса затираания затор проходит через фильтрационное дно, благодаря чему жидкая фаза отделяется от твердой. В нижней части корпуса расположен люк для выгрузки дробины из аппарата по окончании проведения процесса. Физико-химические и органолептические показатели полученных образцов пивного сусла и пива соответствуют ГОСТ 30060-93 «Пиво. Методы определения органолептических показателей и объема продукции». Установлено, что конструкция заторно-сусловарочно-фильтрационного аппарата № 2 позволяет получить пивное сусло более высокого качества и улучшить вкусовые характеристики приготовленных пивных напитков за счет повышения эффективности извлечения белков и сбраживаемых сахаров при расщеплении крахмалов из солода в результате регулирования работы перемешивающего устройства и циркуляции потока жидкой среды в процессе приготовления сусла.

Выводы. Новые конструкции заторно-сусловарочно-фильтрационных аппаратов позволяют сократить длительность приготовления пивного сусла на 28,6 %; облегчить труд работника; сократить затраты на тепло- и электроэнергию; уменьшить производственные площади за счет совмещения стадий затираания и фильтрования в одном аппарате.

Ключевые слова. Алкогольные напитки, пиво, пивное сусло, затираание, фильтрование, органолептические показатели

Финансирование. Работа выполнена на базе инжинирингового центра Кемеровского государственного университета (КемГУ)^{ROR} «FOOD ENGINEERING».

Для цитирования: Разработка новых заторно-сусловарочно-фильтрационных аппаратов для производства крафтового пива / Д. М. Бородулин, А. В. Шалев, Е. А. Сафонова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 630–641. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-630-641>.

Original article

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

Development of New Mash Filters for Craft Beer Brewing

Dmitry M. Borodulin*^{ID}, Aleksey V. Shalev^{ID}, Elena A. Safonova^{ID},
Maksim V. Prosin^{ID}, Yana S. Golovacheva^{ID}, Elena A. Vagaytseva^{ID}



Abstract.

Introduction. New innovative technologies make food industry more effective. The present paper introduces a new method of hopped wort production based on novel mash filters.

Study objects and methods. The research featured two new designs of mash filters. The study of the mashing process involved malt, hops, drinking water, and beer wort. The research included generally accepted methods of physicochemical and sensory research.

Results and discussion. Both models differed from the traditional design. Mash filter I had a cylindrical filtration vat at its bottom with filters in the lower and upper parts of the vat. A pump was installed on the outer side of the steam jacket to produce forced circulation of the liquid medium flow through the vat. The steam jacket was covered with Corundum Classic superfine liquid thermal insulation. Mash filter II had a filtration bottom made of perforated sheet and provided intensive liquid circulation. It also had a regulated mixer that moved the mash, which significantly improved the mashing process. After the mashing, the mash passed through the filtration bottom, separating the liquid phase from the solid phase. The crushed material was discharged through a hatch in bottom. The physicochemical and sensory profiles of the obtained beer wort and beer samples complied with State Standard 30060-93 “Beer. Methods for determination of organoleptic indices and product’s volume”. Mash filter II produced beer wort of higher quality and improved the sensory properties of the finished product. This model proved more effective in extracting proteins and digestible sugars during amylolysis due to a better mixing and circulation of liquid medium flow during the wort preparation.

Conclusion. The new modified mash filter made it possible to reduce the brewing time by 28.6%. Not only was it more user friendly, but it also was less heat and electricity consuming. In addition, it reduced the production area as it combined the stages of mashing and filtering.

Keywords. Alcoholic drinks, beer, beer wort, mashing, filtration, sensory profile

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

For citation: Borodulin DM, Shalev AV, Safonova EA, Prosin MV, Golovacheva YaS, Vagaytseva EA. Development of New Mash Filters for Craft Beer Brewing. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(4):630–641. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-630-641>.

Введение

Одной из основных задач науки в пивоваренной отрасли является повышение эффективности процессов через внедрение новых инновационных технологий [1–6]. Внимание ученых, участвующих в создании нового высокоэффективного оборудования, направлено на снижение энергетических затрат и сокращение продолжительности технологического процесса, сохраняя и улучшая качество и вкус напитка [7–13].

В настоящее время у населения все большую популярность получает крафтовое пиво, которое не так давно пришло в Россию [14–18]. Мини-пивоварни имеют свою индивидуальность, независимость и особое отношение к потребителю. Это позволяет им творчески подходить к приготовлению напитка, вводить новые рецепты и вкусы, что способствует появлению инновационных сортов пива. Ситуация на мировом рынке пива выглядит следующим образом: популярность больших по объему производств падает, а выпуск крафтового пива, имеющего высокие вкусовые качества и большое разнообразие ассортимента, стремительно развивается.

Процесс производства пива состоит из следующих основных производственных стадий: дробление, затирание, фильтрование, охмеление, брожение и созревание. Из этого следует, что производство

пивных напитков является длительным и трудоемким процессом.

Одной из основных стадий при приготовлении пива является процесс затирания, который заключается в смешивании зернопродуктов с водой, нагревание смеси и ее выдержку при определенных температурах. В результате происходит переход экстрактивных веществ зернопродуктов в сусло, выход которых зависит от качества проведения гидролитических процессов [19, 20]. Данный процесс проводят в заторно-сусловарочных аппаратах. Для этого солод смешивают с водой температурой 40–42 °С и следуют схеме:

1) нагрев затора до 45 °С, оставляют на 10 мин (первая пауза);

2) нагрев затора до 55 °С, оставляют на 20 мин (вторая «протеиновая» пауза). Протеины расщепляются на аминокислоты;

3) нагрев затора до 68 °С, оставляют на 40 мин (третья пауза «на осахаривание»). Крахмал расщепляется на простые сахара;

4) нагрев затора до 72 °С, оставляют на 20 мин (четвертая пауза);

5) при достижении затора 76–78 °С температура окончания затирания (прекращается действие ферментов). Затем сусло отправляют на фильтрование. Скорость подогрева затора 1 °С в 1 минуту.

После окончания белковой (протеиновой) паузы наступает очередь паузы на осахаривание. При этом повышают температуру до 65–75 °С и выдерживают паузу в течение одного часа. Во время этой паузы образуются сахара. Ферменты, расщепляющие крахмал (альфа- и бета-амилазы), наиболее активны именно в этом интервале температур. Если выбрать для паузы нижнюю границу интервала (чуть выше 65 °С), то активируется бета-амилаза. Этот фермент способствует образованию сбраживаемых сахаров. Если, напротив, держаться верхней границы интервала (чуть ниже 75 °С), то активируется альфа-амилаза. Она вызывает образование несбраживаемых сахаров.

При данных температурах действует комплекс ферментов, связанных с дорасщеплением белка. Главная роль при этой паузе отводится действию бета-амилазы. Она разрушает молекулу крахмала, оставляя крупные молекулы мальтодекстринов (амилозу и амилопектин), которые уже не дают характерного для крахмала окрашивания с йодом. Наибольшая активность фермента при указанной температуре составляет 30 мин. Если увеличить ее продолжительность, то скорость реакции замедлится, но не остановится.

Альфа-амилаза действует на молекулы крахмала по краям, отщепляя небольшие кусочки моно-, ди- и трисахаров. Наибольшее значение имеет образовавшийся в результате дисахарид – мальтоза.

Мальтоза – основной источник питания для дрожжей. Чем ее больше, тем крепче и насыщенней будет пиво. Количество мальтозы зависит от начального количества мальтодекстринов, на которые действует альфа-амилаза, а также от продолжительности протекания реакций. Чем дольше позволять амилазам действовать на крахмал, тем больше сахаров будет на выходе и тем больший выход экстракта получит пивовар.

Предельная температурная пауза при затирании солода для пива составляет 78 °С. После того как прошло затирание, начинается процесс фильтрации – отделение суслу от дробины. Данный процесс протекает в фильтрационном аппарате через слой дробины. После фильтрования оставшуюся дробину промывают горячей водой и вымывают из нее оставшееся сусло. Температура воды должна быть равной температуре суслу – 65–70 °С. Если температура выше, то может произойти клейстеризация и процесс фильтрации пойдет хуже. Промывка продолжается до тех пор, пока содержание экстракта в получаемом сусле не станет настолько низким, что дальнейшая промывка окажется нецелесообразной.

Следующим этапом в схеме приготовления пива является охмеление пивного суслу, которое заключается в его кипячении с хмелем. В результате данного процесса происходит экстрагирование из хмеля горьких и ароматических веществ, коагуляция

белка, стерилизация суслу, упаривание суслу до заданной плотности. Кипячение длится 90 мин. Хмель вносят в сусло в 3–5 приемов. Окончание процесса охмеления устанавливают по содержанию в сусле сухих веществ и степени осветления. После чего сусло охлаждают. Первичное охлаждение суслу до 90–95 °С происходит в гидроциклоне (вирпуле) в течении 20–40 мин. В нем одновременно происходит осаждение крупных частиц за счет центробежной силы. Дальнейшее охлаждение до 10–17 °С происходит в теплообменниках.

Процесс брожения проводят в цилиндрико-коническом танке. В него поступают охлажденное сусло и дрожжи. Главное брожение длится 4–6 дней. При плотности суслу 7,0–7,5 % производят шпунтование танка для набора углекислоты. При достижении плотности 4,5–3,5 % понижают температуру среды до 2 °С, проводят снятие дрожжей для исключения характерного привкуса в напитке. После молодое пиво созревает в течении 27–90 дней.

Приготовление крафтового пива отличается от классического способа индивидуальной рецептурой готового напитка, разнообразием ассортимента и сокращением времени приготовления пива за счет небольшого объема производства.

В настоящее время в пивоваренной отрасли стоит задача обеспечения производства новым современным оборудованием, которое позволит повысить эффективность процессов, сохранив качество и органолептические характеристики напитков. Это является актуальным вопросом в пивоваренной индустрии, имеющий сегодня колоссальные изменения как в технологическом, так и в техническом оснащении.

Целью данной работы является совершенствование способа приготовления пивного суслу в результате внедрения разработанных новых заторно-сусловарочно-фильтрационных аппаратов для производства крафтового пива.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. провести обзор существующих конструкций сусловарочных, заторно-сусловарочных и заторно-сусловарочно-фильтрационных аппаратов, выявить их достоинства и недостатки;
2. разработать новое оборудование, которое позволит увеличить эффективность процесса затирания и сократить время приготовления пивного суслу;
3. провести исследования влияния разработанного нового оборудования на качество получаемого в нем пивного суслу и готового продукта.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являются заторно-сусловарочно-фильтрационные аппараты.

Предметом исследования является процесс получения пивного суслу в новом оборудовании.

Для решения первой задачи провели обзор существующих конструкций заторно-сусловарочных аппаратов за последние 10 лет. Обзор позволил выявить следующие недостатки аппаратов: отсутствие фильтрации пивного сусла; большая длительность процесса экстрагирования веществ солода и хмеля; большие потери тепла аппарата; большая энергозатратность; невысокая эффективность использования экстрагируемых веществ солода; образование застойных зон; недостаточная коллоидная стойкость получаемого пивного напитка. Перечисленные недостатки приводят к ухудшению качества пива.

Для решения второй задачи на базе инжинирингового центра Кемеровского государственного университета «FOOD ENGINEERING» были разработаны две новые конструкции заторно-сусловарочно-фильтрационных аппаратов № 1 и № 2.

Разработанный заторно-сусловарочно-фильтрационный аппарат № 1, защищенный патентом РФ № 2713107, представлен на рисунке 1 [21]. Данная конструкция относится к аппаратам, применяемым в частных пивоварнях и ресторанах.

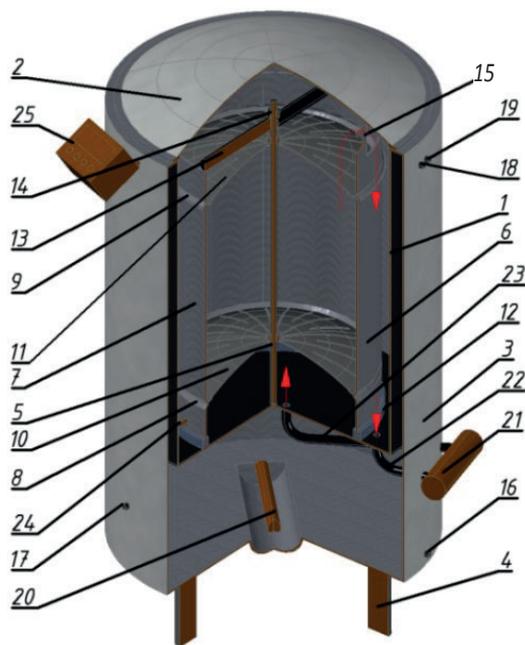


Рисунок 1. Заторно-сусловарочно-фильтрационный аппарат № 1: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – паровая рубашка; 4 – опорные стойки; 5 – ось; 6 – фильтрационный чан; 7 – цилиндрическая обечайка; 8, 9 – внутреннее и наружное ребро; 10, 11 – фильтры; 12 – уплотнительная манжета; 13 – трубка; 14 – гайка; 15 – уши; 16, 22, 23 – патрубок; 17, 19 – кран; 18 – аварийный клапан; 20 – ТЭН; 21 – насос; 24 – термопара; 25 – блок управления аппаратом

Figure 1. Mash filter № 1: 1 – case; 2 – lid; 3 – steam jacket; 4 – support posts; 5 – axis; 6 – filtration tank; 7 – cylindrical shell; 8, 9 – inner and outer rib; 10, 11 – filters; 12 – sealing collar; 13 – tube; 14 – nut; 15 – ears; 16, 22, 23 – branch pipe; 17, 19 – tap; 18 – emergency valve; 20 – heating element; 21 – pump; 24 – thermal couple; 25 – control unit

Заторно-сусловарочно-фильтрационный аппарат содержит цилиндрический корпус 1, крышку 2, паровую рубашку 3 и опорные стойки 4. На ось 5, находящуюся внутри аппарата, надевается фильтрационный чан 6, выполненный в виде цилиндрической обечайки 7 с внутренним 8 и наружным 9 ребрами в ее нижней и верхней частях соответственно, на которые располагают фильтры 10 и 11, имеющие вид дугообразного диска с прорезями. Для герметичности фильтрационный чан 6 устанавливается на днище корпуса 1 через уплотнительную манжету 12. Для предотвращения подъема фильтра 11 за пределы цилиндрической обечайки 7 во время проведения процесса на ось 5 надевается трубка 13, которая закрепляется гайкой 14. На цилиндрической обечайке 7 выполнены уши 15 для подъема фильтрационного чана 6.

В нижней части аппарата расположен патрубок 16 для входа и слива воды. Кран 17 установлен для контроля уровня воды в паровой рубашке 3. В верхней части аппарата размещен аварийный клапан двойного действия 18 и кран для регулирования давления 19. Нагревание воды в паровой рубашке осуществляют с помощью ТЭНа 20. На наружной стороне паровой рубашки 3 установлен насос 21, который обеспечивает циркуляцию жидкости из межцилиндрического пространства через патрубок 22 в фильтрационный чан 6 через патрубок 23. Для контроля температуры жидкости установлена термопара 24, которая связана с блоком управления аппаратом 25.

Для соблюдения технологии приготовления пива отношение объемов фильтрационного чана 6 и цилиндрического корпуса 1 составляет 1:4.

Аппарат работает следующим образом. Цилиндрическая обечайка 7 с уплотнительной манжетой 12 надевается на ось 5 и устанавливается на днище цилиндрического корпуса 1. На ее внутреннее ребро 8 размещают фильтр 10. Затем в аппарат заливают воду, количество которой составляет 75 % от общего объема корпуса 1, и закрывают его крышкой 2. Через патрубок 16 поступает вода в паровую рубашку 3 до уровня, регулируемого краном 17, и нагревается при помощи ТЭНа 20. После того как вода в цилиндрическом корпусе 1 достигла требуемой температуры, контролируемой при помощи термопары 24, открывают крышку 2 и в фильтрационный чан 6 загружают продукты соложения. Затем на наружное ребро 9 устанавливают фильтр 11, а на ось 5 надевают трубку 13, закрепляемую гайкой 14. После этого аппарат закрывают крышкой 2 и проводят процесс затирания при открытом кране регулирования давления 19. Выдержка температурных пауз устанавливается при помощи блока управления 25. Данным блоком также контролируется работа насоса 21, циркулирующего поток жидкой среды из межцилиндрического

пространства через патрубок 22 в фильтрационный чан 6 через патрубок 23. Благодаря интенсивной циркуляции жидкости увеличивается степень извлечения сбраживаемых сахаров при расщеплении крахмала из солода. В результате происходит повышение эффективности процесса затириания. По окончании данного процесса осахаренный затор, не требующий фильтрования, остается в аппарате, а фильтрационный чан 6 при помощи ушек 15 поднимается над аппаратом для осуществления промывки дробины. В результате происходит восполнение объема затора, уменьшившегося в результате выкипания на 10–15 %, и обогащение его ценными веществами. Затем фильтрационный чан 6 удаляют, а в цилиндрический корпус 1 загружают хмель и проводят процесс охмеления. При этом кран регулирования давления 19 закрыт.

Для предотвращения термических поражений работников от паровой рубашки ее покрывают сверхтонкой жидкой теплоизоляцией Корунд классик, которая обладает хорошей стойкостью и малой теплопроводностью. Благодаря этому снижаются энергетические затраты на нагрев исходной жидкой среды и время выхода аппарата на стационарный режим работы. Также значительно сокращаются тепловые потери в окружающую среду.

Данная конструкция позволяет повысить эффективность извлечения сбраживаемых сахаров при расщеплении крахмала из солода, получить чистое сусло, а также сократить потери тепло- и энергозатрат, снизить травмоопасность аппарата.

В результате проведенной промышленной апробации была разработана еще одна конструкция заторно-сусловарочно-фильтрационного аппарата – № 2 (рис. 2).

Аппарат содержит цилиндрический корпус 1, загрузочный люк 2, паровую рубашку 3 и опорные стойки 4. В корпусе выполнено фильтрационное дно 7, имеющее перфорацию диаметром ячеек 1,5 мм с шагом 2,5 мм. Для выгрузки дробины после проведения процесса в нижней части аппарата расположен люк 8. На валу 5 установлена пропеллерная мешалка 6 с возможностью регулирования, что позволяет оптимизировать протекание процесс затириания в различные моменты. Мешалка 6 имеет привод 10.

Нагревание затора с обеспечением технологических пауз проводят по заданной программе. Из части аппарата, расположенной под фильтрационным дном 7, производят циркуляцию жидкости через патрубки 14, 15 и систему 11 с помощью насоса 9. Термопара 12 связана с блоком управления аппаратом 13 и служит для контроля температуры среды.

Аппарат работает следующим образом. Через люк 2 подается вода и нагревается с помощью паровой рубашки 3 до установленной температуры. При этом

мешалка работает непрерывно. После через люк 2 загружаются продукты соложения и проводят процесс затириания. С помощью блока управления аппаратом 13 устанавливается выдержка температурных пауз и осуществляется процесс затириания. Благодаря тому, что происходит интенсивная циркуляция жидкой среды через систему 11 с помощью насоса 9 и перемешивание пропеллерной мешалкой 6, происходит повышение эффективности процесса затириания, т. к. увеличивается степень извлечения сбраживаемых сахаров при расщеплении крахмала из солода. После окончания процесса затириания затор проходит через фильтрационное дно 7. Благодаря этому жидкая фаза отделяется от твердой. Пивная дробина также формирует дополнительный фильтрационный слой. Так как он уплотняется с течением времени, то данный слой разрыхляют с помощью перемешивающегося

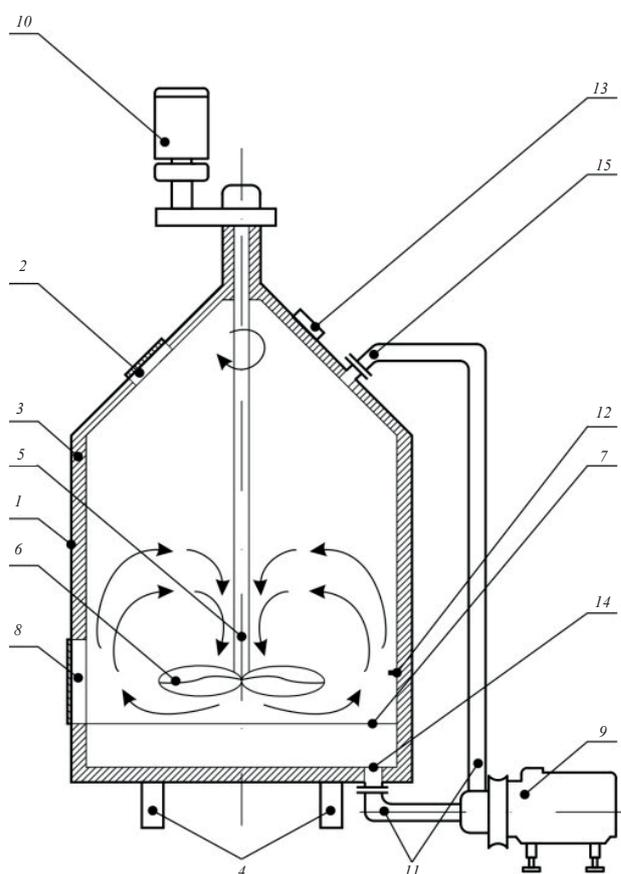


Рисунок 2. Заторно-сусловарочно-фильтрационный аппарат № 2: 1 – корпус; 2 – загрузочный люк; 3 – паровая рубашка; 4 – опорные стойки; 5 – вал; 6 – пропеллерная мешалка; 7 – фильтрационное дно; 8 – люк; 9 – насос; 10 – привод; 11 – циркуляционная система; 12 – термопара; 13 – блок управления аппаратом; 14, 15 – патрубки

Figure 2. Mash filter № 2: 1 – case; 2 – loading hatch; 3 – steam jacket; 4 – support posts; 5 – shaft; 6 – propeller mixer; 7 – filtration bottom; 8 – hatch; 9 – pump; 10 – drive; 11 – circulation system; 12 – thermal couple; 13 – control unit; 14, 15 – branch pipes

Таблица 1. Характеристика материалов для пшеничного сорта пива

Table 1. Materials for wheat beer

Сорт	Количество, кг
Солода	
Pilsner	40
Cara Blond	5
Сорт хмеля	
SAAZ	150
Magnum	100

устройства 6, вращающегося с малой скоростью. Сусло перекачивается в промежуточную емкость. Пивную дробину промывают и удаляют через люк 8. В результате получается осахаренный затор, не требующий фильтрования. Сусло направляют обратно в аппарат, в который также загружают хмель и проводят процесс охмеления.

Данная конструкция, по сравнению с заторно-сусловарочно-фильтрационным аппаратом № 1, позволяет повысить эффективность извлечения сбраживаемых сахаров при расщеплении крахмала из солода за счет циркуляции потока жидкой среды в процессе приготовления суслу и регулирования работы перемешивающего устройства.

При исследовании процесса затираания для пивоваренного производства с применением новых заторно-сусловарочно-фильтрационных аппаратов были использованы следующие материалы: солод, хмель, питьевая вода и пивное сусло.

Для приготовления пшеничного сорта пива по классической технологии использовались разные сорта солода и хмеля, представленные в таблице 1.

Солод – незаменимое сырье для производства пива. Его производят из зерна ячменя, пшеницы или ржи проращиванием с последующей сушкой. Солод влияет на такие показатели напитка, как цвет, вкус и запах, которые являются решающими в определении типа пива. Количество полученных экстрактивных веществ из солода и степень расщепления белков существенно влияют на качество пива.

Характеристика солода сорта Pilsner:

1. цветность – 3,5 ЕВС;
2. содержание влаги – 7,0 %;
3. аромат – ячменный;
4. упаковка – вакуумная, с массой продукта 10 кг;
5. условия хранения – герметичная емкость, размещенная в сухой и прохладной среде с температурой не больше 20 °С.

Характеристика солода сорта Cara Blond:

1. цветность – 20 ЕВС;
2. содержание влаги – 7,0 %;
3. аромат – карамельный;
4. упаковка – вакуумная, с массой продукта 25 кг;
5. условия хранения – герметичная емкость, размещенная в сухой и прохладной среде с температурой не больше 20 °С.

Хмель – это продукт растительного происхождения, влияющий на качество производимого пива и являющийся незаменимым сырьем в пивоваренном производстве. В нем различают α - и β -кислоты – горькие вещества хмеля. β -кислоты обладают небольшой горечью. Во время созревания хмеля часть из них преобразуются в горькие α -кислоты. При высоких температурах во время кипячения суслу α -кислоты превращаются в свои изомеры, которые хорошо растворяются и обеспечивают 90 % горечи пива. Гумулон (α -кислота и ее гомологи) является хорошим антисептиком (тормозит рост микроорганизмов в пиве) и пенообразователем. Следовательно, горечь пива зависит от состава α -кислот хмеля, а также от сорта пива и составляет 25–40 мг/дм³.

Характеристика гранулированного хмеля сорта Magnum:

1. содержание альфа-кислоты – 13%;
2. содержание влаги – 7,5 %;
3. аромат – незначительный;
4. упаковка – вакуумная, с массой продукта 1 кг;
5. условия хранения – герметичная емкость, размещенная в сухой среде с температурой не больше 5 °С.
6. форма выпуска – гранулы зеленого цвета, приготовленные из измельченных цветочных шишек натурального хмеля последнего сбора.

Характеристика гранулированного хмеля сорта SAAZ:

1. содержание альфа-кислоты – 3 %;
2. содержание влаги – 7,0 %;
3. аромат – мягкие хмелевые нотки, землянистый, пряный;
4. упаковка – вакуумная, с массой продукта 1 кг;
5. условия хранения – герметичная емкость, размещенная в сухой среде с температурой не больше 5 °С.
6. форма выпуска – гранулы зеленого цвета, приготовленные из измельченных цветочных шишек натурального хмеля последнего сбора.

Питьевая вода – это вода, прошедшая определенную обработку, или в естественном состоянии, отвечающая установленным санитарным нормам и требованиям и предназначенная не только для питьевых и бытовых нужд населения, но и производств пищевой продукции. Важными условиями, предъявляемыми к питьевой воде, являются ее безопасность в эпидемическом и радиационном отношении, безвредность по химическим показателям, а также положительные органолептические свойства.

Питьевая вода должна соответствовать гигиеническим стандартам непосредственно перед поступлением ее в систему распределения, а также в точках водозабора наружной и внутренней водопроводной системы. Безвредность питьевой

воды по химическому составу определяется ее соответствием нормативам по:

1. обобщенным показателям и содержанию вредных химических веществ, наиболее часто встречающихся в природных водах на территории Российской Федерации, а также веществ антропогенного происхождения, получивших глобальное распространение;

2. составу вредных химических веществ, попадающих и формирующихся в воде в процессе ее обработки в водопроводной системе;

3. составу вредных химических веществ, поступающих в источники водоснабжения вследствие хозяйственной деятельности человека.

Эксперименты были выполнены с использованием питьевой воды, соответствующей требованиям ГОСТ 2874-82.

Для решения третьей задачи разработали методику проведения исследования, в ходе которой были получены образцы пивного сусла с применением:

1) заторного аппарата, применяемого при классической технологии (образец № 1);

2) заторно-сусловарочно-фильтрационного аппарата № 1 (ЗСФА № 1) (образец № 2);

3) заторно-сусловарочно-фильтрационного аппарата № 2 (ЗСФА № 2) (образец № 3).

Исследования проводились в следующем порядке.

1. В заторный или в заторно-сусловарочно-фильтрационные аппараты № 1 и № 2 заливалась вода в объеме 80 л и нагревалась до 45 °С.

2. Затем дробленый солод массой 45 кг засыпали в аппарат и проводили процесс затирания при одинаковых температурных режимах для всех трех образцов. Первая температурная пауза устанавливалась при достижении температуры затора 45 °С продолжительностью в 10 мин. Затем происходил нагрев затора до 55 °С и устанавливалась вторая температурная пауза, продолжительностью 20 мин. Далее затор нагревали до 66–68 °С и устанавливалась третья температурная пауза продолжительностью в 40 мин. Четвертая температурная пауза продолжительностью в 20 мин устанавливалась по достижению затора 72 °С. Процесс затирания считается завершенным при достижении затора 78 °С.

3. После процесса затирания проводили йодную пробу пивного сусла для определения его полноты осахаривания.

4. Для образца № 1 проводили процесс фильтрования полученного затора для получения чистого сусла в фильтрационном чане.

5. Фиксировали время приготовления пивного сусла.

6. Проводили стадию охмеления в течение 90 мин. В момент закипания в пивное сусло для придания горечи напитку вносили гранулированный хмель

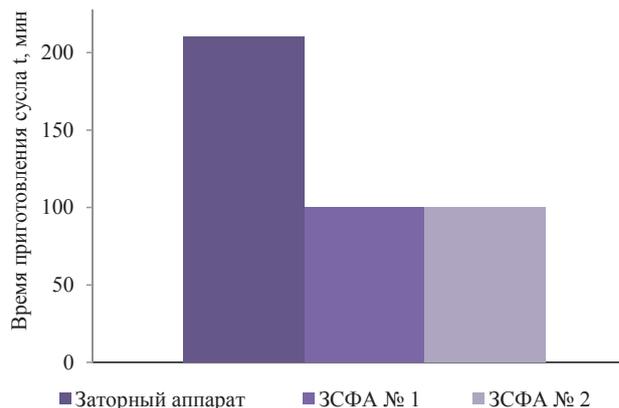


Рисунок 3. Диаграмма времени приготовления пивного сусла

Figure 3. Brewing time chart

марки Magnum в количестве 100 г. Через 45 мин в сусло для обеспечения вкусовых качеств добавляли гранулированный хмель марки SAAZ в количестве 100 г. Оставшиеся 50 г данного хмеля вносили за 5 мин до конца кипячения для придания аромата пиву.

7. В полученном охмеленном пивном сусле определялись установленные физико-химические показатели пивного сусла и готового пива.

8. Следующим этапом проводили процесс брожения охмеленного пивного сусла. По окончании процесса определяли экстрактивность сусла.

9. После розлива бутылки с напитком отправляются в темное прохладное место, где могут храниться 3–4 недели.

10. В образцах пива, полученных с помощью применения различных конструкций заторно-сусловарочно-фильтрационных аппаратов, определялись органолептические показатели.

При проведении исследования применялись современные физико-химические и органолептические методы исследования.

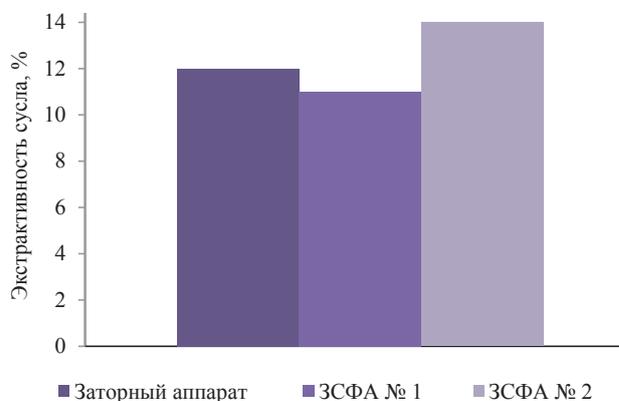


Рисунок 4. Диаграмма экстрактивности пивного сусла

Figure 4. Diagram of beer wort extractability

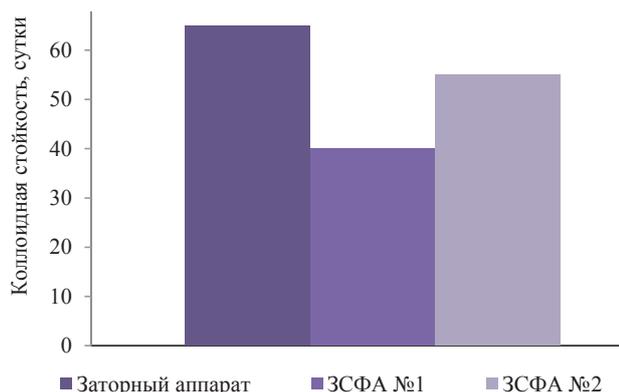


Рисунок 5. Диаграмма коллоидной стойкости пива

Figure 5. Colloidal stability of the beer

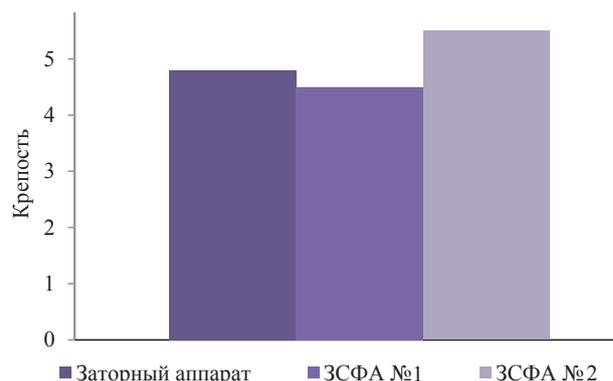


Рисунок 6. Диаграмма крепости готового пива

Figure 6. Strength of the finished beer

Результаты и их обсуждение

В результате проведения исследования получены следующие физико-химические показатели образцов пивного сусла и готового пива.

По окончании процесса затирания йодная проба цвет не изменила. Таким образом, полное осахаривание сусла наступило после температурной паузы в 78 °С.

Диаграмма времени приготовления пивного сусла представлена на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что максимальное время, необходимое для приготовления пивного сусла, имеет образец № 1, т. к. процесс фильтрования происходит в отдельном фильтрационном чане с дополнительной затратой времени. Длительность приготовления пивного сусла с помощью разработанных аппаратов одинакова и занимает 150 мин, что на 28,6 % меньше классического способа. Следовательно, энергии на данный технологический процесс будет затрачиваться меньше.

На рисунке 4 показана диаграмма экстрактивности сусла. Большое количество сухих веществ содержится в образце № 3. Следовательно, заторно-сусловарочно-фильтрационный аппарат № 2 обладает лучшей экстрактивной способностью по отношению к остальным анализируемым аппаратам.

По результатам измерения мутности пива была построена диаграмма коллоидной стойкости напитка, представленная на рисунке 5. Мутность пива образуется из-за твердых частиц, которые могут содержать нежелательные компоненты. Они воздействуют на метаболизм дрожжей, снижая их продуктивность, тем самым ухудшая качество напитка: его вкус и срок хранения. Из диаграммы видно, что для образца № 1 коллоидная стойкость пива составляет от 65 суток. Это говорит о том, что срок хранения пивных напитков, приготовленных с помощью новых аппаратов, будет меньше, но приемлемый для производства крафтового пива.

Таблица 2. Органолептические показатели полученных образцов пива

Table 2. Sensory profile of the beer samples

Органолептические показатели	Контрольный образец			Баллы		
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Прозрачность	Прозрачное с блеском	Прозрачное с блеском	Прозрачное с блеском	3	3	3
Цвет	Соответствует	Соответствует	Соответствует	3	3	3
Пенообразование	Высота пены 75 мм, пеностойкость 5 мин 55 сек	Высота пены 72 мм, пеностойкость 6 мин 43 сек	Высота пены 80 мм, пеностойкость 7 мин 33 сек	5	5	5
Аромат	Чистый, свежий, выраженный	Аромат хмеля, чистый, свежий, выраженный	Аромат хмеля, чистый, свежий, выраженный	4	4	4
Вкус	Хороший, чистый, гармоничный	Хороший, чистый, но не гармоничный	Отличный, чистый, полный, гармоничный	5	4	5
Хмелевая горечь	Мягкая, слаженная	Мягкая, слаженная	Мягкая, слаженная	5	5	5
Итого	Отличное качество	Хорошее качество	Отличное качество	25	24	25

На рисунке 6 представлена диаграмма крепости полученного пива. По диаграмме видно, что крепость напитка, приготовленного в затороно-сусловарочно-фильтрационном аппарате № 2, больше. Это объясняется тем, что у данного образца выше экстрактивность сула, т. к. было больше пищи для дрожжей. Таким образом, данная конструкция позволит повысить эффективность извлечения сбраживаемых сахаров при расщеплении крахмала из солода и улучшить качество пива.

На следующем этапе исследований проводилась органолептическая оценка качества образцов готового пива, полученного с помощью заторного и заторно-сусловарочно-фильтрационных аппаратов (табл. 2).

В результате органолептической оценки во всех трех образцах такие показатели, как прозрачность, цвет, пенообразование, аромат и хмелевая горечь, получили высокую оценку. Отличительным показателем стала оценка пива на вкус. В образце № 3 вкус полный, т. к. больше извлекается экстрактивных веществ из сула в процессе затираания. Следовательно, затороно-сусловарочно-фильтрационный аппарат № 2, в котором он был приготовлен, является предпочтительным по отношению к двум другим аппаратам, подвергшемся анализу.

Полученные в ходе данных исследований результаты свидетельствуют о том, что все три образца обладают положительными физико-химическими и органолептическими показателями, соответствующие ГОСТ 30060-93 «Пиво. Методы определения органолептических показателей и объема продукции». Новые конструкции заторно-сусловарочно-фильтрационных аппаратов № 1 и № 2 предназначены для производства крафтового пива с улучшенными вкусовыми качествами в мини-пивзаводах и в ресторанах. Аппараты прошли промышленную апробацию на предприятии ООО «пи-ВО».

Выводы

Проведенный анализ существующих конструкций

сусловарочных, заторно-сусловарочных и заторно-сусловарочно-фильтрационных аппаратов, предназначенных для производства пива, позволил сделать вывод о том, что необходимо разработать новое оборудование, которое позволит увеличить эффективность процесса затираания и сократить время приготовления пивного сула.

Разработанные новые заторно-сусловарочно-фильтрационные аппараты позволяют увеличить эффективность процесса затираания и сократить время приготовления чистого пивного сула на 28,6 %, по сравнению с классическим способом, а также сократить тепло- и энергозатраты. Применение данных аппаратов дает возможность уменьшить производственные площади за счет совмещения стадий затираания и фильтрования в одном аппарате, получая пивное суло высокого качества.

Установлено, что для производства качественного пива целесообразно использовать новую конструкцию № 2, которая, по сравнению с конструкцией аппарата № 1, позволяет получить пивное суло высокого качества и улучшить вкусовые характеристики приготовленных пивных напитков за счет повышения эффективности извлечения белков и сбраживаемых сахаров при расщеплении крахмалов из солода в результате регулирования работы перемешивающего устройства и циркуляции потока жидкой среды в процессе приготовления сула

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в подготовке и написании статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

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. Попова, Н. В. Современные подходы к возможности интенсификации процесса затираания пивного сула. Патентный анализ / Н. В. Попова, И. Ю. Потороко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2018. – Т. 6, № 3. – С. 12–21. <https://doi.org/10.14529/food180302>.
2. Кудряшов, В. Л. Роль баромембранных процессов при создании производства крафтовых продуктов питания / В. Л. Кудряшов, О. П. Преснякова // Пищевая промышленность. – 2017. – № 6. – С. 44–48.
3. Хугаева, Р. И. Инновационные технологии производства пива – как фактор повышения конкурентоспособности (на примере ООО ВПБЗ «Дарьял» г. Владикавказ РСО-Алания) / Р. И. Хугаева, М. Т. Бигаева // Актуальные проблемы устойчивого развития регионального АПК : материалы научно-практической конференции студентов, аспирантов, магистрантов и сотрудников кафедры «Организация производства и предпринимательства в АПК» / Горский государственный аграрный университет. – Владикавказ, 2016. – С. 128–136.

4. Assessment of beer quality based on foamability and chemical composition using computer vision algorithms, near infrared spectroscopy and machine learning algorithms / C. G. Viejo, S. Fuentes, D. Torrico [et al.] // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2018. – Vol. 98, № 2. – P. 618–627. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8506>.
5. Robotics and computer vision techniques combined with non-invasive consumer biometrics to assess quality traits from beer foamability using machine learning: A potential for artificial intelligence applications / C. G. Viejo, S. Fuentes, K. Howell [et al.] // *Food Control*. – 2018. – Vol. 92. – P. 72–79. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.04.037>.
6. Assessment of beer quality based on a robotic pourer, computer vision, and machine learning algorithms using commercial beers / C. G. Viejo, S. Fuentes, D. D. Torrico [et al.] // *Food Science*. – 2018. – Vol. 83, № 5. – P. 1381–1388. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14114>.
7. Интенсификация процесса охмеления пивного сусла с применением роторно-пульсационного аппарата / Д. М. Бородулин, В. Н. Иванец, Е. А. Сафонова [и др.] // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: процессы и аппараты пищевых производств*. – 2017. – № 4. – С. 3–12. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2017-10-4-3-12>.
8. Промышленное применение современных заторных фильтров-прессов для повышения качества квасного сусла на ОАО «Букет Чувашии» / С. М. Петров, С. Л. Филатов, В. Н. Шурбованный [и др.] // *Пиво и напитки*. – 2013. – № 4. – С. 32–35.
9. Beer-brewing powered by controlled hydrodynamic cavitation: Theory and real-scale experiments / L. Albanese, R. Ciriminna, F. Meneguzzo [et al.] // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – Vol. 142, № 4. – P. 1457–1470. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.162>.
10. Gluten reduction in beer by hydrodynamic cavitation assisted brewing of barley malts / L. Albanese, R. Ciriminna, F. Meneguzzo [et al.] // *LWT – Food Science and Technology*. – 2017. – Vol. 82. – P. 342–353. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.060>.
11. Beer produced via hydrodynamic cavitation retains higher amounts of xanthohumol and other hops prenylflavonoids / R. Ciriminna, L. Albanese, V. Di Stefano [et al.] // *LWT – Food Science and Technology*. – 2018. – Vol. 91. – P. 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.037>.
12. Третьяк, Л. Н. Перспективы развития технологии производства пива с заданными вкусоароматическими свойствами и пониженными токсикологическими характеристиками / Л. Н. Третьяк // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 9–9. – С. 1951–1958.
13. Исследование влияния ультразвука на качество непастеризованного пива / Ф. Д. Давадов, М. В. Гернет, И. Н. Грибкова [и др.] // *XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. – 2019. – Т. 8, № 2 (46). – С. 136–139.
14. Моторжин, В. В. Тенденции развития рынка крафтового пива в России / В. В. Моторжин, В. В. Яковлев // *Маркетинг и маркетинговые исследования*. – 2016. – № 3. – С. 218–222.
15. Тарасов, Р. В. Разработка стратегии предприятия с учетом анализа пожеланий потребителя российского рынка крафтового пива / Р. В. Тарасов, И. В. Марков // *Наука и бизнес: пути развития*. – 2019. – Т. 93, № 3. – С. 215–218.
16. Кетова, Н. П. Ситуационный маркетинговый анализ российского рынка пива: оценка тенденций его развития, возможности позиционирования компаний в регионах / Н. П. Кетова, М. С. Железнякова // *Экономика и предпринимательство*. – 2016. – Т. 75, № 10–1. – С. 180–191.
17. Donadini, G. Uncovering patterns of consumers' interest for beer: A case study with craft beers / G. Donadini, S. Porretta // *Food Research International*. – 2017. – Vol. 91. – P. 183–198. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.11.043>.
18. Van Dijk, M. From pilsner desert to craft beer oasis: The rise of craft brewing in the Netherlands / M. van Dijk, J. Kroezen, B. Slob // *Economic perspectives on craft beer* / C. Garavaglia, J. Swinnen. – Cham : Palgrave Macmillan, 2018. – P. 259–293. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58235-1_10.
19. Совершенствование процесса затириания при производстве пива / В. А. Помозова, А. Н. Потапов, У. С. Потитина [и др.] // *Вестник КрасГАУ*. – 2012. – Т. 75, № 12. – С. 191–196.
20. Functional properties of the enzyme-modified protein from oat bran / A. Prosekov, O. Babich, O. Kriger [et al.] // *Food Bioscience*. – 2018. – Vol. 24. – P. 46–49. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.05.003>.
21. Пат. 2713107С1 Российская Федерация, МПК C12C13/02, C12C7/00. Затормо-сусловарочный-филтрационныи аппарат / Шалев А. В., Бородулин Д. М., Сафонова Е. А. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет». – № 2018144334; заявл. 13.12.2018; опубл. 03.02.2020; Бюл. № 4. – 8 с.

References

1. Popova NV, Potoroko IYu. Contemporary approaches to the possibility of intensifying the process of beer wort mashing. Patent analysis. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2018;6(3):12–21. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/food180302>.
2. Kudryashov VL, Presnyakova OP. The role of baromembrane processes in the production of crafted food products. *Food Industry*. 2017;(6):44–48. (In Russ.).
3. Khugaeva RI, Bigaeva MT. Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva piva – kak faktor povysheniya konkurentosposobnosti (na primere OOO VPBZ “Dar’yal” g. Vladikavkaz RSO-Alaniya) [Innovative technologies of beer production – as a factor of

increasing competitiveness (on the example of LLC VPBZ “Daryal” Vladikavkaz RSO-Alania)]. Aktual’nye problemy ustoychivogo razvitiya regional’nogo APK: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov, magistrantov i sotrudnikov kafedry “Organizatsiya proizvodstva i predprinimatel’stva v APK” [Actual problems of sustainable development of the regional agro-industrial complex: materials of the scientific-practical conference of students, graduate students, undergraduates and employees of the department “Organization of production and entrepreneurship in the agro-industrial complex”]; 2016; Vladikavkaz. Vladikavkaz: Gorsky State Agrarian University; 2016. p. 128–136. (In Russ.).

4. Viejo CG, Fuentes S, Torrico D, Howell K, Dunshea FR. Assessment of beer quality based on foamability and chemical composition using computer vision algorithms, near infrared spectroscopy and machine learning algorithms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2018;98(2):618–627. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8506>.

5. Viejo CG, Fuentes S, Howell K, Torrico D, Dunshea FR. Robotics and computer vision techniques combined with non-invasive consumer biometrics to assess quality traits from beer foamability using machine learning: A potential for artificial intelligence applications. *Food Control*. 2018;92:72–79. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.04.037>.

6. Viejo CG, Fuentes S, Torrico DD, Howell K, Dunshea FR. Assessment of beer quality based on a robotic pourer, computer vision, and machine learning algorithms using commercial beers. *Food Science*. 2018;83(5):1381–1388. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14114>.

7. Borodulin DM, Ivanets VN, Safonova EA, Prosin MV, Milenkiy IO, Noskova VV. Intensification of beer wort hopping with the use of rotary pulsation apparatus. *Processes and Food Production Equipment*. 2017;(4):3–12. (In Russ.). <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2017-10-4-3-12>.

8. Petrov SM, Filatov SL, Shurbovaniy VN, Shibanov VM, Zakharov EV, Grigoriev AI, et al. Industrial applications of modern mash filter press to improve the quality of kvass wort on “Bouquet of Chuvashia”. *Beer and beverages*. 2013;(4):32–35. (In Russ.).

9. Albanese L, Ciriminna R, Meneguzzo F, Pagliaro M. Beer-brewing powered by controlled hydrodynamic cavitation: Theory and real-scale experiments. *Journal of Cleaner Production*. 2017;142(4):1457–1470. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.162>.

10. Albanese L, Ciriminna R, Meneguzzo F, Pagliaro M. Gluten reduction in beer by hydrodynamic cavitation assisted brewing of barley malts. *LWT – Food Science and Technology*. 2017;82:342–353. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.060>.

11. 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 – Food Science and Technology*. 2018;91:160–167. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.037>.

12. Tretyak LN. Prospects of development of production technologies of beer with desired flavoring properties and low toxicity characteristics. *Fundamental research*. 2014;(9–9):1951–1958. (In Russ.).

13. Davadov FD, Gernet MV, Gribkova IN, Borisenko OA, Yankevich SV. Study the ultrasound effect on unpasteurized beer quality. *XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present Plus*. 2019;8(2)(46):136–139. (In Russ.).

14. Motorzhin VV, Yakovlev VV. Tendencies of development of market crafting beer in Russia. *Marketing i marketingovye issledovania*. 2016;(3):218–222. (In Russ.).

15. Tarasov RV, Markov IV. Development of company strategy through the analysis of consumer needs in the Russian market of craft beer. *Science and Business: Ways of Development*. 2019;93(3):215–218. (In Russ.).

16. Ketova NP, Zheleznyakova MS. Situation marketing analysis of Russian beer market: evaluation development trends, possibility of positioning of companies in regions. *Journal of Economy and entrepreneurship*. 2016;75(10–1):180–191. (In Russ.).

17. Donadini G, Porretta S. Uncovering patterns of consumers’ interest for beer: A case study with craft beers. *Food Research International*. 2017;91:183–198. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.11.043>.

18. Van Dijk, M, Kroezen J, Slob B. From pilsner desert to craft beer oasis: The rise of craft brewing in the Netherlands. In: Garavaglia C, Swinnen J, editors. *Economic perspectives on craft beer*. Cham: Palgrave Macmillan; 2018. pp. 259–293. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58235-1_10.

19. Pomozova VA, Potapov AN, Potitina US, Prosin MV. Mashing process improvement for beer production. *Bulletin of KSAU*. 2012;75(12):191–196. (In Russ.).

20. Prosekov A, Babich O, Kriger O, Ivanova S, Pavsky V, Sukhikh S, et al. Functional properties of the enzyme-modified protein from oat bran. *Food Bioscience*. 2018;24:46–49. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.05.003>.

21. Shalev AV, Borodulin DM, Safonova EA, Sidorin KM, Kostina VV. Mashing wort filtering device. Russia patent RU 2713107C1. 2020.

Сведения об авторах

Бородулин Дмитрий Михайлович

д-р техн. наук, профессор, директор Института инженерных технологий, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 73-42-96, e-mail: iit@kemsu.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3035-0354>

Шалев Алексей Владимирович

аспирант, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 58-06-30, e-mail: iit@kemsu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3011-1786>

Сафонова Елена Александровна

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологического проектирования пищевых производств, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-80, e-mail: iit@kemsu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9503-1349>

Просин Максим Владимирович

канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной безопасности, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-80, e-mail: iit@kemsu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4615-5628>

Головачева Яна Сергеевна

аспирант, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-80, e-mail: iit@kemsu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6521-9308>

Вагайцева Елена Алексеевна

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологического проектирования пищевых производств, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-68, e-mail: iit@kemsu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6746-979X>

Information about the authors

Dmitry M. Borodulin

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Director of the Institute of Engineering Technologies, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 73-42-96, e-mail: iit@kemsu.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3035-0354>

Aleksey V. Shalev

Postgraduate Student, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 58-06-30, e-mail: iit@kemsu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3011-1786>

Elena A. Safonova

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technological Design of Food Production, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-80, e-mail: iit@kemsu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9503-1349>

Maksim V. Prosin

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-80, e-mail: iit@kemsu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4615-5628>

Yana S. Golovacheva

Postgraduate Student, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-80, e-mail: iit@kemsu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6521-9308>

Elena A. Vagaytseva

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technological Design of Food Production, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-68, e-mail: iit@kemsu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6746-979X>

Синергетический подход к созданию технологий АПК будущего



В. А. Панфилов

Дата поступления в редакцию: 23.10.2019
Дата принятия в печать: 25.12.2020

Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева^{ROR}, Москва, Россия

e-mail: vap@rgau-msha.ru



© В. А. Панфилов, 2020

Аннотация.

Введение. Статья посвящена некоторым аспектам создания технологий будущего АПК России. В центре внимания находится синергетический подход к разработке сложных самоорганизующихся технологических систем производства продуктов питания. Цель статьи – сформировать основы фундаментальных научных работ в отраслях АПК для создания промышленного производства сельскохозяйственного сырья растительного и животного происхождения и его промышленной переработки в продукты питания.

Результаты и их обсуждение. Круг обсуждаемых вопросов включает: условия инновационного технологического прорыва в будущее АПК, диалектическую модель развития технологий, перспективу новой индустриализации агропромышленного комплекса, возможный экономический эффект от создания сквозных аграрно-пищевых технологий, особенности перехода из Четвертого в Пятый технологический уклад в АПК России, а также путь в Шестой. Особое внимание уделено диалектическому методу развития технологий, что усложняет их структуру с одновременным упрощением процессов функционирования.

Выводы. Работа над созданием наукоемких технологий во всех отраслях АПК позволит не только войти в Шестой технологический уклад, но и обеспечить продовольственную безопасность страны в количественном и качественном отношении. Просматривается перспектива опережающего развития технологий агропромышленного комплекса и планы научных работ на ближайшие годы. Они должны формироваться исходя из прогнозных разработок на середину и вторую половину XXI века.

Ключевые слова. Агропромышленный комплекс, инновации, технологический прорыв, наукоемкие технологии, синергетика, диалектическая модель, индустриализация, технологический уклад

Для цитирования: Панфилов, В. А. Синергетический подход к созданию технологий АПК будущего / В. А. Панфилов // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 642–649. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-642-649>.

Original article

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

Synergetic Approach to Agro-industrial Technologies of the Future

Viktor A. Panfilov

Received: October 23, 2019
Accepted: December 25, 2020

Russian State Agrarian University – Moscow
Timiryazev Agricultural Academy^{ROR}, Moscow, Russia

e-mail: vap@rgau-msha.ru



© V.A. Panfilov, 2020

Abstract.

Introduction. The present research featured some aspects of developing advanced technologies for the future agro-industrial sector of Russia. The paper focuses on a synergistic approach to new complex self-organizing technological systems in food industry. The research objective was to set up scientific foundations for the agro-industrial complex, industrial production of agricultural raw materials of plant and animal origin, and their industrial processing into food.

Results and its discussion. The research touched upon the following issues: the conditions for an innovative technological breakthrough into the future of the agro-industrial complex; a dialectic model of technological development; a new industrialization of the agro-industrial complex; the possible economic effect of end-to-end agrifood technologies; the shift from the 4th to the 5th, and eventually to the 6th, techno-economic paradigm in the Russian agro-industrial complex. The article gives a detailed description of the dialectical method, which complicates each technology while simplifying the functioning processes as a whole.

Conclusion. Hi-tech development in all branches of Russian agro-industrial complex will make it possible to enter the 6th techno-economic paradigm and secure domestic food industry in terms of quantity and quality. The article describes prospects of the advanced development of agro-industrial technologies. In addition, it introduces a roadmap for agrosience development: new research should be based on scientific forecasts for the latter half of the XXI century.

Keywords. Agro-industrial complex, innovations, technological breakthrough, science-intensive technologies, synergetics, dialectical model, industrialization, technological order

For citation: 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>.

Введение

Агропромышленный комплекс – это составная часть современной технологической цивилизации. Поэтому путь в будущее АПК России естественно связывать с новым обликом сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности. Это движение в будущее должно основываться на новых технологиях, которые определяют вектор развития сельскохозяйственной науки.

Агропромышленному комплексу России необходим инновационный технологический прорыв в будущее. Сегодня пришло время именно для такого прорыва. Этот прорыв должен быть связан с наукоемкими технологиями, т. е. инновационными способами достижения человеком технологических целей. Эти способы опираются на процессы познания, коммуникации, обработки информации, опережающее образование специалистов, системный подход, синергетику, компьютерные технологии, математическое моделирование элементов системы «человек-машина» и ряд других [1, 2].

В статье использованы разработки известных ученых в области философии науки и техники: Р. Ф. Абдеева, А. Н. Аверьянова, Р. Г. Баранцева, И. В. Блауберга, Н. Винера, Е. Н. Князевой, С. П. Курдюмова, Г. Г. Малинецкого, И. Р. Пригожина, Г. Хакена и К. Шеннона.

Некоторые черты технологического прорыва в будущее АПК:

– междисциплинарность, т. е. необходимо взаимодействие идей, подходов и готовых разработок из различных областей знаний;

– фундаментальность образования, что позволит специалисту находить и принимать ответственные решения в условиях неопределенности при создании сложных самоорганизующихся систем процессов, когда единственной надежной опорой могут быть научные знания в виде вскрытых явлений и установленных закономерностей технологических процессов;

– ориентация на возможности и потребности человека в реализации новых технологических укладов.

Ряд наукоемких технологий в АПК уже вышли на уровень прикладной науки, т. е. важнейшие научные разработки сделаны и решения найдены [3, 4].

Будущее технологий АПК определяется тем, насколько эффективно в них

происходит самоорганизация с участием человека как результат положительного взаимодействия процессов, составляющих ту или иную технологию, или взаимодействия принципиально различных (производящих и перерабатывающих) технологий при создании, например, сквозных аграрно-пищевых технологий [5, 15]. В этом случае самоорганизация требует тесного взаимодействия большого количества специалистов, обладающих различными знаниями и профессиональной подготовкой. Поэтому целесообразно, чтобы ведущую роль в процессах самоорганизации технологий АПК при освоении возможностей нового технологического уклада играло государство.

Сегодня теория самоорганизации или синергетика (от греческого «совместное действие») начинает формировать стратегию переднего края науки и является основой создания технологий будущего. Термин «синергетика» имеет два смысла. Первый показывает, как у системы (целого) возникают новые свойства, характеристики, стратегии, которыми не обладают ее элементы (части). Второй – это междисциплинарный подход к решению проблемы, который требует совместных усилий ученых: естественников, гуманитариев, математиков, инженеров и управленцев [6].

Разработка инновационного сценария развития АПК России до конца XXI века – насущная необходимость. Речь должна идти о новой индустриализации агропромышленного комплекса, опирающейся на наукоемкие технологии, в том числе на «умные».

Цель статьи – сформировать основы фундаментальных научных работ в отраслях АПК для создания промышленного производства сельскохозяйственного сырья растительного и животного происхождения и его промышленной переработки в продукты питания.

Результаты и их обсуждение

Диалектическая модель развития технологий АПК. Для того чтобы разработать инновационный сценарий развития АПК России, уже сегодня необходимо прогнозировать и планировать социально-экономическое развитие АПК с шагом 40–50 лет. В этой работе придется иметь дело со статистическими закономерностями разнообразных

процессов, поскольку причинно-следственные связи в сложных технологических нелинейных системах становятся стохастическими. Кроме этого, решение многих проблем требует не столько системного анализа, сколько системного синтеза. Конкретно это должно выразиться в создании сквозных взаимно адаптируемых производящих и перерабатывающих технологий АПК. Именно синергетика позволяет осмыслить, описать и разработать соответствующие модели процессов самоорганизации в нелинейных средах. Иными словами, необходимо не только создание и совершенствование отдельных элементов системы (процессов в машинах, аппаратах, биореакторах), но и создание той целостности (инновационной технологии), в которой они будут взаимодействовать и порождать синергетический эффект [7, 12, 14].

В таких технологиях реализуются диалектические методы развития природы: усложнение структуры и упрощение функционирования объектов, в том числе антропогенных. В этом случае спираль развития носит сходящийся восходящий характер с нелинейной огибающей [8].

Закономерности развития технологических систем не лежат на поверхности. Технологические потоки необходимо исследовать как открытые системы, находящиеся во взаимодействии с внешней средой. Без такого исследования можно ошибочно представлять процесс развития лишь как следствие разрешения внутренних противоречий данной технологии (например, производительность – качество). На самом деле процесс самоорганизации системы «человек – машина» идет под воздействием внешней среды, происходит адаптация системы и возрастание уровня ее организации. Здесь возникает ряд вопросов. Состоит ли развитие технологии из одних лишь «скачков» или же из одних эволюционных подвижек? Или может быть из «скачков» и из подвижек; в каком соотношении они находятся? Возможно ли измерить уровень организации системы и как оперировать этой величиной?

Известно, что развитие системы любой природы обусловлено стремлением повысить точность, устойчивость, управляемость и надежность процессов как составляющих качества системы. Процессы самоорганизации технологических систем также носят сходящийся характер, т. к. при уже существующей структуре возрастание уровня организации имеет свой предел (область насыщения), определяемый возможностями накопления информации в данной структуре. Поэтому для процессов развития характерно стремление к негэнтропийной устойчивости.

В современной науке понятия информации и информационной энтропии стали основополагающими для теории развития. Информационная энтропия (H) воспринимается как мера

дезорганизации систем любой природы. Эта количественная мера качественного состояния системы занимает интервал от наивысшего уровня организации (H = 0, бит) до полной неопределенности (H = 1, бит) для бинарных систем, какими являются технологии АПК.

Информация и информационная энтропия связаны соотношением:

$$j + H = 1 \quad (1)$$

где j – информация как мера упорядоченности;

H – информационная энтропия как мера беспорядка (хаоса).

Информационная энтропия определяется как

$$H = - \sum P(x_i) \log_2 P(x_i) \quad (2)$$

где P(x_i) – вероятность попадания случайной величины в интервал (x_{i-1}; x_i).

Для случая с двумя возможными исходами эта формула примет вид:

$$H = - P \log_2 P - (1 - P) \log_2 (1 - P) \quad (3)$$

где P – вероятность выхода годной продукции;

(1 - P) – вероятность выхода дефектной продукции.

По этой формуле рассчитывается состояние бинарных систем, имеющих на выходе только годную и дефектную продукцию. Максимальная энтропия в этом случае будет равна

$$H_{\max} = -0,5 \log_2 0,5 - 0,5 \log_2 0,5, \quad (4)$$

$$H_{\max} = 1, \text{ бит}$$

Стабильность функционирования отдельной подсистемы определяется следующим образом:

$$\eta_i = 1 - H_i/H_{\max} \quad (5)$$

где H_i – текущая энтропия состояния подсистемы.

А уровень целостности (θ) технологической системы, состоящей из L подсистем, рассчитывается по формуле:

$$\theta = \sum_1^L \eta_i - (L-1) \quad (6)$$

Процесс развития, начинающийся с максимальной информационной энтропии, может быть описан процессом накопления информации, исчисляемой как разность между максимальным и текущим значениями информационной энтропии. Следовательно, механизм развития технологии целесообразно рассматривать в координатах: упорядоченное усложнение (количество подсистем – L) и информационная энтропия – H_i (или стабильность – η_i) с возможностью отчета уровня организации (уровня целостности – θ) на всех

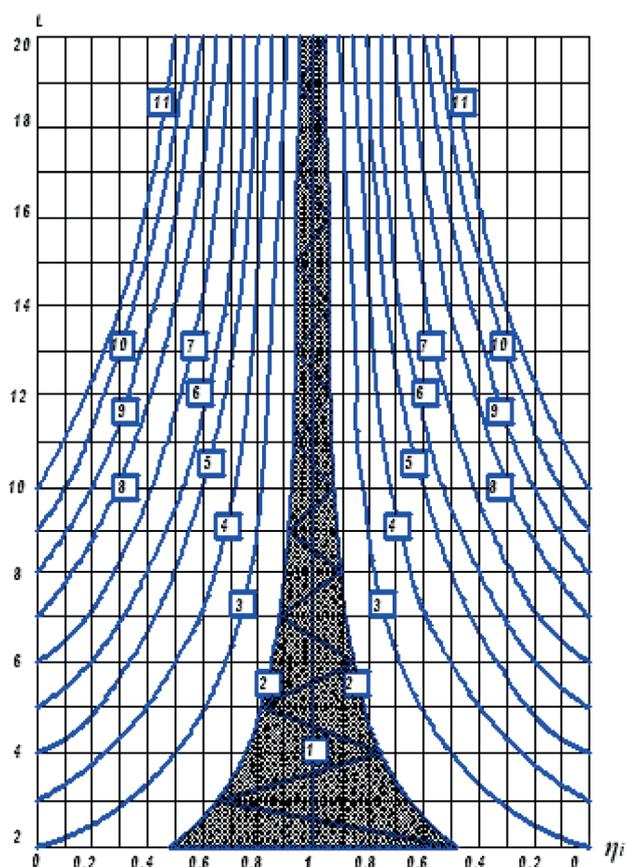


Рисунок 1. Модель процесса развития технологической системы (спираль развития) при различных уровнях организации (целостности) θ : 1 – (+1,0); 2 – (0,0); 3 – (-1,0); 4 – (-2,0); 5 – (-3,0); 6 – (-4,0); 7 – (-5,0); 8 – (-6,0); 9 – (-7,0); 10 – (-8,0); 11 – (-9,0)

Figure 1. Process model of technological system development (development spiral) at various levels of organization (integrity) θ : 1 – (+1,0); 2 – (0,0); 3 – (-1,0); 4 – (-2,0); 5 – (-3,0); 6 – (-4,0); 7 – (-5,0); 8 – (-6,0); 9 – (-7,0); 10 – (-8,0); 11 – (-9,0)

этапах развития системы процессов. Усложнение технологической системы происходит во времени и их вектора совпадают. Поэтому ординату L целесообразно рассматривать и как временную ось развития системы. Модель процесса развития (продольный разрез спирали развития) показана на рисунке 1 для различных уровней целостности бинарных технологических систем.

При этом количественный информационный критерий (θ) адекватно описывает качественные процессы перехода от простой структуры технологии к более сложной; от плохо организованной системы процессов (суммативные системы) к хорошо организованной (целостные системы). Если развитие идет из-за усложнения технологии, то необходимо повысить стабильность функционирования всех ее частей. Если же развитие есть результат упрощения технологии, то возможно снизить требования к стабильности ее подсистем.

Огибающие кривые спиралей развития технологий – это уровни целостности систем, которые при $\theta = +1$ вырождаются в прямую, совпадающую с осью ординат. Заштрихованную область модели можно назвать областью целостных высокоорганизованных систем (при данных допусках на параметры выхода подсистем и за данный период диагностики системы). Их целостность находится в диапазоне от $\theta = 0$ до $\theta = +1$. Именно эта область модели имеет технико-технологические предпосылки для разработки и создания безлюдных технологических потоков. Остальное поле модели – область суммативных систем. Огибающая $\theta = 0$ может считаться границей между этими классами систем.

Таким образом, диалектическая модель развития технологии получает свою систему координат, свое трехмерное пространство (сходящаяся спираль развития), в котором информационная энтропия убывает, а стабильность функционирования возрастает от периферии к центру (к оси модели). Это означает процесс возрастания уровня организации технологии. При анализе этой модели возникает вопрос: с какими системами, с каким уровнем их организации мы имеем дело сейчас и каковы направления развития этих систем.

Как система процессов каждая технология имеет свою диалектику эволюционных и революционных этапов преобразования. Процессы самоорганизации не только удерживают систему на огибающей (саморегулирование), но и перемещают ее (саморазвитие) на другие огибающие ближе к ординате, повышая уровень целостности. Диалектическая модель отображает зависимость характера «скачков» от уровня организации системы. Она показывает целенаправленность процесса развития, его нелинейность, стремление системы к устойчивости и надежности функционирования. Сходящаяся спираль адекватна диалектике процесса развития по мере упорядоченного усложнения технологии: здесь мы видим начальный скачок от состояния максимальной информационной энтропии или минимальной стабильности при полностью «ручной технологии» и последующие скачки, уменьшающие эту энтропию по мере механизации и автоматизации отдельных процессов и технологии в целом. Эта динамика роста организации технологической системы показывает исключительную роль в развитии машинных технологий такого важнейшего системообразующего фактора, как стабильность выходов процессов в машинах, аппаратах и биореакторах. В этом случае следует говорить не только о стабилизации процессов путем задействования обратных связей, но и о снижении чувствительности самих механизмов явлений в биологических, механических, гидромеханических, теплообменных и

биотехнологических процессах. Последнее обуславливает разработку эффективных и простых средств автоматизации. Поэтому вертикальную ось модели следует рассматривать как ось прогресса, когда усложнение технологии ведет к росту стабильности ее процессов.

Огибающая спирали развития близкая к экспоненте свидетельствует о том, что, вследствие высокой информатизации процессов, дальнейшее развитие технологии приводит к оптимизации ее управления. При этом ослабляется характер скачкообразных переходов и усиливается эволюционный характер развития системы. Последнее проявляется в том, что огибающая стремится к вертикальной оси модели. С информационной точки зрения преобразование характера скачков из революционных в эволюционные можно объяснить достижением такого уровня организации технологии, при котором доля устраняемых возмущений существенно уменьшается.

Следовательно, можно всегда иметь технологическую систему постоянно эволюционирующую за счет подсоединения новых подсистем. Например, при создании аграрно-пищевой технологии. По мере возрастания уровня организации (уровня целостности) развивающейся системы процесс развития становится все более эффективным, экономичным и эволюционным. Развитие не связывается только с революционными скачками и неизменным их чередованием. Очень часто объекты технологии и техники, пройдя скачкообразный переходной процесс самоорганизации, десятки лет функционируют с небольшими эволюционными изменениями. Такой аспект развития объекта (момент «сохранения» положительного) полностью соответствует диалектическим представлениям о процессе развития.

Сходящаяся спираль, синтезируя наиболее существенные закономерности процесса развития, отображает единство скачкообразного и экспоненциального: скачкообразность представлена технической стороной развития (модернизация рабочих органов машин, рабочих поверхностей аппаратов, рабочих объемов биореакторов), а экспоненциальный характер – технологической стороной развития (упорядоченное усложнение структуры).

Путь в Шестой технологический уклад. Синергетический эффект при создании технологий будущего должен выразиться в естественном уходе от экспорта сельскохозяйственного сырья. По «майскому» указу Президента России объем экспорта продукции АПК к 2024 году должен вырасти с нынешних \$25 до \$45 млрд. в год. Но это далеко не верхний предел. Увеличение этого целевого показателя можно достичь, сделав упор на экспорт

продукции высоких «переделов», имеющую большую добавленную стоимость, в том числе продукции животноводства и готовых пищевых продуктов. Россия импортирует продукцию высокого «передела» на \$10 млрд., а экспортирует лишь на \$3,5 млрд., т. е. в 3 раза меньше.

Поэтому проблемы, стоящие перед учеными и инженерами АПК, грандиозны. Наука и инженерия должны все больше приобретать конструктивный, проектный характер. Исследователю необходимо точно определять цель поиска и дальнюю перспективу использования нового знания. При этом проектный характер исследования должен выражаться в применении таких «абстрактных» областей научной деятельности, как философия науки и техники, прикладная математика, системология, кибернетика и синергетика.

Если говорить о главном направлении начинающейся новой научно-технической и социально-технической революции, т. е. новой индустриализации в АПК, то следует сказать, что речь идет о расширении физических, интеллектуальных, когнитивных и коммуникационных возможностях человека.

В настоящее время становление Пятого технологического уклада 1985–2035 гг. в АПК сдерживается дефицитом производственных ресурсов, связанных с воспроизводством устаревших элементов Третьего (1880–1940 гг.) и Четвертого (1930–1990 гг.) технологических укладов. В результате в стране существует технологическая многоукладная экономика, что замедляет развитие АПК и ведет к значительному запаздыванию с переходом к технологиям Пятого технологического уклада [9].

В развитых странах мира начинают складываться контуры Шестого технологического уклада, период которого ориентировочно 2025–2080 гг. Этот уклад будет характеризоваться применением наукоемких технологий, в частности био- и нанотехнологий, геномной инженерии, мембранных, квантовых и цифровых технологий, микромеханики, мехатроники и робототехники, новым природопользованием и др. Его ключевыми факторами останутся информатика, микроэлектроника, на базе которых будет формироваться система искусственного интеллекта. Эти технологии совместно с традиционными и в переплетении с ними создадут новые возможности для АПК и существенно повлияют на материальный и другие параметры качества жизни людей. В АПК России Шестой технологический уклад – это выход к мобильным мостовым системам (передвижной сельскохозяйственный завод) в растениеводстве и к фермам – заводам в животноводстве. Такое промышленное производство сельскохозяйственной продукции дает возможность получать ее

в очень узком диапазоне технологических свойств, необходимых для организации систем автоматических роботизированных процессов в технологиях переработки, в том числе на роторных линиях по роторным технологиям [10, 13].

Таким образом возникают условия для создания сложных самоорганизующихся систем процессов (например, системных комплексов «Аграрно-пищевая технология»). В них осуществляется тесное взаимодействие сельскохозяйственных технологий и технологий переработки сельскохозяйственной продукции, соединенных электронной сетью на основе Интернета, в том числе и контроль качества продукции на всех этапах преобразования сельскохозяйственного сырья. Надо отметить и подчеркнуть одну характерную особенность в развитии любых технологий. Эта особенность заключается в том, что от уклада к укладу возрастает структурная сложность технологий с одновременным повышением точности, устойчивости, надежности и управляемости ведущих процессов, что обеспечивает функциональную простоту конкретной технологии. Поэтому сегодня научная и инженерная деятельность в АПК необходима уже в русле Шестого технологического уклада. В этой работе на первый план выходят фундаментальные исследования в области сельского хозяйства и перерабатывающих технологий, что должно обеспечить самоорганизацию системы (с участием человека) по всей технологической цепочке производства продуктов питания за счет высокого качества связей разнородных процессов.

Выводы

Работа над созданием наукоемких технологий АПК позволит не только войти в Шестой технологический уклад, но и обеспечить продовольственную безопасность страны в количественном и качественном отношении [15]. Однако такие технологии рассчитаны на реализацию в крупных сельскохозяйственных и на крупных перерабатывающих производствах. Речь идет о перспективных индустриальных технологиях во всех отраслях АПК.

Эффект функционирования таких технологий может быть представлен в виде:

- повышения производительности труда;
- расширения адресности производства сельскохозяйственной продукции;
- усиления технологичности свойств сельскохозяйственного сырья;
- обеспечения прижизненного формирования качества продуктов питания;
- реализации прослеживаемости безопасности потребления продуктов питания;
- повышения технологической дисциплины в

сельскохозяйственном производстве, перерабатывающей и пищевой промышленности;

– создания в сельском хозяйстве, на перерабатывающих и пищевых предприятиях высокоавтоматизированных и роботизированных производств;

– развития ресурсосбережения и экологичности процессов по всему технологическому потоку.

Возникающий в этих технологиях синергетический эффект обусловлен высоким качеством связей между ведущими процессами. Другими словами, сквозная индустриальная технология начинает обладать свойствами, которыми ранее, до объединения, не обладали отдельно ни сельскохозяйственные, ни перерабатывающие, ни пищевые технологии.

Если в 30-е годы XX века основой индустриальной эпохи, в том числе и в АПК, была стандартизация и массовое производство одинаковой продукции, то в постиндустриальную эпоху появилась возможность сделать технологии, в том числе и продуктов питания, гибкими, учитывая интересы потребителя. Поэтому в АПК одной из важнейших технологий стала технология системной интеграции, т. е. «сборка» анатомических частей сельскохозяйственной продукции изначально полученных путем ее «разборки».

Шестой технологический уклад в АПК имеет свои особенности, но одно совершенно точно: необходимо, наряду с усилением перерабатывающей части агропромышленного комплекса, усиление его производящей части. И это возможно при соединении и объединении обеих этих частей на наукоемкой основе в единое целое. При этом удастся создавать в АПК России элементы Пятого технологического уклада, «не выращивая» их из элементов Четвертого (что было бы естественно и очевидно), а опираясь на элементы Шестого технологического уклада [11]. Это означает, что просматривается перспектива опережающего развития технологий агропромышленного комплекса и планы научных работ на ближайшие годы. Они должны формироваться исходя из прогнозных разработок на середину и вторую половину XXI века.

Базой для таких прогнозов являются системные закономерности организации, строения, функционирования и развития сложных самоорганизующихся технологий АПК.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declares that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Черноиванов, В. И. Мировые тенденции машинно-технологического обеспечения интеллектуального сельского хозяйства / В. И. Черноиванов, А. А. Ежевский, В. Ф. Федоренко. – М. : Росинформагротех, 2012. – 284 с.
2. Пищевые технологии будущего и нанопреобразования биополимеров / Л. М. Аксенова, В. К. Кочетов, А. Б. Лисицын [и др.]. – М. : Диапазон В, 2015. – 304 с.
3. Панфилов, В. А. Теоретические основы пищевых технологий: в 2 книгах. Книга 1 / В. А. Панфилов. – М. : КолосС, 2009. – 608 с.
4. Панфилов, В. А. Теоретические основы пищевых технологий: в 2 книгах. Книга 2 / В. А. Панфилов. – М. : КолосС, 2009. – 799 с.
5. Панфилов, В. А. Системный комплекс «Аграрно-пищевая технология» / В. А. Панфилов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2015. – № 4. – С. 6–9.
6. Малинецкий, Г. Г. Пространство синергетики: взгляд с высоты / Г. Г. Малинецкий. – М. : ЛИБРОКОМ, 2017. – 248 с.
7. Панфилов, В. А. Теория технологического потока. 3-е изд. / В. А. Панфилов. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 319 с.
8. Абдеев, Р. Ф. Философия информационной цивилизации / Р. Ф. Абдеев. – М. : ВЛАДОС, 1994. – 334 с.
9. Инновационное развитие техники пищевых технологий / С. Т. Антипов, А. В. Журавлев, Д. А. Казарцев [и др.]. – СПб. : Лань, 2016. – 660 с.
10. Панфилов, В. А. Продовольственная безопасность России и Шестой технологический уклад в АПК / В. А. Панфилов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2016. – № 1. – С. 10–12.
11. Малинецкий, Г. Г. Чтоб сказку сделать былью... Высокие технологии – путь России в будущее / Г. Г. Малинецкий. – М. : ЛИБРОКОМ, 2014. – 224 с.
12. Майтаков, А. Л. Синергетика технологий производства многокомпонентных продуктов / А. Л. Майтаков, А. М. Попов / Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2018. – Т. 362–363, № 2–3. – С. 112–116.
13. Popov, A. M. Determination of dependence between thermophysical properties and structural-and-phase characteristics of moist materials / A. M. Popov, K. B. Plotnikov, D. V. Donya // Foods and Raw Materials. – 2017. – Vol. 5, № 1. – P. 137–143. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2017-1-137-143>.
14. Synergistic synthesis of multi-range food technology systems / A. L. Maytakov, E. G. Vinogray, L. N. Beryazeva [et al.] // Advances in Social Science, Education and Humanities research. – 2019. – Vol. 273. – P. 238–241.
15. Functional properties of the enzyme-modified protein from oat bran / A. Prosekov, O. Babich, O. Kriger [et al.] // Food Bioscience. – 2018. – Vol. 24. – P. 46–49. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.05.003>.
16. Evaluation and preventing measures of technological risks of food production / I. V. Surkov, A. Yu. Prosekov, E. O. Ermolaeva [et al.] // Modern Applied Science. – 2015. – Vol. 9, № 4. – P. 45–52. <https://doi.org/10.5539/mas.v9n4p45>.
17. Metaxas, I. N. A multicriteria model on calculating the Sustainable Business Excellence Index of a firm with fuzzy AHP and TOPSIS / I. N. Metaxas, D. E. Koulouriotis, S. H. Spartalis // Benchmarking: An International Journal. – 2016. – Vol. 23, № 6. – P. 1522–1557. <https://doi.org/10.1108/BIJ-07-2015-0072>.

References

1. Chernoi Ivanov VI, Ezhevskiy AA, Fedorenko VF. Mirovye tendentsii mashinno-tekhnologicheskogo obespecheniya intellektual'nogo sel'skogo khozyaystva [World tendencies of machine and technological support of smart agriculture]. Moscow: Rosinformagrotekh; 2012. 284 p. (In Russ.).
2. Aksenova LM, Kochetov VK, Lisitsyn AB, Nikol'skiy KN, Panfilov VA, Podkhomutov NV, et al. Pishchevye tekhnologii budushchego i nanopreobrazovaniya biopolimerov [Food technologies of the future and nanotransformation of biopolymers]. Moscow: Diapazon V; 2015. 304 p. (In Russ.).
3. Panfilov VA. Teoreticheskie osnovy pishchevykh tekhnologiy: v 2 knigakh. Kniga 1 [Theoretical foundations of food technology: in two volumes. Volume 1]. Moscow: KolosS; 2009. 608 p. (In Russ.).
4. Panfilov VA. Teoreticheskie osnovy pishchevykh tekhnologiy: v 2 knigakh. Kniga 2 [Theoretical foundations of food technology: in two volumes. Volume 2]. Moscow: KolosS; 2009. 799 p. (In Russ.).
5. Panfilov VA. Systemic complex “Agrarian-food technology”. Vestnik of the Russian Agricultural Science. 2015;(4):6–9. (In Russ.).
6. Malinetskiy GG. Prostranstvo sinergetiki: vzglyad s vysoty [Synergetic space: a view from above]. Moscow: LIBROKOM; 2017. 248 p. (In Russ.).
7. Panfilov VA. Teoriya tekhnologicheskogo potoka. 3-e izd. [Technological flow theory. 3^d ed]. Moscow: INFRA-M; 2019. 319 p. (In Russ.).
8. Abdeev RF. Filosofiya informatsionnoy tsivilizatsii [Philosophy of information civilization]. Moscow: VLADOS; 1994. 334 p. (In Russ.).

9. Antipov ST, Zhuravlev AV, Kazartsev DA, Mordasov AG, Ovsyannikov VYu, Panfilov VA, et al. Innovatsionnoe razvitie tekhniki pishchevykh tekhnologiy [Innovative development of food technology methods]. St. Petersburg: Lan'; 2016. 660 p. (In Russ.).
10. Panfilov VA. Food security of Russia and the sixth technological tenor in the AIC. Vestnik of the Russian Agricultural Science. 2016;(1):10–12. (In Russ.).
11. Malinetskiy GG. Chtob skazku sdelat' byl'yu... Vysokie tekhnologii – put' Rossii v budushchee [To make a fairy tale come true .. Hi-tech is Russia's path to the future]. Moscow: LIBROKOM; 2014. 224 p. (In Russ.).
12. Maytakov AL, Popov AM. Synergetics of production technologies of multicomponent products. News of institutes of higher education. Food Technology. 2018;362–363(2–3):112–116. (In Russ.).
13. Popov AM, Plotnikov KB, Donya DV. Determination of dependence between thermophysical properties and structural-and-phase characteristics of moist materials. Foods and Raw Materials. 2017;5(1):137–143. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2017-1-137-143>.
14. Maytakov AL, Vinogray EG, Beryazeva LN, Popov AM, Vetrova NT, Plotnikov KB. Synergistic synthesis of multi-range food technology systems. Advances in Social Science, Education and Humanities research. 2019;273:238–241.
15. Prosekov A, Babich O, Kriger O, Ivanova S, Pavsky V, Sukhikh S, et al. Functional properties of the enzyme-modified protein from oat bran. Food Bioscience. 2018;24:46–49. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.05.003>.
16. Surkov IV, Prosekov AYU, Ermolaeva EO, Gorelikova GA, Poznyakovskiy VM. Evaluation and preventing measures of technological risks of food production. Modern Applied Science. 2015;9(4):45–52. <https://doi.org/10.5539/mas.v9n4p45>.
17. Metaxas IN, Koulouriotis DE, Spartalis SH. A multicriteria model on calculating the Sustainable Business Excellence Index of a firm with fuzzy AHP and TOPSIS. Benchmarking: An International Journal. 2016;23(6):1522–1557. <https://doi.org/10.1108/BIJ-07-2015-0072>.

Сведения об авторах

Панфилов Виктор Александрович

д-р техн. наук, Академик РАН, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, e-mail: vap@rgau-msha.ru

Information about the authors

Viktor A. Panfilov

Dr.Sci.(Eng.), Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russia, e-mail: vap@rgau-msha.ru

Методика оптико-электрохимического микробиологического тестирования в применении к сравнительному анализу свойств эфирных масел



В. С. Сибирцев*^{ORCID}, У. Ю. Нечипоренко^{ORCID}, В. Л. Кабанов^{ORCID}, М. Ю. Кукин^{ORCID}

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок^{ORCID},

Дата поступления в редакцию: 07.09.2020

Санкт-Петербург, Россия

Дата принятия в печать: 25.12.2020

*e-mail: vs1969r@mail.ru



© В. С. Сибирцев, У. Ю. Нечипоренко, В. Л. Кабанов, М. Ю. Кукин, 2020

Аннотация.

Введение. В последнее время для развития системы мониторинга качества и безопасности пищевой и иной продукции актуальной становится проблема разработки доступных для широкого применения методов оценки микробиологической контаминированности и биологической активности образцов такой продукции. Это определило цель исследования.

Объекты и методы исследования. 10 эфирных масел, полученных из разных видов растительного сырья. Они могут использоваться в качестве функциональных добавок к различной пищевой и иной продукции.

Результаты и их обсуждение. Разработана методика биотестирования, предусматривающая периодическую регистрацию изменений интенсивности упругого светорассеяния, pH и электропроводности жидкой питательной среды, инкубируемой в присутствии и в отсутствие жизнеспособных тестовых микроорганизмов и тестируемых образцов. Представлены результаты сравнительного анализа с помощью данной методики антибиотической активности разных концентраций эфирных масел. Проведенные исследования подтвердили, что при снижении концентрации эфирных масел в тестовой среде монотонно уменьшалась их антибиотическая активность. Краткосрочная биологическая активность эфирных масел была больше их долгосрочной активности. А среднесрочная биологическая активность эфирных масел была промежуточной по величине и лишь иногда превышала не только долгосрочную, но и краткосрочную биологическую активность. Среди исследованных эфирных масел наиболее активные долгосрочные антибиотические свойства проявили экстракты из листьев туи западной (*Thuja occidentalis*), эвкалипта шаровидного (*Eucalyptus globulus*) и кипариса вечнозеленого (*Cupressus sempervirens*).

Выводы. Разработанная методика позволяет существенно экспрессно, объективно и информативно, а также менее трудоемко и материалоемко, чем при использовании стандартных визуальных микробиологических методов, оценивать влияние на динамику жизненной активности микроорганизмов различных тестируемых образцов.

Ключевые слова. Растительные экстракты, эфирные масла, биотестирование, антибиотические свойства, контаминированность

Для цитирования: Методика оптико-электрохимического микробиологического тестирования в применении к сравнительному анализу свойств эфирных масел / В. С. Сибирцев, У. Ю. Нечипоренко, В. Л. Кабанов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 650–659. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-650-659>.

Original article

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

Electrochemical and Optical Microbiological Testing: a Comparative Study on Properties of Essential Oils

Vladimir S. Sibirtsev^{ORCID}, Uliana Yu. Nechiporenko^{ORCID}, Vladimir L. Kabanov^{ORCID},
Mikhail Yu. Kukin^{ORCID}

All-Russia Research Institute for Food Additives^{ORCID},
St. Petersburg, Russia

Received: September 07, 2020

Accepted: December 25, 2020

*e-mail: vs1969r@mail.ru



© V.S. Sibirtsev, U.Yu. Nechiporenko, V.L. Kabanov, M.Yu. Kukin, 2020

Abstract.

Introduction. The national economy is currently developing a system for monitoring the quality and safety of goods. Food products, ingredients, and additives possess various pro- and antibiotic properties. Therefore, available express methods of quantitative

assessment of microbiological contamination are a relevant aspect of domestic food industry.

Study objects and methods. The study featured ten essential oils of plant origin that can be used as functional additives to various food products.

Results and its discussion. The research introduced a new biotesting technique for repetitive recording of changes in the intensity of elastic light dispersion. The technique made it possible to measure pH and electrical conductivity of a liquid nutrient medium incubated in the presence and absence of viable test microorganisms and test samples. The paper describes the results of this technique applied to a comparative analysis of antibiotic activity of various essential oils in different concentrations. As the concentrations of the test extracts decreased, their antibiotic activity monotonically also went down, while the probiotic activity increased. The short-term biological activity of test samples appeared to be significantly higher than their long-term activity. The medium-term biological activity of the test samples was mostly intermediate in value. Only rarely did it exceed both the long- and short-term biological activity of the same TE. The essential oils obtained from the leaves of *Thuja occidentalis*, *Eucalyptus globulus*, and *Cupressus sempervirens* exhibited the most active and long antibiotic properties.

Conclusion. The biological activity of food products, including various plant extracts, depends not only on the raw material and the extraction method, but also on the concentration of the extract in the product. As a rule, the exact nature of these dependencies can only be established empirically and requires a set of various tests. The present article introduces a new highly objective and informative express methodology that simplifies this process. The technique is less labor-, time-, and material-consuming than standard visual microbiological methods. It can be used to assess the effect of test samples on the vital activity of microorganisms in various foods, ingredients, and additives.

Keywords. Plant extracts, essential oils, biotesting, antibiotic properties, contamination

For citation: Sibirtsev VS, Nechiporenko UYu, Kabanov VL, Kukin MYu. Electrochemical and Optical Microbiological Testing: a Comparative Study on Properties of Essential Oils. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(4):650–659. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-650-659>.

Введение

В последнее время в пищевой, а также во многих других отраслях народного хозяйства актуальной становится проблема разработки объективных и в то же время экспрессных и доступных для широкого применения методов количественной оценки про- и антибиотических свойств образцов как новой, так и уже допущенной к применению продукции. В последнем случае вышеупомянутые методы являются одной из важных составляющих системы мониторинга качества и безопасности продукции. При их реализации применяются как многоклеточные, так и одноклеточные тестовые живые организмы. Последние используются не только как дешевая, доступная и статистически достоверная модель живых организмов, но и как модель полезной естественной микробиоты человека, а также природной микробиоты, способной вызывать различные инфекционные заболевания, токсикозы, аллергические реакции, способствовать порче пищевой и иной продукции и т. д.

Однако принятые в настоящее время в качестве стандартных при микробиологическом тестировании процедуры визуальной оценки общей выживаемости микроорганизмов либо величины зоны задержки роста их колоний требуют для своего проведения значительных затрат времени, материалов и труда квалифицированного персонала. Результатом является неполная, субъективная и «статичная» информация о нарушениях жизнедеятельности тестовых организмов [1–5]. Таким образом, перспективным представляется использование в микробиологическом тестировании

инструментальных технологий, среди которых простыми в исполнении, достоверными и универсальными являются различные оптические и электрохимические методы.

Кроме того, в последнее время в пищевой продукции, производимой и потребляемой человеческим обществом, ощущается недостаток биологически активных веществ (БАВ) природного происхождения. БАВ способствуют нормальному развитию и функционированию как самого человеческого организма (часто дополнительно ослабленного стрессами, наличием различных физико-химических факторов загрязнения окружающей среды, недостатком природного освещения и физической активности, контактами с многочисленной посторонней микробиотой, которая агрессивна по отношению к человеческому организму и т. п.), так и симбиотически связанной с ним полезной микробиоты, либо угнетению жизнедеятельности вредной для человека микробиоты.

Производство концентрированных синтетических аналогов БАВ при современном уровне развития технологий часто является затратным с экономической точки зрения, а также малоэффективным из-за сложности достижения нужной степени чистоты, стереоспецифичности и других параметров данной продукции, способных обеспечить высокую степень биологической активности таких соединений. Кроме того, растительные экстракты, по сравнению с синтетическими средствами, обладают меньшими по широте спектра и интенсивности действия на

человеческий и другие живые организмы побочными эффектами.

В результате экстракты из различного растительного сырья в настоящее время являются одним из наиболее приемлемых и распространенных источников БАВ, используемых в качестве функциональных добавок к пищевой, фармацевтической и иной продукции. Из различных видов растительных экстрактов наиболее широкое распространение в настоящее время получили эфирные масла. Их получают промышленно или лабораторно из различного растительного сырья физико-химическими способами (холодный или горячий отжим, дистилляция, экстрагирование при нормальных либо повышенных давлении и/или температуре с помощью различных органических растворителей с последующим удалением этих растворителей при повышенной температуре или под вакуумом и т. п.) [6]. При этом холодный отжим обеспечивает наименьший выход конечного продукта из исходного сырья. Но данный метод является наиболее щадящим, позволяя лучше всего сохранять первичную и пространственную структуру БАВ, содержащихся в исходном сырье. Это обеспечивает их наивысшую биологическую активность. Дистилляция с водяным паром является наиболее распространенным на сегодняшний день методом получения эфирных масел. Однако в эфирных маслах, первым этапом получения которых является экстракция растительных БАВ органическими растворителями (иногда весьма токсичными), даже на конечном этапе их получения остается большое количество органических экстрагентов. Поэтому эфирные масла являются плохо пригодными для внутреннего употребления.

Эфирные масла, получаемые описанными выше способами, позволяют достичь большей и стабильной биологической активности конечного продукта по сравнению с водными, спиртовыми и иными растительными экстрактами, получаемыми без удаления экстрагентов. Эфирные масла, получаемые «холодными» методами, богаче по составу и биологической активности экстрагируемых в них растительных БАВ, но содержат меньшие концентрации последних. Поэтому в настоящее время эфирные масла широко (среди других видов растительных экстрактов) применяются в пищевой и других отраслях промышленности в качестве добавок, обладающих избирательным либо малоспецифическим про- или антимикробным действием (используемым, в том числе, при лечении различных респираторных заболеваний, а также заболеваний зубов, полости рта и т. п.), добавок, обладающих различными видами нормализующего действия (используемого, в том числе, при лечении различных нервных, сердечно-сосудистых, диабетических, пищеварительных

и иных заболеваний), а также консервирующих, антиоксидантных, ароматизирующих, вкусовых и иных видов добавок [1–3, 6–16]. Кроме того, эфирные масла используются в качестве антисептиков, экологически безопасных инсектицидов и пестицидов, добавок к различным зуботерапевтическим, ранозаживляющим и другим медицинским и упаковочным материалам (съедобным, биоразлагаемым, обладающим выраженным антимикробным действием и т. п.) [7, 17–21].

Целью исследования стала разработка экспрессной и объективной инструментальной методики оценки микробиологической контаминированности, про- и антибиотических свойств различной пищевой и иной продукции, а также отдельных ингредиентов и добавок к ней с последующим анализом влияния на динамику жизнедеятельности микробиоты человека различных растительных экстрактов.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования в настоящей работе были взяты эфирные масла, полученные из следующих видов растительного сырья: хвоя ели обыкновенной (*Picea abies*) (№ 1), хвоя сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (№ 2), хвоя пихты сибирской (*Abies sibirica*) (№ 3), хвоя и семена кедрового (сосна сибирская кедровая *Pinus sibirica*) (№ 4 и № 5 соответственно), хвоя кедрового атлантического (*Cedrus atlantica*) (№ 6), ягоды можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis*) (№ 7), листья кипариса вечнозеленого (*Cupressus sempervirens*) (№ 8), листья туи западной (*Thuja occidentalis*) (№ 9) и листья эвкалипта шаровидного (*Eucalyptus globulus*) (№ 10).

Указанные эфирные масла были закуплены у крупных российских производителей: Mirrolla (<https://mirrolla.ru>), Botanika (<https://botavikos.ru>) и Oleos (<https://oleos-info.ru>). Причем при наличии у этих компаний эфирных масел, получаемых из «одинаковых» видов растительного сырья, предпочтение отдавалось компаниям, стоящим левее в указанном выше списке.

Результаты и их обсуждение

Для анализа влияния различных концентраций эфирных масел на динамику жизнедеятельности микроорганизмов, учитывая результаты авторских работ по различным способам инструментального биотестирования, была разработана следующая методика [22–27].

Для каждой партии эфирных масел проводилось по четыре серии измерений. Перед началом каждой готовилась питательная среда, представлявшая собой стерильный водный раствор с pH $7,2 \pm 0,2$, содержащий 5 г/л глюкозы, 20 г/л белкового гидролизата и 2 г/л NaCl. Затем питательная среда засеивалась *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356.

Они были выбраны в качестве типичных представителей микробиоты, широко распространенной как во вне, так и внутри организма человека и других живых организмов. *L. acidophilus* активно участвуют в деструкции различных биополимеров, а также широко используются человеком во многих биотехнологических процессах, включая биоконсервирование, силосование, получение различной кисломолочной продукции и т. п. Далее питательная среда с тестовыми микроорганизмами инкубировалась при $37 \pm 0,1$ °С, пока содержание жизнеспособных микроорганизмов в ней не достигало примерно 5×10^6 кл/мл (что удостоверялось нефелометрическим способом по бактериальному стандарту мутности).

Полученная тестовая среда разливалась по измерительным емкостям (ИЕ). В каждую (за исключением 3 контрольных-1 ИЕ, содержащих тестовую среду с жизнеспособными микроорганизмами без эфирных масел, но с добавлением 3-х контрольных-2 ИЕ, содержащих стерильную питательную среду с тем или иным эфирным маслом) предварительно добавлялось (по 3 ИЕ в параллель) количество тестируемого объекта (эфирные масла, получаемые из растительного сырья), необходимое для достижения заданной концентрации эфирных масел в тестовой среде. Затем как тестовые, так и все контрольные ИЕ, инкубировались при $37 \pm 0,1$ °С в течение 6 часов. При этом у тестовых сред, содержащихся в каждой ИЕ, последовательно и с интервалом в 2 часа регистрировались интенсивность упругого светорассеяния в видимой области спектра (*Iod*), pH и удельная, линейная, низкочастотная электропроводность (*X*, мСм/см). *Iod* регистрировалась с помощью нефелометра «WGZ-2»; pH регистрировалось с помощью иономера «Эксперт-001» (Россия) с комбинированным электродом «ЭСК-10601/7»; а *X* регистрировалась с помощью кондуктометра «Эксперт-002» (Россия) с датчиком «УЭП-П-С», работающим на частоте 1,6 кГц. После чего общая степень активирования/ингибирования (+/–) жизнедеятельности тестовых микроорганизмов заданными концентрациями тестируемых эфирных масел рассчитывалась по формуле:

$$\varepsilon_{V,k} = (\varepsilon_{Iod,k} + 0,7\varepsilon_{pH,k} + 0,7\varepsilon_{X,k}) / 2,4 \quad (1)$$

где $\varepsilon_{Iod,k}$, $\varepsilon_{pH,k}$ и $\varepsilon_{X,k}$ определялись отдельно по результатам измерений *Iod*, pH и *X* у тестовых сред, содержащихся в ИЕ, в ходе инкубации этих ИЕ по формуле:

$$\varepsilon_{i,k} = 100 \times (\Delta Y_{i,k} - \Delta Y_{c,i,k}) / \Delta Y_{c,i,k} \quad (2)$$

где $\Delta Y_{i,k}$ и $\Delta Y_{c,i,k}$ – усредненные по выборке из *N* образцов с одинаковыми концентрациями эфирных

масел, приготовленных одинаковым способом из одного вида растительного сырья (в нашем случае $N = 3 \times 4 = 12$), изменения значений *i*-параметра тестовой среды (где $i = 1, 2$ и 3 соответствуют таким параметрам тестовой среды, как *Iod*, pH и *X*), произошедшие за *k* часов от начала инкубирования этой среды в присутствии заданной концентрации эфирного масла (ΔY_i , наблюдаемое в тестовых ИЕ) либо в отсутствие эфирного масла (ΔY_c , наблюдаемое в контрольных-1 ИЕ, тестовые среды в которых содержали жизнеспособные микроорганизмы, но не содержали эфирных масел).

Ошибка определения каждой из усредненных величин $\varepsilon_{Iod,k}$, $\varepsilon_{pH,k}$ и $\varepsilon_{X,k}$ рассчитывалась стандартным образом, как $\Delta \varepsilon_Y = t_{\alpha, N-1} \sigma_Y$, с использованием критерия Стьюдента ($t_{\alpha, N-1}$ для уровня достоверности $\alpha = 0,95$ и числа степеней свободы $N-1$), математического ожидания ($\varepsilon_{Y,S} = \sum \varepsilon_{Y,i} / N$) и его дисперсии ($\sigma_Y = [\sum (\varepsilon_{Y,i} - \varepsilon_{Y,S})^2 / (N-1)]^{1/2}$) [28, 29]. После чего полученные значения $\Delta \varepsilon_{pH,k}$, $\Delta \varepsilon_{E,k}$ и $\Delta \varepsilon_{X,k}$ суммировались для величины $\varepsilon_{V,k}$ по стандартной формуле $\Delta z(x_i) = \sum_i (\Delta x_i \delta z / \delta x_i)$, исходя из которой $\Delta \varepsilon_{V,k} = (\Delta \varepsilon_{Iod,k} + 0,7\Delta \varepsilon_{pH,k} + 0,7\Delta \varepsilon_{X,k}) / 2,4$ [28, 29].

Параметры *Iod*, pH и *X* были выбраны для оценки общей степени активирования или ингибирования жизнедеятельности тестовых микроорганизмов заданными концентрациями тестируемых экстрактов, т. к. они надежно измеряются инструментально. При этом они чувствительно связаны с изменением количества и размера микроорганизмов, присутствующих в единице объема тестовой среды (в случае *Iod*, чем больше клеток микроорганизмов присутствует в тестовой среде, тем интенсивней они рассеивают видимый свет). Также с тем на сколько % по отношению к контролю ускорялось либо замедлялось преобразование жизнеспособными микроорганизмами катаболитов, присутствующими в тестовой среде, в анаболиты после *k* часов их инкубации при заданными температуре и концентрации эфирного масла, по сравнению с теми же процессами, осуществляемыми теми же микроорганизмами в той же среде в отсутствие эфирных масел. В случае pH и *X* преобразование микроорганизмами катаболитов, присутствующих в тестовой среде, в анаболиты существенно изменяет кислотность и электропроводность последних.

Правомерность объединения в ε_V величин ε_{Iod} , ε_{pH} и ε_X можно объяснить тем, что каждая из этих величин независимо нормировалась на контрольные значения определяющего ее показателя. Таким образом, единообразно (в % по отношению к контролю) отражала изменение метаболизма тестовых микроорганизмов в присутствии тестируемого эфирного масла, в то же время по-разному характеризуя это изменение (поскольку изменение *Iod*, pH и *X* в тестовой среде обуславливали разные метаболические процессы, осуществляемые присутствующими там жизнеспособными микро-

организмами). В результате чего суммарная величина ε_V информативно и адекватно характеризовала изменения метаболической активности тестовых микроорганизмов, чем каждая из величин ε_{lod} , ε_{pH} и ε_X по отдельности.

Последнее подтверждается тем, что для ε_V имела место 90 % достоверная корреляция с изменением количества колоний образующих единиц (КОЕ) тестовых микроорганизмов, определяемым с применением стандартной методики [1–5]. Подсчет колоний *L. acidophilus* производили через 24 ч инкубации при 37 °С на плотной питательной среде (жидкая питательная среда с добавлением 20 г/л микробиологического агар-агара). Сравнение производили после инкубации тестовых микроорганизмов в присутствии и в отсутствие 1 об.% какого-либо из тестируемых эфирных масел с контролем-1 (те же микроорганизмы в той же тестовой среде, но без эфирных масел). Высеивание проводилось для нескольких последовательных разведений тестовой среды (каждое в несколько параллельных чашек Петри). После отбирались те разведения, при использовании которых на одной чашке Петри выросло не менее 10 и не более 50 колоний тестовых микроорганизмов. Данные по ним статистически обрабатывались.

Микробиологическая контаминированность (C_M) тестируемых образцов могла быть рассчитана

по формулам, аналогичным 1 и 2. Однако ΔYt определялась не для тестовых, а для контрольных-1 ИЕ, а ΔYc определялась для контрольных-2 ИЕ, содержащих какое-либо из тестируемых эфирных масел в стерильной питательной среде. Полученное значение C_M^* домножалось на калибровочный коэффициент, определяемый предварительно на основании сравнения результатов, полученных с помощью описанной выше методики, с результатами, полученными для тех же концентраций эфирных масел с помощью вышеупомянутой стандартной методики микробиологического тестирования. При этом C_M показывало сколько жизнеспособных микроорганизмов исходно присутствовало в тестируемом образце. Если вместо общенакопительной питательной среды, использованной в этой работе, тестируемый образец инкубировать в селективных питательных средах, то указанным выше способом можно определять не только общую контаминированность тестируемого образца, но и применительно к отдельным видам и штаммам микроорганизмов.

Данные, полученные описанным выше способом, представлены в таблице 1.

Долгосрочную (продолгованную) антибиотическую активность тестируемых экстрактов оценивали по величине $\varepsilon_{V,6}$, определяемой через 6 ч

Таблица 1. $\varepsilon_{V,k}$ (%), определявшиеся через 2, 4 и 6 часов инкубирования *Lactobacillus acidophilus* в присутствии разных количеств эфирных масел (ЭфМ), изготовленных из разного растительного сырья

Table 1. $\varepsilon_{V,k}$ (%) determined after 2, 4, and 6 h of incubation of *Lactobacillus acidophilus* in the presence of different amounts of essential oils of various plant origin

№ сырья	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10
конц. ЭфМ	1 об.%									
$\varepsilon_{V,2}$, %	-72	-65	-78	-67	-70	-79	-68	-91	-85	-89
$\varepsilon_{V,4}$, %	-67	-59	-69	-61	-67	-70	-59	-80	-79	-80
$\varepsilon_{V,6}$, %	-62	-55	-65	-58	-64	-60	-53	-69	-73	-71
конц. ЭфМ	0,5 об.%									
$\varepsilon_{V,2}$, %	-55	-48	-51	-50	-54	-41	-28	-53	-62	-70
$\varepsilon_{V,4}$, %	-42	-47	-45	-42	-49	-37	-30	-49	-56	-56
$\varepsilon_{V,6}$, %	-35	-33	-42	-34	-44	-34	-27	-45	-50	-48
конц. ЭфМ	0,3 об.%									
$\varepsilon_{V,2}$, %	-34	-27	-36	-29	-34	-34	-21	-37	-39	-44
$\varepsilon_{V,4}$, %	-30	-24	-32	-26	-31	-26	-23	-35	-35	-35
$\varepsilon_{V,6}$, %	-25	-22	-27	-24	-28	-22	-19	-30	-31	-31
конц. ЭфМ	0,1 об.%									
$\varepsilon_{V,2}$, %	-23	-17	-23	-21	-23	-18	-14	-18	-25	-23
$\varepsilon_{V,4}$, %	-21	-18	-19	-18	-20	-16	-15	-21	-21	-18
$\varepsilon_{V,6}$, %	-16	-15	-17	-16	-18	-15	-13	-18	-19	-18

Методику определения общих степеней активирования/ингибирования (+/-) жизнедеятельности тестовых микроорганизмов разными концентрациями различных ЭфМ ($\varepsilon_{V,k}$, где $k = 2, 4$ и 6 ч инкубирования), а также соответствие № 1–10 видов сырья, использованного для приготовления ЭфМ, смотрите в разделе «Объекты и методы исследования». Относительная ошибка определения ε_V для всех указанных в таблице значений находилась в диапазоне от 10 до 20 %.

See Objects and Methods for 1) the method for determining the general degrees of activation/inhibition (+/-) of the vital activity of test microorganisms depending on the concentration of various essential oils ($\varepsilon_{V,k}$, where $k = 2, 4$, and 6 h of incubation), 2) compliance with the ten types of raw materials used to prepare the essential oils. The relative error in determining ε_V for all values in the table was between 10 and 20%.

инкубации тестовой среды с жизнеспособными микроорганизмами в присутствии заданной концентрации того или иного эфирного масла. При этом в порядке убывания $\varepsilon_{V,6}$ (характеризующего по нашим оценкам увеличение антибиотической активности тестируемого объекта) эфирные масла, получаемые из различных видов растительного сырья, можно было упорядочить следующим образом, где в скобках после № сырья указаны соответствующие ему $\varepsilon_{V,6}$ (табл. 1):

«№ 9 (–73) > № 10 (–71) > № 8 (–69) >> № 3 (–65) > № 5 (–64) >> № 1 (–62) > № 6 (–60) > № 4 (–58) >> № 2 (–55) > № 7 (–53)» (для 1 об.% эфирных масел в тестовой среде);

«№ 9 (–50) > № 10 (–48) >> № 8 (–45) > № 5 (–44) > № 3 (–42) >>> № 1 (–35) > № 4 (–34) ≈ № 6 (–34) > № 2 (–33) >>> № 7 (–27)» (для 0,5 об.% эфирных масел в тестовой среде);

«№ 9 (–31) ≈ № 10 (–31) > № 8 (–30) > № 5 (–28) > № 3 (–27) > № 1 (–25) > № 4 (–24) > № 2 (–22) ≈ № 6 (–22) >> № 7 (–19)» (для 0,3 об.% эфирных масел в тестовой среде);

«№ 9 (–19) > № 5 (–18) ≈ № 8 (–18) ≈ № 10 (–18) > № 3 (–17) > № 1 (–16) ≈ № 4 (–16) > № 2 (–15) ≈ № 6 (–15) > № 7 (–13)» (для 0,1 об.% эфирных масел в тестовой среде).

Видно, что с изменением концентраций эфирных масел в тестовой среде может меняться и характер их биологической активности относительно других эфирных масел. Из листьев частей разных растений можно экстрагировать различные БАВ. Отчетливо это видно на примере сравнения антибиотической активности эфирных масел, полученных из хвои и семян кедрового (№ 4 и № 5 соответственно), а также листьев туи западной (№ 9), для которых при их концентрации в тестовой среде равной 1 об.% $\varepsilon_{V,6}$ составили –58, –64 и –73 % соответственно.

Среди исследованных эфирных масел активные пролонгированные (долгосрочные) антимикробные свойства в отношении тестовых микроорганизмов (характеризуемые в таблице 1 величиной $\varepsilon_{V,6}$, определяемой через 6 ч инкубации тестовых микроорганизмов в присутствии тестируемых экстрактов) проявили эфирные масла, полученные из листьев туи западной (№ 9), эвкалипта шаровидного (№ 10) и кипариса вечнозеленого (№ 8).

Начальная (краткосрочная) антибиотическая активность эфирных масел (характеризуемая в таблице 1 величиной $\varepsilon_{V,2}$, определяемой через 2 ч инкубации тестовых микроорганизмов в присутствии эфирных масел) в большинстве случаев была существенно больше их долгосрочной активности. Это объяснялось как адаптацией этих микроорганизмов к присутствию тестируемого эфирного масла, так и уменьшением с течением времени активности и общего количества БАВ, содержащихся в тестируемом эфирном масле,

приходящегося на один тестовый микроорганизм (поскольку общее количество тестовых микроорганизмов во время инкубации тестовой среды увеличивалось, тогда как активность и общее количество БАВ, содержащихся в тестируемых эфирных маслах, в ходе инкубации содержащих их тестовых сред не только не увеличивались, но даже уменьшались из-за биохимической и физико-химической денатурации и деструкции упомянутых БАВ).

Среднесрочная (по времени взаимодействия эфирных масел с тестовыми микроорганизмами) антибиотическая активность эфирных масел (характеризуемая в таблице 1 величиной $\varepsilon_{V,4}$, определяемой через 4 ч инкубации тестовой среды с эфирным маслом) в большинстве случаев была промежуточной по величине между $\varepsilon_{V,2}$ и $\varepsilon_{V,6}$. Лишь иногда (например, ЭфМ № 7 в концентрациях ниже 0,5 об.%, а также ЭфМ № 2 и № 8 в концентрациях 0,1 об.%) превышала не только долго-, но и краткосрочную антибиотическую активность того же эфирного масла.

При этом с уменьшением концентраций эфирных масел в тестовой среде их антибиотическая активность в отношении тестовых микроорганизмов монотонно уменьшалась. Например, при концентрациях 1, 0,3 и 0,1 об.% долгосрочная антибиотическая активность эфирных масел из листьев туи западной (№ 9) была равна –73, –31 и –19 %; а $\varepsilon_{V,6}$ эфирных масел из ягод можжевельника обыкновенного (№ 7) была равна –53, –19 и –13 % соответственно.

Выводы

С помощью представленной в настоящей работе методики можно экспрессно (в течение нескольких часов, а не суток), объективно (за счет уменьшения роли субъективного человеческого фактора при замене в процессе измерений визуальных методов на инструментальные) и информативно, чем при использовании стандартных методов, оценивать исходную микробиологическую контаминированность (не только общую, но и применительно к отдельным видам и штаммам микроорганизмов), влияние на динамику жизненной активности тестовых микроорганизмов различных образцов пищевой и иной продукции, а также отдельных ингредиентов и добавок к ней (включая различные растительные экстракты). При этом большая информативность предлагаемой методики достигается за счет того, что, во-первых, инструментальные способы измерения чувствительней визуальных (применяемых в стандартных методах). Во-вторых, предлагаемая методика дает возможность оценивать динамику изменения жизненной активности микроорганизмов на множестве произвольно выбираемых времен-

ных отрезков (в отличие от стандартных процедур, где измерения производятся лишь один раз, в конце периода инкубации тестируемых образцов). В-третьих, предлагаемая методика предполагает оценку изменения жизненной активности микроорганизмов сразу по нескольким независимым показателям (таким как интенсивность светорассеяния, pH и электропроводность тестовой среды), а не только по одному (мутности тестовой среды, числу колоний микроорганизмов или величине зоны задержки их роста), как в случае применения стандартных методик. Кроме того, представленная методика менее материалоемка и трудоемка, по сравнению с аналогичными стандартными методами, а также дает гораздо больше возможностей для автоматизации всего процесса анализа.

Все это делает представленную методику доступной для массового применения, чем ранее используемые стандартные методы микробиологического тестирования и оценки микробиологической контаминированности образцов различной продукции. Последнее же является весьма актуальным в свете того, что одним из важных условий обеспечения должного уровня безопасности и качества жизни людей является не только своевременное и качественное тестирование про- и антибиотических свойств новой пищевой и иной продукции, а также отдельных ингредиентов и добавок к ней, но и постоянный широкий мониторинг про- и антибиотических свойств уже допущенной к массовому употреблению продукции с целью выявления недоброкачественных либо успешных до окончательной реализации испортиться или претерпеть химическое или биологическое заражение ее образцов.

В отношении исследованных растительных экстрактов следует отметить следующее. Из разных частей растений различными способами можно экстрагировать БАВ. С изменением концентраций эфирных масел может меняться характер их биологической активности. Среди исследованных эфирных масел наиболее активные долгосрочные

антибиотические свойства проявили экстракты из листьев туи западной, эвкалипта шаровидного и кипариса вечнозеленого.

Краткосрочная биологическая активность эфирных масел в большинстве случаев была больше их долгосрочной активности. А среднесрочная биологическая активность эфирных масел была промежуточной по величине и лишь иногда превышала не только долгосрочную, но и их краткосрочную биологическую активность. При этом с уменьшением концентраций эфирных масел в тестовой среде их антибиотическая активность монотонно уменьшалась.

Очевидно, что характер про- и антибиотической активности пищевой и иной продукции, в том числе включающей различные эфирные масла, в значительной степени определяется выбором не только сырья и способа экстрагирования из него БАВ, но и концентрацией действующих веществ в продукции. Причем точный характер этих зависимостей может быть установлен лишь эмпирически, т. е. с помощью значительного числа тестовых испытаний (которые удобно проводить представленной в этой работе методикой).

Критерии авторства

В. С. Сибирцев руководил проектом. У. Ю. Нечипоренко, В. Л. Кабанов и М. Ю. Кукин участвовали в проведении экспериментов и обсуждении их результатов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

V.S. Sibirtsev supervised the project, while U.Yu. Nechiporenko, V.L. Kabanov, and M.Yu. Kukin performed the experimental work and assessed the obtained results.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. In *vitro* effects of food extracts on selected probiotic and pathogenic bacteria / J. Sutherland, M. Miles, D. Hedderley [et al.] // International Journal of Food Sciences and Nutrition. – 2009. – Vol. 60, № 8. – P. 717–727. <https://doi.org/10.3109/09637480802165650>.
2. Das, S. Synergistic or additive antimicrobial activities of Indian spice and herbal extracts against pathogenic, probiotic and food-spoiler micro-organisms / S. Das, C. Anjeza, S. Mandal // International Food Research Journal. – 2012. – Vol. 19, № 3. – P. 1185–1191.
3. Al-Zubairi, A. S. The antibacterial, antifungal, and antioxidant activities of essential oil from different aromatic plants / A. S. Al-Zubairi, M. A. Al-Mamary, E. Al-Ghasani // Global Advanced Research Journal of Medicine and Medical Sciences. – 2017. – Vol. 6, № 9. – P. 224–233.
4. Zhuravlev, O. E. Synthesis and antimicrobial activity of n-decylpyridinium salts with inorganic anions / O. E. Zhuravlev, L. I. Voronchikhina // Pharmaceutical Chemistry Journal. – 2018. – Vol. 52, № 4. – P. 312–315. <https://doi.org/10.1007/s11094-018-1813-6>.

5. Synthesis and antimicrobial activity of 5-(arylmethylidene)-2,4,6-pyrimidine-2,4,6(1*H*,3*H*,5*H*)-triones / S. A. Luzhnova, A. G. Tyrkov, N. M. Gabitova [et al.] // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. – 2018. – Vol. 52, № 6. – P. 506–509. <https://doi.org/10.1007/s11094-018-1849-7>.
6. Rodino, S. Herbal extracts – new trends in functional and medicinal beverages / S. Rodino, M. Butu // *Functional and medicinal beverages. Volume 11: The science of beverages* / A. M. Grumezescu, A. M. Holban. – Academic Press, 2019. – P. 73–108. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816397-9.00003-0>.
7. Burt, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods – a review / S. Burt // *International Journal of Food Microbiology*. – 2004. – Vol. 94, № 3. – P. 223–253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>.
8. Biological effects of essential oils – A review / F. Bakkali, S. Averbeck, D. Averbeck [et al.] // *Food and Chemical Toxicology*. – 2008. – Vol. 46, № 2. – P. 446–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>.
9. Herbal antidiabetics: A review / A. K. Tripathi, P. K. Bhoyar, J. R. Baheti [et al.] // *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*. – 2011. – Vol. 2, № 1. – P. 30–37.
10. Benefits of herbal extracts in cosmetics: a review / A. Fatima, S. Alok, P. Agarwal [et al.] // *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2013. – Vol. 4, № 10. – P. 3746–3760. [https://doi.org/10.13040/ijpsr.0975-8232.4\(10\).3746-60](https://doi.org/10.13040/ijpsr.0975-8232.4(10).3746-60).
11. Herbal antioxidant in clinical practice: a review / S. Alok, S. K. Jain, A. Verma [et al.] // *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. – 2014. – Vol. 4, № 1. – P. 78–84. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(14\)60213-6](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(14)60213-6).
12. Donsi, F. Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food / F. Donsi, G. Ferrari // *Journal of Biotechnology*. – 2016. – Vol. 233. – P. 106–120. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.07.005>.
13. Herbal extracts, lichens and biomolecules as natural photo-protection alternatives to synthetic UV filters. A systematic review / M. Radice, S. Manfredini, P. Ziosi [et al.] // *Fitoterapia*. – 2016. – Vol. 114. – P. 144–162. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2016.09.003>.
14. Antibacterial and antibiofilm activities of *Laurus nobilis* L. essential oil against *Staphylococcus aureus* strains associated with oral infections / A. Merghni, H. Marzouki, H. Hentati [et al.] // *Current Research in Translational Medicine*. – 2016. – Vol. 64, № 1. – P. 29–34. <https://doi.org/10.1016/j.patbio.2015.10.003>.
15. Fani, M. In vitro antimicrobial activity of *Thymus vulgaris* essential oil against major oral pathogens / M. Fani, J. Kohanteb // *Journal of Evidence-Based Integrative Medicine*. – 2017. – Vol. 22, № 4. – P. 660–666. <https://doi.org/10.1177/2156587217700772>.
16. Influence of *Pleurotus ostreatus* β -glucans on the growth and activity of certain lactic acid bacteria / M. S. Kokina, M. Frioui, M. M. Shamtsyan [et al.] // *Scientific Study and Research: Chemistry and Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*. – 2018. – Vol. 19, № 4. – P. 465–471.
17. Atarés, L. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging / L. Atarés, A. Chiralt // *Trends in Food Science and Technology*. – 2016. – Vol. 48. – P. 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.001>.
18. Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends / R. Ribeiro-Santos, M. Andrade, N. R. de Melo [et al.] // *Trends in Food Science and Technology*. – 2017. – Vol. 61. – P. 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.021>.
19. Application of edible coating with essential oil in food preservation / J. Ju, Y. Xie, Y. Guo [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2019. – Vol. 59, № 15. – P. 2467–2480. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1456402>.
20. Yuan, G. Chitosan films and coatings containing essential oils: The antioxidant and antimicrobial activity, and application in food systems / G. Yuan, X. Chen, D. Li // *Food Research International*. – 2016. – Vol. 89. – P. 117–128. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.004>.
21. Pavela, R. Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and constraints / R. Pavela, G. Benelli // *Trends in Plant Science*. – 2016. – Vol. 21, № 12. – P. 1000–1007. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.10.005>.
22. Leukopenia prognosis by radiation therapy of patients with Hodgkin's disease / S. D. Ivanov, L. I. Korytova, V. A. Yamshanov [et al.] // *Journal of Experimental and Clinical Cancer Research*. – 1997. – Vol. 16, № 2. – P. 183–188.
23. Sibirtsev, V. S. Fluorescent DNA probes: study of mechanisms of changes in spectral properties and features of practical application / V. S. Sibirtsev // *Biochemistry (Moscow)*. – 2007. – Vol. 72, № 8. – P. 887–900. <https://doi.org/10.1134/S0006297907080111>.
24. Use of impedance biotesting to assess the actions of pharmaceutical compounds on the growth of microorganisms / V. S. Sibirtsev, I. A. Naumov, E. E. Kuprina [et al.] // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. – 2016. – Vol. 50, № 7. – P. 481–485. <https://doi.org/10.1007/s11094-016-1473-3>.
25. Sibirtsev, V. S. Biological test methods based on fluorometric genome analysis / V. S. Sibirtsev // *Journal of Optical Technology*. – 2017. – Vol. 84, № 11. – P. 787–791. <https://doi.org/10.1364/JOT.84.000787>.
26. Комплексная методика инструментального микробиотестирования экологической безопасности различной продукции, отходов и территорий / В. С. Сибирцев, М. В. Успенская, А. В. Гарабаджиу [и др.] // *Доклады академии наук*. – 2019. – Т. 485, № 6. – С. 760–763. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524856760-763>.

27. Sibirtsev, V. S. New method of integrated photofluorescence microbiotesting / V. S. Sibirtsev, A. V. Garabadiu, V. I. Shvets // *Doklady Biological Sciences*. – 2019. – Vol. 489, № 1. – P. 196–199. <https://doi.org/10.1134/S0012496619060103>.
28. Korn, G. A. *Mathematical handbook for scientists and engineers. Definitions, theorems and formulas for reference and review* / G. A. Korn, T. Korn. – New York : McGraw-Hill, 1968. – 1150 p.
29. Johnson, K. J. *Numerical Methods in Chemistry* / K. J. Johnson. – New York : Dekker, 1980. – 503 p.

References

1. Sutherland J, Miles M, Hedderley D, Li J, Devoy S, Sutton K, et al. In *vitro* effects of food extracts on selected probiotic and pathogenic bacteria. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2009;60(8):717–727. <https://doi.org/10.3109/09637480802165650>.
2. Das S, Anjeza C, Mandal S. Synergistic or additive antimicrobial activities of Indian spice and herbal extracts against pathogenic, probiotic and food-spoiler micro-organisms. *International Food Research Journal*. 2012;19(3):1185–1191.
3. Al-Zubairi AS, Al-Mamary MA, Al-Ghasani E. The antibacterial, antifungal, and antioxidant activities of essential oil from different aromatic plants. *Global Advanced Research Journal of Medicine and Medical Sciences*. 2017;6(9):224–233.
4. Zhuravlev OE, Voronchikhina LI. Synthesis and antimicrobial activity of n-decylpyridinium salts with inorganic anions. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2018;52(4):312–315. <https://doi.org/10.1007/s11094-018-1813-6>.
5. Luzhnova SA, Tyrkov AG, Gabitova NM, Yurtaeva EA. Synthesis and antimicrobial activity of 5-(arylmethylidene)-2,4,6-pyrimidine-2,4,6(1*H*,3*H*,5*H*)-triones. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2018;52(6):506–509. <https://doi.org/10.1007/s11094-018-1849-7>.
6. Rodino S, Butu M. Herbal extracts – new trends in functional and medicinal beverages. In: Grumezescu AM, Holban AM, editors. *Functional and medicinal beverages. Volume 11: The science of beverages*. Academic Press; 2019. pp. 73–108. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816397-9.00003-0>.
7. Burt S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods – a review. *International Journal of Food Microbiology*. 2004;94(3):223–253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>.
8. Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, Waomar M. Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*. 2008;46(2):446–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>.
9. Tripathi AK, Bhojar PK, Baheti JR, Biyani DM, Khalique M, Kothmire MS, et al. Herbal antidiabetics: A review. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*. 2011;2(1):30–37.
10. Fatima A, Alok S, Agarwal P, Singh PP, Verma A. Benefits of herbal extracts in cosmetics: a review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2013;4(10):3746–3760. [https://doi.org/10.13040/ijpsr.0975-8232.4\(10\).3746-60](https://doi.org/10.13040/ijpsr.0975-8232.4(10).3746-60).
11. Alok S, Jain SK, Verma A, Kumar M, Mahor A, Sabharwal M. Herbal antioxidant in clinical practice: a review. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 2014;4(1):78–84. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(14\)60213-6](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(14)60213-6).
12. Donsi F, Ferrari G. Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food. *Journal of Biotechnology*. 2016;233:106–120. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.07.005>.
13. Radice M, Manfredini S, Ziosi P, Dissette V, Buso P, Fallacara A, et al. Herbal extracts, lichens and biomolecules as natural photo-protection alternatives to synthetic UV filters. A systematic review. *Fitoterapia*. 2016;114:144–162. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2016.09.003>.
14. Merghni A, Marzouki H, Hentati H, Aouni M, Mastouri M. Antibacterial and antibiofilm activities of *Laurus nobilis* L. essential oil against *Staphylococcus aureus* strains associated with oral infections. *Current Research in Translational Medicine*. 2016;64(1):29–34. <https://doi.org/10.1016/j.patbio.2015.10.003>.
15. Fani M, Kohanteb J. In vitro antimicrobial activity of *Thymus vulgaris* essential oil against major oral pathogens. *Journal of Evidence-Based Integrative Medicine*. 2017;22(4):660–666. <https://doi.org/10.1177/2156587217700772>.
16. Kokina MS, Frioui M, Shamtsyan MM, Sibirtsev VS, Krasnikova LV, Konusova VG, et al. Influence of *Pleurotus ostreatus* β -glucans on the growth and activity of certain lactic acid bacteria. *Scientific Study and Research: Chemistry and Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*. 2018;19(4):465–471.
17. Atarés L, Chiralt A. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends in Food Science and Technology*. 2016;48:51–62. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.001>.
18. Ribeiro-Santos R, Andrade M, de Melo NR, Sanches-Silva A. Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends. *Trends in Food Science and Technology*. 2017;61:132–140. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.021>.
19. Ju J, Xie Y, Guo Y, Cheng Y, Qian H, Yao W. Application of edible coating with essential oil in food preservation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019;59(15):2467–2480. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1456402>.
20. Yuan G, Chen X, Li D. Chitosan films and coatings containing essential oils: The antioxidant and antimicrobial activity, and application in food systems. *Food Research International*. 2016;89:117–128. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.004>.
21. Pavela R, Benelli G. Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and constraints. *Trends in Plant Science*. 2016;21(12):1000–1007. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.10.005>.

22. Ivanov SD, Korytova LI, Yamshanov VA, Ilyn NV, Sibirtsev VS. Leukopenia prognosis by radiation therapy of patients with Hodgkin's disease. *Journal of Experimental and Clinical Cancer Research*. 1997;16(2):183–188.
23. Sibirtsev VS. Fluorescent DNA probes: study of mechanisms of changes in spectral properties and features of practical application. *Biochemistry (Moscow)*. 2007;72(8):887–900. <https://doi.org/10.1134/S0006297907080111>.
24. Sibirtsev VS, Naumov IA, Kuprina EE, Olekhovich RO. Use of impedance biotesting to assess the actions of pharmaceutical compounds on the growth of microorganisms. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2016;50(7):481–485. <https://doi.org/10.1007/s11094-016-1473-3>.
25. Sibirtsev VS. Biological test methods based on fluorometric genome analysis. *Journal of Optical Technology*. 2017;84(11):787–791. <https://doi.org/10.1364/JOT.84.000787>.
26. Sibirtsev VS, Uspenskaya MV, Garabadgiu AV, Shvets VI. An integrated method of instrumental microbiotesting of environmental safety of various products, wastes, and territories. *Doklady Akademii Nauk*. 2019;485(6):760–763. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0869-56524856760-763>.
27. Sibirtsev VS, Garabadgiu AV, Shvets VI. New method of integrated photofluorescence microbiotesting. *Doklady Biological Sciences*. 2019;489(1):196–199. <https://doi.org/10.1134/S0012496619060103>.
28. Korn GA, Korn T. *Mathematical handbook for scientists and engineers. Definitions, theorems and formulas for reference and review*. New York: McGraw-Hill; 1968. 1150 p.
29. Johnson KJ. *Numerical Methods in Chemistry*. New York: Dekker; 1980. 503 p.

Сведения об авторах

Сибирцев Владимир Станиславович

канд. хим. наук, доцент, заведующий лабораторией технологии переработки продуктов биосинтеза, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок, 191014, Россия, г. Санкт-Петербург, Литейный пр., 55, тел.: +7 (904) 601-59-78, e-mail: vs1969r@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0829-5213>

Нечипоренко Ульяна Юрьевна

младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок, 191014, Россия, г. Санкт-Петербург, Литейный пр., 55, e-mail: vs1969r@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4102-1129>

Кабанов Владимир Леонидович

младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок, 191014, Россия, г. Санкт-Петербург, Литейный пр., 55, e-mail: vs1969r@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9085-2984>

Кукин Михаил Юрьевич

канд. техн. наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок, 191014, Россия, г. Санкт-Петербург, Литейный пр., 55, e-mail: vs1969r@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1722-4644>

Information about the authors

Vladimir S. Sibirtsev

Cand.Sci.(Chem.), Associate Professor, Head of the Laboratory of Technology for Processing Biosynthesis Products, All-Russia Research Institute for Food Additives, 55, Liteiny Ave., St. Petersburg, 191014, Russia, phone: +7 (904) 601-59-78, e-mail: vs1969r@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0829-5213>

Uliana Yu. Nechiporenko

Junior Researcher, All-Russia Research Institute for Food Additives, 55, Liteiny Ave., St. Petersburg, 191014, Russia, e-mail: vs1969r@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4102-1129>

Vladimir L. Kabanov

Junior Researcher, All-Russia Research Institute for Food Additives, 55, Liteiny Ave., St. Petersburg, 191014, Russia, e-mail: vs1969r@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9085-2984>

Mikhail Yu. Kukin

Cand.Sci.(Eng.), Research, All-Russia Research Institute for Food Additives, 55, Liteiny Ave., St. Petersburg, 191014, Russia, e-mail: vs1969r@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1722-4644>

Исследование влияния пыльцевых зерен на цвет меда из цветков *Melilotus officinalis* (L.) Pall.

О. В. Голуб*^{ORCID}, Г. П. Чекрыга^{ORCID}, О. К. Мотовилов^{ORCID}



Дата поступления в редакцию: 17.09.2020
Дата принятия в печать: 25.12.2020

Сибирский федеральный научный центр
агробиотехнологий Российской академии наук, Краснообск, Россия

*e-mail: golubiza@rambler.ru



© О. В. Голуб, Г. П. Чекрыга, О. К. Мотовилов, 2020

Аннотация.

Введение. Производство меда натурального поли- и монофлорного в 2019 г. в Сибирском Федеральном округе составляло 8464,06 т за счет Алтайского (45,37 %) и Красноярского (7,8 %) краев, Омской (7,0 %) и Новосибирской (6,3 %) областей. Цвет меда представляет собой одну из основных идентифицирующих характеристик продукции, формирующихся за счет химического состава пыльцевых зерен медоносных растений. Следовательно, исследование цвета меда из нектара цветков *Melilotus officinalis* (L.) Pall. является актуальным.

Объекты и методы исследования. Образцы меда, произведенные из нектара преимущественно цветков *Melilotus officinalis* (L.) Pall., центрифугированные, свежееоткачанные, полученные в 2018 г. на территории Алтайского края. В работе применяли общепринятые и стандартные методы. Оригинальный способ определения доминирующих пыльцевых зерен, основанный на сохранении их морфологических особенностей, не изменяет их пространственного расположения, что позволяет определить их истинное содержание в медах.

Результаты и их обсуждение. Выявлено, что на формирование цвета меда оказывают влияние пыльцевые зерна медоносных растений (образцы): первый – *Melilotus officinalis* (L.) Pall. (84,89 %) > *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn. (1,0 %) > *Convolvulus arvensis* L. (0,97 %) > *Origanum vulgare* (L.) (0,97 %) > *Brassicaceae* Burnett, nom. cons. (11,20 %); второй – *Melilotus officinalis* (L.) Pall. (49,24 %) > *Dracocephalum nutans* L. (7,58 %) > *Trifolium pratense* L. (9,09 %) > *Brassicaceae* Burnett, nom. cons. (18,18 %) > *Sonchus arvensis* L. (2,07 %); третий – *Melilotus officinalis* (L.) Pall. (54,05 %) > *Helianthus annuus* L. (14,87 %) > *Linaria vulgaris* Mill. (2,70 %) > *Arctium tomentosum* Mill. (4,05 %) > *Trifolium repens* L. (8,47 %) > *Brassicaceae* Burnett, nom. cons. (10,81 %). Установлено, что в формировании цвета и повышенной пищевой ценности участвуют флавоноидные соединения (лейкоантоцианы, катехины, флавонолы и пр.) пыльцевых зерен *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Brassicaceae* Burnett, nom. cons. и *Helianthus annuus* L., содержание которых составляет 5,2, 3,1 и 2,8 % соответственно, а также каротиноиды *Trifolium pratense* L., *Trifolium repens* L. и *Origanum vulgare* (L.), содержание которых составляет 50,0, 37,3 и 28,7 мг/кг соответственно.

Выводы. Цвет меда с юга Сибирского федерального округа, производимого медоносными пчелами из нектара цветков *Melilotus officinalis* (L.) Pall., является одним из основных органолептических признаков, которые необходимы при установлении тождественности продукции ботаническому происхождению. Второстепенные пыльцевые зерна медоносных растений, содержащие флавоноидные соединения и каротиноиды, придают различные оттенки основному цвету меда.

Ключевые слова. Мед, *Melilotus* Miil., пыльца, цвет, идентификация, флавоноиды соединения, каротиноиды

Для цитирования: Голуб, О. В. Исследование влияния пыльцевых зерен на цвет меда из цветков *Melilotus officinalis* (L.) Pall. / О. В. Голуб, Г. П. Чекрыга, О. К. Мотовилов // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 660–669. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-660-669>.

Original article

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

Effect of Pollen Grains on the color of Honey from *Melilotus officinalis* (L.) Pall.

Olga V. Golub*^{ORCID}, Galina P. Chekryga^{ORCID}, Oleg K. Motovilov^{ORCID}

Siberian Federal Scientific Center of
Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences,
Krasnoobsk, Russia

Received: September 17, 2020
Accepted: December 25, 2020

*e-mail: golubiza@rambler.ru



© O.V. Golub, G.P. Chekryga, O.K. Motovilov, 2020

Abstract.

Introduction. According to the Federal State Statistics Service, the Siberian Federal district produced 8,464.06 tons of natural poly- and monofloral honey in 2019. The share of the Altai region was 45.37%, Krasnoyarsk region – 7.8%, regions, Omsk – 7.0%, and Novosibirsk – 6.3%. The color of honey is one of the main identifying characteristics of products. It largely depends on the chemical composition of pollen grains of honey plants. Therefore, it is relevant to study the color of honey from the nectar of *Melilotus officinalis* (L.) Pall.

Study objects and methods. The research featured honey samples produced from the nectar of *Melilotus officinalis* (L.) flowers. The honey was centrifuged and pumped in 2018 on the territory of the Altai region. The research involved standard methods, as well as an authentic method for determining the dominant pollen grains. The method was based on preserving the morphological features of pollen grains and did not change their spatial location, thus making it possible to determine their real content in honey.

Results and discussion. The honey color was affected by pollen grains of honey-bearing plants: 1) *Melilotus officinalis* (L.) Pall. (84.89%) > *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn. (1.0%) > *Convolvulus arvensis* L. (0.97%) > *Origanum vulgare* (L.) (0.97%) > *Brassicaceae* Burnett, nom. cons. (11.20%); 2) *Melilotus officinalis* (L.) Pall. (49.24%) > *Dracocephalum nutans* L. (7.58%) > *Trifolium pratense* L. (9.09%) > *Brassicaceae* Burnett, nom. cons. (18.18%) > *Sonchus arvensis* L. (2.07%); 3) *Melilotus officinalis* (L.) Pall. (54.05%) > *Helianthus annuus* L. (14.87%) > *Linaria vulgaris* Mill. (2.70%) > *Arctium tomentosum* Mill. (4.05%) > *Trifolium repens* L. (8.47%) > *Brassicaceae* Burnett, nom. cons. (10.81%). Color and nutritional value depended mostly on two factors. The first factor was represented by flavonoid compounds (leucoanthocyanins, catechins, flavonols, etc.) of pollen grains of *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Brassicaceae* Burnett, nom. cons., and *Helianthus annuus* L. Their contents were 5.2, 3.1, and 2.8%, respectively. The other factor involved carotenoids – *Trifolium pratense* L., *Trifolium repens* L. and *Origanum vulgare* (L.). Their contents were 50.0, 37.3, and 28.7 mg/kg, respectively.

Conclusion. The research featured honey from the flowers of *Melilotus officinalis* (L.) Pall. obtained from the South of the Siberian Federal District. Its color proved to be one of the main sensory properties necessary for establishing the botanical profile of the plants. The color depended on the secondary pollen grains of honey plants, containing flavonoid compounds and carotenoids.

Keywords. Honey, *Melilotus* Miil., pollen, color, identification, flavonoid compositions, carotenoids

For citation: Golub OV, Chekryga GP, Motovilov OK. Effect of Pollen Grains on the color of Honey from *Melilotus officinalis* (L.) Pall. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(4):660–669. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-660-669>.

Введение

Согласно данным Федеральной службы государственной статистики производство меда на территории Российской Федерации в последние пять лет снижается: с 67119,15 т в 2015 г. до 63526,33 т в 2019 г. Доля Сибирского федерального округа в объеме производства составляет не менее 13,0 % за счет продукции Алтайского края (не менее 45 %).

Согласно ГОСТ 25629-2014 «Пчеловодство. Термины и определения» мед натуральный представляет собой природный сладкий продукт питания, производимый пчелами из нектара растений. Мед – это сложная смесь питательных и биологически активных соединений (углеводов, ферментов, аминокислот и пр.), которые обуславливают его высокую пищевую, органолептическую и физиологическую ценности [1, 2]. Например, польскими учеными исследованы факторы, ответственные за биоактивность гречишного меда. Установлено, что антибактериальная активность достоверно коррелирует с антиоксидантной активностью и фенольными соединениями (кверцетин, рутин, хлорогеновая кислота и кофейная кислота) [3].

Качество меда изменчиво и зависит от его ботанического происхождения, сезонных и климатических условий, режимов хранения и прочего [4–9]. Например, в результате исследований выявлено, что мед, произведенный в четырех географических районах Алжира, в своем составе

содержит 104 типа пыльцы, принадлежащей к 51 ботаническому семейству, в том числе обычных медоносов в Средиземноморье: *Eucalyptus*, *Brassica napus*, *Hedysarum* и *Citrus*, но и представителей страны: *Capparis spinosa*, *Asparagus*, *Tamarix*, *Ziziphus lotus*, *Apiaceae* (*Eryngium*, *Thapsia*, *Pimpinella*) и *Acacia*. Они могут быть полезны в качестве маркеров при определении подлинности [10]. Стоит отметить, что во многих странах мира разрабатываются различные законодательные способы доведения до потребителей объективной информации о качестве меда, в том числе в зависимости от его происхождения. Например, с помощью этикеток [11].

Цвет меда является первым качественным показателем, оцениваемым заинтересованными сторонами, в том числе потребителями. Данный показатель зависит, по результатам многочисленных исследований, от химического состава пыльцевых зерен медоносных растений, которые содержат полифенолы, минеральные вещества, сахара, аминокислоты, а также от условий обработки, транспортирования и хранения [12, 13]. Цветовой спектр меда может распространяться от бесцветного (светлого) до янтарно-желтого или черного [13]. Например, испанскими учеными проведены исследования образцов меда из ежевики, сладкого каштана, эвкалипта, вереска и пади. В результате установлено, что образцы обладают разным цветовым диапазоном, который может помочь предсказать ботаническое происхождение, являясь альтернативой

длительному палинологическому анализу, выполняемому только профессионалами [14]. Стоит отметить, что при реализации меда на международном рынке цвет играет немаловажное значение и оказывает непосредственное влияние на его цену. Например, Европа предпочитает продукцию более темного цвета с ярко выраженным вкусом, в то время как Северная Америка – светлого цвета с менее интенсивным вкусом [13, 15]. В настоящее время часто используют методы определения цвета меда, основанные на субъективной оценке (органолептические), а также применение методик оптического сравнения с помощью колориметра Пфунда или с помощью йодных растворов. При этом исследования по разработке или совершенствованию методов оценки качественных характеристик меда проводятся постоянно [13].

В настоящее время разработан межгосударственный стандарт ГОСТ 31766-2012 «Меды монофлорные. Технические условия», в котором представлены «...отличительные органолептические и физико-химические показатели, а также содержание доминирующих пыльцевых зерен трех видов монофлорного меда: гречишного, липового и подсолнечникового...» для «...повышения их качества, защиты отечественных производителей, а также объективной информации о ботаническом происхождении медов...». Ботаническое происхождение и состав нектара определяет различие органолептических характеристик медов [14]. Например, бразильскими учеными проведены исследования ароматического профиля шести монофлорных медов, произведенных пчелами без жала. Мед из *Ziziphus juazeiro* Mart (juazeiro) выделялся сильным характерным ароматом, сладким вкусом и карамельным привкусом; мед из *Mimosa arenosa* willd Poir (jurema branca) характеризовался ароматом трав и пчелиного воска, тонами соединений серы и кетонов; мед из *Croton heliotropiifolius* Kunth (velame branco) отличался ароматом гвоздики, кисловатым вкусом с травянистым оттенком [16].

На территории Сибирского федерального округа широко распространен донник (*Melilotus* Miil.), представляющий собой род травянистых двулетников семейства бобовых подсемейства мотыльковых.

К данному роду относятся донник белый (*Melilotus albus* Medik.) и донник желтый (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.), имеющие промышленное значение. Они используются в сельскохозяйственной, фармацевтической, пищевой, парфюмерной и других отраслях [17–19]. Однако, несмотря на то, что в торговой сети распространен мед из донника, который специалисты считают «ценным продуктом пчеловодства», идентифицирующие признаки данной продукции, в частности органолептические, отсутствуют [20, 21].

На основании вышесказанного сформирована цель исследования – определение цвета меда как одного из отличительных показателей качества, производимого медоносными пчелами из нектара преимущественно с цветков *Melilotus officinalis* (L.) Pall. с юга Сибирского федерального округа.

Объекты и методы исследования

Объект исследования – образцы меда, производимого медоносными пчелами из нектара преимущественно цветков донника желтого (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.), центрифугированные, свежееоткачанные. Образцы получены с индивидуальных хозяйств пчеловодов в 2018 г. на территории Алтайского края: образцы № 1 и № 2 – Солтонский район; образец № 3 – Завьяловский район.

Исследуемые образцы меда соответствовали требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и ГОСТ 19792-2017 «Мед натуральный. Технические условия» по регламентируемым физико-химическим показателям качества, в том числе безопасности, и по сопроводительным документам.

В таблице 1 представлены результаты испытаний органолептических характеристик образцов меда.

Определение внешнего вида, аромата и вкуса меда осуществляли органолептически по ГОСТ 19792-2017.

Определение доминирующих пыльцевых зерен в меде осуществляли разработанным нами способом установления ботанического происхождения меда.

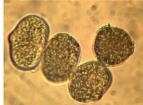
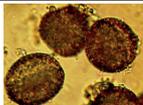
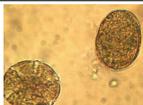
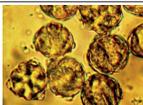
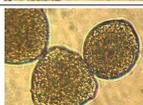
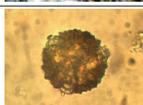
Таблица 1. Органолептические характеристики меда

Table 1. Sensory profile of honey

Показатель	Характеристика		
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Внешний вид (консистенция)	Мелкозернистая, вязкая масса	Мелкозернистая, жидкая масса	Мелкозернистая, вязкая масса
Цвет	Темно-желтый	Темно-желтый с зеленоватым оттенком	Желто-зеленый
Аромат	Приятный, горьковатый, свойственный цветам донника	Насыщенный, горьковатый, свойственный цветам донника	Насыщенный, горьковатый, свойственный цветам донника
Вкус	Слабовыраженный, сладкий, приятный, с терпким привкусом	Не выраженный, сладкий	Не выраженный, сладкий

Таблица 2. Морфология доминирующих пыльцевых зерен медоносных растений, исследуемых образцов медов

Table 2. Morphology of dominant pollen grains of honey-bearing plants in the samples

Ботаническое происхождение пыльцевых зерен*		Характеристика
Донник желтый (<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.)		Тип: равнополярные, трехбороздно-оровые. Форма: вытянутая. Экваториальная проекция: эллиптическая 16,57 ± 0,96 м. Полярная: округлая 22,49 ± 0,89 м. Экзина: мелкосетчатая
Вьюнок полевой (<i>Convolvulus arvensis</i> L.)		Тип: равнополярные, трехбороздно-оровые. Форма: сплюснуто-сфероидальная. Экваториальная проекция: округлая 30,06 ± 0,75 м. Полярная: округлая-трехлопастная 33,84 ± 0,53 м. Экзина: зернистая
Гречиха татарская (<i>Fagopyrum tataricum</i> (L.) Gaertn.)		Тип: равнополярные, трехбороздно-оровые. Форма: вытянутая. Экваториальная проекция: эллиптическая 47,10 ± 0,77 м. Полярная: округлая 53,30 ± 0,92 м. Экзина: сетчатая
Душица обыкновенная (<i>Origanum vulgare</i> L.)		Тип: равнополярные, шестибороздные. Форма: сплюснуто-сфероидальная. Экваториальная проекция: эллиптическая 29,41 ± 0,31 м. Полярная: округло-шестилопастная 24,70 ± 0,19 м. Экзина: ямчатая
Змееголовник поникший (<i>Dracocephalum nutans</i> L.)		Тип: равнополярные, трехбороздно-оровые. Форма: сфероидальная. Экваториальная проекция: округло-эллиптическая 29,70 ± 0,80 м. Полярная: округло-треугольная 32,87 ± 0,63 м. Экзина: сетчатая
Клевер белый (<i>Trifolium repens</i> L.)		Тип: равнополярные, трехбороздно-оровые. Форма: вытянутая. Экваториальная проекция: эллиптическая 18,53 ± 0,75 м. Полярная: округлая-треугольная 21,75 ± 0,74 м. Экзина: сетчатая
Клевер луговой (<i>Trifolium pratense</i> L.)		Тип: равнополярные, трехбороздно-оровые. Форма: вытянутая. Экваториальная проекция: эллиптическая 27,94 ± 0,47 м. Полярная: округлая-треугольная 29,47 ± 0,81 м. Экзина: крупно-сетчатая
Купырь лесной (<i>Anthriscus silvestris</i> L. (Hoffm.))		Тип: равнополярные, трехбороздно-оровые. Форма: вытянутая. Экваториальная проекция: эллиптическая 26,10 ± 0,73 м. Полярная: округлая 13,30 ± 0,30 м. Экзина: мелкобугорчатая
Лопух войлочный (<i>Arctium tomentosum</i> Mill.)		Тип: равнополярные, трехбороздно-оровые. Форма: вытянутая. Экваториальная проекция: эллиптическая 27,25 ± 0,61 м. Полярная: трехлопастная 29,26 ± 0,31 м. Экзина: шиповатая
Льнянка обыкновенная (<i>Linaria vulgaris</i> Mill.)		Тип: равнополярные, трехбороздно-оровые. Форма: сфероидальная. Экваториальная проекция: округлая 13,53 ± 0,68 м. Полярная: округлая 14,64 ± 0,73 м. Экзина: мелкосетчатая
Молочай (<i>Euphorbia</i> L.)		Тип: равнополярные, трехбороздно-оровые. Форма: сплюснуто-сфероидальная. Экваториальная проекция: округлая 37,10 ± 0,54 м. Полярная: округлая 36,70 ± 0,23 м. Экзина: ямчатая
Осот полевой (<i>Sonchus arvensis</i> L.)		Тип: равнополярные, трехбороздно-оровые. Форма: сплюснуто-сфероидальная. Экваториальная проекция: округлая 35,90 ± 0,11 м. Полярная: шестиугольная 32,50 ± 0,61 м. Экзина: шиповато-гребенчатая
Подсолнечник однолетний (<i>Helianthus annuus</i> L.)		Тип: равнополярные, трехбороздно-оровые. Форма: сфероидальная. Экваториальная проекция: округлая. Полярная: округлая-трехлопастная 39,10 ± 0,33 м. Экзина: шиповатая
Сем. Крестоцветные (<i>Brassicaceae</i> Burnett, nom. cons.)		Тип: равнополярные, трехбороздные. Форма: вытянутая. Экваториальная проекция: эллиптическая 25,10 ± 0,09 м. Полярная: округло-трехлопастная 21,70 ± 0,12 м. Экзина: сетчатая
Синяк обыкновенный (<i>Echium vulgare</i> L.)		Тип: гетерополярные, трехбороздно-оровые. Форма: вытянутая. Экваториальная проекция: грушевидная 10,00 ± 0,37 м. Полярная: округлая 11,97 ± 0,50 м. Экзина: сетчатая

*Фотографии пыльцевых зерен медоносных растений выполнены фотоаппаратом Canon камера Power Shot SD750 при увеличении (×400+4,5)

Таблица 3. Цвет меда, производимого медоносными пчелами из нектара преимущественно цветков донника желтого (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.)Table 3. Color of honey produced by honeybees from the nectar of yellow sweet clover (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.)

Образец	Пыльцевые зерна		
	растение	%	цвет меда
1 	Донник желтый (<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.)	84,89	желтый
	Вьюнок полевой (<i>Convolvulus arvensis</i> L.)	0,97	оранжевый
	Гречиха татарская (<i>Fagopyrum tataricum</i> (L.) Gaertn.)	1,00	коричневый
	Душица обыкновенная (<i>Origanum vulgare</i> L.)	0,97	оранжевый
	Сем. Крестоцветные (<i>Brassicaceae</i> Burnett, nom. cons.)	11,20	желтый
	Клевер белый (<i>Trifolium repens</i> L.)	0,97	желтый
2 	Донник желтый (<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.)	49,24	желтый
	Сем. Крестоцветные (<i>Brassicaceae</i> Burnett, nom. cons.)	18,18	оранжевый
	Молочай (<i>Euphorbia</i> L.)	3,79	желтый
	Змееголовник поникший (<i>Dracocephalum nutans</i> L.)	7,58	коричневый
	Купырь лесной (<i>Anthriscus silvestris</i> (L.) Hoffm.)	6,06	желтый
	Осот полевой (<i>Sonchus arvensis</i> L.)	2,07	оранжевый
	Синяк обыкновенный (<i>Echium vulgare</i> L.)	3,79	желтый
	Клевер луговой (<i>Trifolium pratense</i> L.)	9,09	оранжевый
3 	Донник желтый (<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.)	54,05	желтый
	Льнянка обыкновенная (<i>Linaria vulgaris</i> Mill.)	2,70	оранжевый
	Подсолнечник однолетний (<i>Helianthus annuus</i> L.)	14,87	зеленый
	Сем. Крестоцветные (<i>Brassicaceae</i> Burnett, nom. cons.)	10,81	желтый
	Лопух войлочный (<i>Arctium tomentosum</i> Mill.)	4,05	зеленый
	Купырь лесной (<i>Anthriscus silvestris</i> (L.) Hoffm.)	4,05	желтый
	Клевер белый (<i>Trifolium repens</i> L.)	8,47	желтый

Способ предусматривает исследование структурных особенностей пыльцевых зерен под микроскопом при увеличении $\times 400$ взятого из образца свежего центробежного меда объемом не менее 200 см³ [22].

Определение цвета меда осуществляли согласно ГОСТ 31766-2012 визуально в проходящем свете.

Содержание флавоноидных соединений в меде определяли по ГОСТ Р 55312-2012 «Прополис. Метод определения флавоноидных соединений».

Содержание в меде каротиноидов определяли согласно ГОСТ Р 54058-2010 «Продукты пищевые специализированные и функциональные. Метод определения каротиноидов».

При проведении исследований меда использовали микроскоп Микромед 2 (Россия), испаритель ротационный вакуумный «КА RV 8 S99» (Германия), спектрофотометр «КФК-2» (Россия), гомогенизатор «HG-15F-Set» (Корея) и центрифугу «Thermo Fisher» (Германия).

Результаты и их обсуждение

На формирование органолептических характеристик меда оказывают влияние пыльцевые зерна медоносных растений, которые зависят от ботанического и географического происхожде-

ния [14]. В таблице 2 представлены результаты собственных исследований морфологии доминирующих пыльцевых зерен медоносных растений, которые оказывают влияние на формирование качественных характеристик, в том числе цвета, меда, собираемого в Алтайском крае.

В таблице 3 представлены результаты исследований содержания пыльцевых зерен медоносных растений, формирующих цвет меда, количество которых превышало 0,9 %.

Из данных таблицы 3 видно, что, несмотря на преобладание во всех исследуемых образцах меда пыльцевых зерен донника желтого (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.) и обеспечение продукции желтый цвет, оттенки продукции формируются за счет других пыльцевых зерен медоносных растений:

– у первого образца – гречихи татарской (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.), вьюнка полевого (*Convolvulus arvensis* L.), душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.), сем. Крестоцветных (*Brassicaceae* Burnett, nom. cons.);

– у второго образца – змееголовника поникшего (*Dracocephalum nutans* L.), клевера лугового (*Trifolium pratense* L.), сем. Крестоцветных (*Brassicaceae* Burnett, nom. cons.), осота полевого (*Sonchus arvensis* L.);

Таблица 4. Содержание флавоноидных соединений в пыльцевых зернах медоносных растений

Table 4. Content of flavonoid compounds in pollen grains of honey plants

Ботаническое происхождение пыльцевых зерен	Массовая доля флавоноидных соединений, %			
	x	x _{max}	x _{min}	C _v , %
Донник желтый (<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.)	5,2	5,3	5,1	2,2
Душица обыкновенная (<i>Origanum vulgare</i> L.)	1,9	2,0	1,8	6,9
Клевер белый (<i>Trifolium repens</i> L.)	1,5	1,7	1,3	13,3
Клевер луговой (<i>Trifolium pratense</i> L.)	1,2	1,3	1,2	3,3
Купырь лесной (<i>Anthriscus silvestris</i> (L.) Hoffm.)	1,6	1,7	1,5	5,6
Лопух войлочный (<i>Arctium tomentosum</i> Mill.)	0,7	0,7	0,7	0,0
Подсолнечник однолетний (<i>Helianthus annuus</i> L.)	2,8	2,9	2,8	2,0
Сем. Крестоцветные (<i>Brassicaceae</i> Burnett, nom. cons.)	3,1	3,2	3,0	3,2
Синяк обыкновенный (<i>Echium vulgare</i> L.)	1,6	1,6	1,6	0,0

Таблица 5. Содержание каротиноидов в пыльцевых зернах медоносных растений

Table 5. Content of carotenoids in pollen grains of honey-bearing plants

Ботаническое происхождение пыльцевых зерен	Массовая концентрация каротиноидов, мг/кг			
	x	x _{max}	x _{min}	C _v , %
Донник желтый (<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.)	20,3	23,1	18,7	11,8
Душица обыкновенная (<i>Origanum vulgare</i> L.)	28,7	39,2	23,1	31,6
Клевер белый (<i>Trifolium repens</i> L.)	37,3	43,1	28,8	20,1
Клевер луговой (<i>Trifolium pratense</i> L.)	50,0	56,9	45,1	12,3
Купырь лесной (<i>Anthriscus silvestris</i> (L.) Hoffm.)	2,7	3,0	2,4	11,5
Лопух войлочный (<i>Arctium tomentosum</i> Mill.)	1,4	1,7	1,2	17,6
Подсолнечник однолетний (<i>Helianthus annuus</i> L.)	1,7	1,7	1,7	0,7
Сем. Крестоцветные (<i>Brassicaceae</i> Burnett, nom. cons.)	13,0	14,0	11,9	8,1

– у третьего образца – подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus* L.), льянки обыкновенной (*Linaria vulgaris* Mill.), лопуха войлочного (*Arctium tomentosum* Mill.), клевера белого (*Trifolium repens* L.), сем. Крестоцветных (*Brassicaceae* Burnett, nom. cons.).

В таблицах 4 и 5 представлено содержание флавоноидных соединений и каротиноидов

Таблица 6. Органолептические характеристики меда с донника желтого (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.)

Table 6. Sensory properties of honey from yellow sweet clover (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.)

Показатель	Характеристика/значение показателя
Внешний вид (консистенция)	Мелкозернистая, вязкая масса
Цвет	Насыщенно-янтарный
Аромат	Приятный, горьковатый, свойственный цветам донника
Вкус	Сладкий, приятный, с терпким привкусом
Содержание пыльцевых зерен, %:	
– донник желтый (<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.)	97,02
– сем. Крестоцветные (<i>Brassicaceae</i> Burnett, nom. cons.)	1,19



(а) свежееоткаченный



(б) после 6 месяцев хранения при температуре 14 ± 2 °С

Рисунок 1. Цвет «эталона» меда из цветков донника желтого (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.)

Figure 1. Color of the standard honey from the flowers of yellow sweet clover (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.)

в пыльцевых зернах медоносных растений, которые оказывают непосредственное участие в формировании качественных характеристик и физиологической ценности исследуемых образцов меда [1, 15, 23].

Из данных таблицы 4 видно, что наибольшее количество флавоноидных соединений (лейкоантоцианы, катехины, флавонолы и пр.) обеспечивают пыльцевые зерна цветков донника желтого (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.), сем. Крестоцветных (*Brassicaceae* Burnett, nom. cons.) и подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus* L.).

Данные таблицы 5 свидетельствуют о том, что наибольшее количество каротиноидов содержится в пыльцевых зернах клеверов лугового (*Trifolium pratense* L.) и белого (*Trifolium repens* L.), душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.).

Таким образом, на основании собственных многолетних исследований определены органо-

лептические характеристики меда донникового с юга Сибирского федерального округа, который считаем «эталоном» (табл. 6). Стоит отметить, что мед из нектара цветков донника желтого (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.) кристаллизуется довольно быстро (в течение полугода) из-за повышенного содержания глюкозы (в среднем 52 %), приобретая светлый оттенок. На рисунке 1 представлены цвета «эталона» меда из цветков донника желтого (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.).

Выводы

На основании проведенных исследований определены идентификационные органолептические характеристики меда с юга Сибирского федерального округа, производимого медоносными пчелами из нектара цветков донника желтого (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.). Они могут быть использованы при проведении процедуры установления соответствия продукции заявленному наименованию ботанического происхождения, указанного в маркировке и/или в сопроводительной

документации. Оказывают непосредственное участие на формирование оттенков основного цвета меда второстепенные пыльцевые зерна медоносных растений, содержащие красящие вещества.

Критерии авторства

О. В. Голуб руководила работой. Все авторы принимали участие в исследованиях, обработке данных и написании текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

O.V. Golub supervised the research. All the authors were equally involved in the research, data analysis, and writing the final manuscript.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Chemical analysis and cytotoxic and cytostatic effects of twelve honey samples collected from different regions in Morocco and Palestine / H. Imtara, A. Kmail, S. Touzani [et al.] // *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*. – 2019. – Vol. 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/8768210>.
2. Monofloral honey from a medical plant, *Prunella Vulgaris*, protected against dextran sulfate sodium-induced ulcerative colitis via modulating gut microbial populations in rats / K. Wang, Z. Wan, A. Ou [et al.] // *Food and Function*. – 2019. – Vol. 10, № 7. – P. 3828–3838. <https://doi.org/10.1039/C9FO00460B>.
3. Physicochemical quality parameters, antibacterial properties and cellular antioxidant activity of Polish buckwheat honey / M. Dżugan, D. Grabek-Lejko, S. Swacha [et al.] // *Food Bioscience*. – 2020. – Vol. 34. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100538>.
4. Брагин, Н. И. О качестве Кузбасского меда / Н. И. Брагин // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2016. – Т. 145, № 11. – С. 155–158.
5. Минеральное содержимое пчелиного меда, собранного в экологически безопасной зоне Западной Сибири / В. Г. Кашковский, Д. В. Кропачев, Д. Г. Губарева [и др.] // *Инновации и продовольственная безопасность*. – 2018. – Т. 22, № 4. – С. 17–21.
6. Kurtagic, H. Determination of type of honey produced in the different climatic regions of Bosnia and Herzegovina / H. Kurtagic, M. Memić, S. Barudanovic // *International Journal of Environmental Science and Technology*. – 2016. – Vol. 13, № 11. – P. 2721–2730. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1101-5>.
7. Volatile profile and physico-chemical analysis of *Acacia* honey for geographical origin and nutritional value determination / M. N. Mădaş, L. A. Mărghitaş, D. S. Dezmirean [et al.] // *Foods*. – 2019. – Vol. 8, № 10. <https://doi.org/10.3390/foods8100445>.
8. Quality characteristics of honey: a review / T. Pavlova, V. Stamatovska, T. Kalevska [et al.] // *Proceedings of University of Ruse*. – 2018. – Vol. 57, № 10.2. – P. 32–37.
9. Differentiation of oak honeydew and chestnut honeys from the same geographical origin using chemometric methods / M. S. Rodríguez-Flores, O. Escuredo, M. Míguez [et al.] // *Food Chemistry*. – 2019. – Vol. 297. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124979>.
10. Botanical origin, pollen profile, and physicochemical properties of Algerian honey from different bioclimatic areas / M. Homrani, O. Escuredo, M. S. Rodríguez-Flores [et al.] // *Foods*. – 2020. – Vol. 9, № 7. <https://doi.org/10.3390/foods9070938>.
11. Labeling regulations and quality control of honey origin: A review / M. N. Mădaş, L. A. Mărghitaş, D. S. Dezmirean [et al.] // *Food Reviews International*. – 2020. – Vol. 36, № 3. – P. 215–240. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1636063>.
12. Unlocking *Phacelia tanacetifolia* Benth. honey characterization through melissopalynological analysis, color determination and volatiles chemical profiling / P. M. Kuš, I. Jerković, Z. Marijanović [et al.] // *Food Research International*. – 2018. – Vol. 106. – P. 243–253. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.065>.
13. Colour identification of honey and methodical development of its instrumental measuring / R. T. Szabó, M. Mézes, T. Szalai [et al.] // *Columella – Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. – 2016. – Vol. 3, № 1. – P. 29–36. <https://doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2016.3.1.29>.

14. Contribution to the chromatic characterization of unifloral honeys from Galicia (NW Spain) / O. Escuredo, M. S. Rodríguez-Flores, S. Rojo-Martínez [et al.] // *Foods*. – 2019. – Vol. 8, № 7. <https://doi.org/10.3390/foods8070233>.
15. Color, flavonoids, phenolics and antioxidants of Omani honey / M. Al-Farsi, A. Al-Amri, A. Al-Hadhrami [et al.] // *Heliyon*. – 2018. – Vol. 4, № 10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00874>.
16. Sensory and volatile profiles of monofloral honeys produced by native stingless bees of the Brazilian semi-arid region / A. C. V. da Costa, J. M. B. Sousa, M. A. A. P. da Silva [et al.] // *Food Research International*. – 2018. – Vol. 105. – P. 110–120. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.043>.
17. Посажеников, С. Н. Фитосанитарное и экономическое обоснование возделывания донника желтого в южной лесостепи Новосибирской области / С. Н. Посажеников, Е. Ю. Торопова, О. А. Казакова // *Вестник НГАУ*. – 2018. – Т. 49, № 4. – С. 43–49. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2018-49-4-43-49>.
18. Савин, А. П. Донник белый в смеси с двулетними энтомофильными культурами / А. П. Савин, Н. А. Гудимова // *Пчеловодство*. – 2016. – № 8. – С. 27–29.
19. Чекрыга, Г. П. Характеристика основных медоносов Западной Сибири по пыльцевой обложке, собранной *Apis mellifera* / Г. П. Чекрыга, А. А. Плахова. – Новосибирск : Арал, 2018. – 156 с.
20. Донниковый мед – ценный продукт пчеловодства / Л. А. Бурмистрова, Т. М. Русакова, В. М. Мартынова [и др.] // *Пчеловодство*. – 2017. – № 7. – С. 46–47.
21. Определение содержания селена и его антагонистов в донниковом меде / Г. Г. Козлова, А. С. Михайлова, С. А. Онина [и др.] // *Безопасность жизнедеятельности*. – 2019. – Т. 227, № 11. – С. 56–57.
22. Пат. 2717539С1 Российская Федерация, G01N33/02, G01N21/00, G01N1/28. Способ определения ботанического происхождения меда / Чекрыга Г. П., Нициевская К. Н., Плахова А. А.; заявитель и патентообладатель ФГБУН «Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук». – № 2019110713; заявл. 04.10.2019; опубл. 23.03.2020; Бюл. № 9. – 9 с.
23. Макарова, Н. В. Изучение возможности использования разных видов меда в качестве антиоксиданта / Н. В. Макарова, Д. Ф. Игнатова // *Инновации и продовольственная безопасность*. – 2019. – Т. 26, № 4. – С. 24–30. <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2019-26-4-24-30>.

References

1. Imtara H, Kmail A, Touzani S, Khader M, Hamarshi H, Saad B, et al. Chemical analysis and cytotoxic and cytostatic effects of twelve honey samples collected from different regions in Morocco and Palestine. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*. 2019;2019. <https://doi.org/10.1155/2019/8768210>.
2. Wang K, Wan Z, Ou A, Liang X, Guo X, Zhang Z, et al. Monofloral honey from a medical plant, *Prunella Vulgaris*, protected against dextran sulfate sodium-induced ulcerative colitis *via* modulating gut microbial populations in rats. *Food and Function*. 2019;10(7):3828–3838. <https://doi.org/10.1039/C9FO00460B>.
3. Dżugan M, Grabek-Lejko D, Swacha S, Tomczyk M, Bednarska S, Kapusta I. Physicochemical quality parameters, antibacterial properties and cellular antioxidant activity of Polish buckwheat honey. *Food Bioscience*. 2020;34. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100538>.
4. Bragin NI. About the quality of Kuzbass honey. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2016;145(11):155–158. (In Russ.).
5. Kashkovsky VG, Kropachev DV, Gubareva DG, Chervova ED. Mineral content of honey harvested in ecologically safe area of Western Siberia. *Innovations and Food Safety*. 2018;22(4):17–21. (In Russ.).
6. Kurtagic H, Memić M, Barudanovic S. Determination of type of honey produced in the different climatic regions of Bosnia and Herzegovina. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2016;13(11):2721–2730. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1101-5>.
7. Mădaş MN, Mărghitaş LA, Dezmirean DS, Bonta V, Bobis O, Fauconnier ML, et al. Volatile profile and physico-chemical analysis of *Acacia* honey for geographical origin and nutritional value determination. *Foods*. 2019;8(10). <https://doi.org/10.3390/foods8100445>.
8. Pavlova T, Stamatovska V, Kalevska T, Dimov I, Nakov G. Quality characteristics of honey: a review. *Proceedings of University of Ruse*. 2018;57(10.2):32–37.
9. Rodríguez-Flores MS, Escuredo O, Míguez M, Seijo MC. Differentiation of oak honeydew and chestnut honeys from the same geographical origin using chemometric methods. *Food Chemistry*. 2019;297. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124979>.
10. Homrani M, Escuredo O, Rodríguez-Flores MS, Fatiha D, Mohammed B, Homrani A, et al. Botanical origin, pollen profile, and physicochemical properties of Algerian honey from different bioclimatic areas. *Foods*. 2020;9(7). <https://doi.org/10.3390/foods9070938>.
11. Mădaş MN, Mărghitaş LA, Dezmirean DS, Bobis O, Abbas O, Danthine S, et al. Labeling regulations and quality control of honey origin: A review. *Food Reviews International*. 2020;36(3):215–240. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1636063>.

12. Kuś PM, Jerković I, Marijanović Z, Kranjac M, Tuberoso CIG. Unlocking *Phacelia tanacetifolia* Benth. honey characterization through melissopalynological analysis, color determination and volatiles chemical profiling. *Food Research International*. 2018;106:243–253. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.065>.
13. Szabó RT, Mézes M, Szalai T, Zajác E, Weber M. Colour identification of honey and methodical development of its instrumental measuring. *Columella – Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 2016;3(1):29–36. <https://doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2016.3.1.29>.
14. Escuredo O, Rodríguez-Flores MS, Rojo-Martínez S, Seijo MC. Contribution to the chromatic characterization of unifloral honeys from Galicia (NW Spain). *Foods*. 2019;8(7). <https://doi.org/10.3390/foods8070233>.
15. Al-Farsi M, Al-Amri A, Al-Hadhrami A, Al-Belushi S. Color, flavonoids, phenolics and antioxidants of Omani honey. *Heliyon*. 2018;4(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00874>.
16. da Costa ACV, Sousa JMB, da Silva MAAP, Garruti DDS, Madruga MS. Sensory and volatile profiles of monofloral honeys produced by native stingless bees of the Brazilian semiarid region. *Food Research International*. 2018;105:110–120. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.043>.
17. Posazhennikov SN, Toropova Elu, Kazakova OA. Phytosanitary and economic foundations of melilot in the southern forest-steppe of Novosibirsk region. *Bulletin of NSAU*. 2018;49(4):43–49. (In Russ.). <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2018-49-4-43-49>.
18. Savin AP, Gudimova NA. Melilotus albus in mixture with biennial entomophilous crops. *Pchelovodstvo*. 2016;(8):27–29. (In Russ.).
19. Chekryga GP, Plakhova AA. Kharakteristika osnovnykh medonosov Zapadnoy Sibiri po pyl'tsevoy obnozhke, sobrannoy Apis mellifera [Characteristics of the main honey plants of Western Siberia based on pollen collected by Apis mellifera]. Novosibirsk: Areal; 2018. 156 p. (In Russ.).
20. Burmistrova LA, Rusakova TM, Martynova VM, Lapynina EP, Lvova EV, Stepanseva GK. Sweet clover honey is a valuable beekeeping product. *Pchelovodstvo*. 2017;(7):46–47. (In Russ.).
21. Kozlova GG, Mikhailova AS, Onina SA, Kozlov VG. Determination of the content of selenium and its antagonists in a sweet-clover honey. *Life Safety*. 2019;227(11):56–57. (In Russ.).
22. Chekryga GP, Nitsievskaya KN, Plakhova AA. Method for determining botanical origin of honey. Russia patent RU 2717539C1. 2020.
23. Makarova NV, Ignatova DF. Studying the possibility of using different types of honey as antioxidant. *Innovations and Food Safety*. 2019;26(4):24–30. (In Russ.). <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2019-26-4-24-30>.

Сведения об авторах

Голуб Ольга Валентиновна

д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела научных направлений комплексной переработки сельскохозяйственного сырья Сибирского научно-исследовательского и технологического института переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, 630501, Россия, р.п. Краснообск, тел.: +7 (909) 529-30-11, e-mail: golubiza@rambler.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2561-9953>

Чекрыга Галина Петровна

канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник отдела научных направлений комплексной переработки сельскохозяйственного сырья Сибирского научно-исследовательского и технологического института переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, 630501, Россия, р.п. Краснообск, тел.: +7 (913) 394-14-42, e-mail: niip56@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3756-1798>

Information about the authors

Olga V. Golub

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Chief Researcher of the Department of Scientific Directions of Complex Processing of Agricultural Raw Materials of the Siberian Research and Technological Institute of Agricultural Products Processing, Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, 630501, Russia, phone: +7 (909) 529-30-11, e-mail: golubiza@rambler.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2561-9953>

Galina P. Chekryga

Cand.Sci.(Bio.), Leading Researcher of the Department of Scientific Directions of Complex Processing of Agricultural Raw Materials of the Siberian Research and Technological Institute of Agricultural Products Processing, Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, 630501, Russia, phone: +7 (913) 394-14-42, e-mail: niip56@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3756-1798>

Мотовилов Олег Константинович

д-р техн. наук, доцент, главный научный сотрудник отдела научных направлений комплексной переработки сельскохозяйственного сырья Сибирского научно-исследовательского и технологического института переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, 630501, Россия, р.п. Краснообск, тел.: +7 (913) 474-32-29, e-mail: ol_mot@ngs.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2298-3549>

Oleg K. Motovilov

Dr.Sci.(Eng.), Associate Professor, Chief Researcher of the Department of Scientific Directions of Complex Processing of Agricultural Raw Materials of the Siberian Research and Technological Institute of Agricultural Products Processing, Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, 630501, Russia, phone: +7 (913) 474-32-29, e-mail: ol_mot@ngs.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2298-3549>

Исследования биохимических и микроструктурных особенностей щитовидной железы баранчиков специального откорма

Т. М. Гиро¹, А. В. Куликовский^{1,*}, А. С. Князева²,
И. Ю. Домницкий¹, А. В. Гиро¹



¹ Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова^{ROR},
Саратов, Россия

² Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова,
Москва, Россия

Дата поступления в редакцию: 23.09.2020

Дата принятия в печать: 25.12.2020

*e-mail: a.kulikovskii@fnpcs.ru



© Т. М. Гиро, А. В. Куликовский, А. С. Князева, И. Ю. Домницкий, А. В. Гиро, 2020

Аннотация.

Введение. Настоящая статья посвящена изучению биохимических и микроструктурных особенностей щитовидной железы баранчиков, выращенных с использованием рационов, обогащенных эссенциальными элементами. Представлена характеристика важнейшего физиологически активного микроэлемента – йода, используемого для синтеза гормонов щитовидной железы – тироксина и трийодтиронина, играющих важную роль в регуляции метаболических процессов.

Объекты и методы исследования. Щитовидная железа от ягнят эдильбаевской породы в возрасте 7 месяцев, получавших кормовые добавки «Йоддар-Zn» и «ДАФС-25», обогащенные белково-углеводным комплексом и минеральной подкормкой «Коретрон», содержащие в своем составе органические источники микроэлементов и минералов (йода, селена, кремния). Для проведения опыта были сформированы четыре группы ягнят эдильбаевской породы по 10 голов в каждой.

Результаты и их обсуждение. Выявлены микроструктурные особенности щитовидной железы у баранчиков эдильбаевской породы, выращенных с использованием рационов, обогащенных йодом и селеном. На основании комплексного морфологического исследования строения щитовидной железы установлено, что использование кормовых добавок «Йоддар-Zn» и «ДАФС-25» в рационе экспериментальных животных не имеет отрицательных последствий для структуры ткани щитовидной железы, вызывая функциональную активизацию органа. Определены характерные особенности в морфологических показателях щитовидной железы баранчиков, указывающие на породные отличия, которые должны быть учтены при оценке продуктивности животных. По результатам исследований выявлено, что концентрация йода в щитовидной железе, полученной от баранчиков опытной группы, выше, чем в контрольной, в 5–6 раз.

Выводы. Обогащение рационов мелкого рогатого скота кормовыми добавками на основе «ДАФС-25» и «Йоддар-Zn», растительного кремния и белково-углеводного комплекса не оказывает отрицательного влияния на структуру ткани щитовидной железы и приводит к накоплению в щитовидной железе йода в органической форме (в виде йодтирозинов).

Ключевые слова. Молодняк животных, железы животных, биохимические особенности, кормовые добавки, эссенциальные микроэлементы, микроструктурные исследования

Финансирование. Работа выполнена на базе ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова» (Саратовский ГАУ)^{ROR} в рамках гранта Российского научного фонда (РНФ)^{ROR} № 19-76-10013 «Разработка и внедрение технологии производства и хранения экологически безопасной баранины, обогащенной эссенциальными микроэлементами».

Для цитирования: Исследования биохимических и микроструктурных особенностей щитовидной железы баранчиков специального откорма / Т. М. Гиро, А. В. Куликовский, А. С. Князева [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 670–680. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-670-680>.

Original article

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

Biochemical and Microstructural Profile of the Thyroid Gland from Lambs Raised on Experimental Diets

Tatiana M. Giro¹, Andrey V. Kulikovskiy^{1,*}, Alexandra S. Knyazeva²,
Ivan Yu. Domnitskiy¹, Anna V. Giro¹

Received: September 23, 2020

Accepted: December 25, 2020

*e-mail: a.kulikovskii@fneps.ru



© T.M. Giro, A.V. Kulikovskiy, A.S. Knyazeva, I.Yu. Domnitsky, A.V. Giro, 2020

Abstract.

Introduction. The present research featured biochemical and microstructural features of thyroid glands obtained from lambs raised on various feeds enriched with essential elements. The article focuses on iodine as the most important physiologically active microelement. Iodine participates in the synthesis of thyroid hormones, namely thyroxine and triiodothyronine, which are known to regulate metabolic processes. Iodine deficiency may impair reproductive function and cause such diseases as endemic goiter.

Study objects and methods. The study involved thyroid glands from lambs of the Edilbaev breed aged seven months. The lambs were divided into four experimental groups, ten animals in each. The lambs received several feed additives. Ioddar-Zn and DAFS-25 had a balanced protein and carbohydrate content, while the mineral feed of Coretron brand contained such trace elements and minerals as iodine, selenium, and silicon.

Results and discussion. The experiment made it possible to describe the microstructural profile of the thyroid glands extracted from seven-month-old lambs raised on feeds enriched with iodine and selenium. Ioddar-Zn and DAFS-25 did not harm the structure of the thyroid tissue, while causing its functional activation in some cases. The morphological parameters of the thyroid glands indicated some breed differences. The iodine concentration in the thyroid glands obtained from the experimental animals was five or six times higher than that in the control group. The content of mono- and diiodotyrosine depended on the accumulation profile of organic iodine.

Conclusion. Diets enforced with DAFS-25, Ioddar-Zn, silicon, and a protein-carbohydrate complex produced no negative effect on the structure of the thyroid tissue. In fact, the diet increased the organic iodine content in the thyroid glands in the form of iodotyrosines. The gland structure revealed some cubical epithelium or follicular cells. The mass spectrometric studies confirmed the presence of covalently bound iodine in the form of mono- and diiodotyrosine. Thus, the abovementioned feed additives can be recommended for industrial use.

Keywords. Young animals, animal glands, biochemical characteristics, feed additives, essential trace elements, microstructural studies

Funding. The research was performed on the premises of N.I. Vavilov Saratov State Agrarian University (Saratov SAU)^{ROR} and funded by the Russian Science Foundation (RSF)^{ROR}, grant No. 19-76-10013 “Development and implementation of technology for the production and storage of ecologically safe lamb meat enriched with essential microelements”.

For citation: Giro TM, Kulikovskiy AV, Knyazeva AS, Domnitsky IYu, Giro AV. Biochemical and Microstructural Profile of the Thyroid Gland from Lambs Raised on Experimental Diets. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(4):670–680. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-670-680>.

Введение

Эффективным методом выращивания биофортифицированной баранины является обогащение рациона мелкого рогатого скота эссенциальными нутриентами. Основным преимуществом прижизненного обогащения баранины является исключение риска отрицательного эффекта превышения потребления рекомендуемых суточных норм [1]. Использование кормовых добавок «ДАФС-25» и «Йоддар-Zn», в основе которых растительный кремний, органический йод и белково-углеводный комплекс, является одним из подходов к повышению продуктивности при выращивании мелкого рогатого скота, а также способствует решению проблемы йоддефицитных заболеваний животных [2].

Щитовидная железа сельскохозяйственных животных является уникальным органом. Она обеспечивает гомеостаз организма за счет биосинтеза тиреоидных гормонов и особого белка – тиреоглобулина – путем конденсации двух молекул

диодтирозина в молекулу тетраидотиронина [3, 4]. Связываясь со специфическими глобулинами крови, иодтиронины транспортируются клетками организма, где и проявляют свое действие. Иодтиронины влияют на скорость метаболизма и потребление кислорода тканями. Это повышает интенсивность расщепления углеводов, жиров и белков в процессе обмена веществ с освобождением большого количества энергии [5, 6].

Йодированный казеин – активный белок щитовидной железы. Рейнке и Тернер сообщили о его первом синтезе в 1942 г. [7, 8]. Сегодня йодированный казеин, производимый промышленностью, используется в качестве добавки в корма для животных. Эффекты йодированного казеина доказаны многими исследователями [9, 10]. Когда йодированный казеин попадает в организм животного, то он участвует в основном метаболизме и стимулирует выделение тироксина щитовидной железой [11, 12]. Это приводит к ускорению роста животных и увеличению их продуктивности [13].

Йод используется для синтеза гормонов щитовидной железы – тироксина и трийодтиронина, играющих важную роль в регуляции метаболических процессов [14, 15]. Регуляция обмена йода в организме осуществляется тиреотропным гормоном передней доли гипофиза. Йодная недостаточность проявляется падением продуктивности и развитием эндемического зоба в виде увеличения объема щитовидной железы, а также нарушением воспроизводительной функции [16].

Поскольку йодированный казеин не является чистым соединением, то его прямой анализ в образцах затруднен. Однако гидролиз йодированного казеина может привести к высвобождению гормонов щитовидной железы и других йодоаминокислот. Косвенный мониторинг йодированного казеина с помощью анализа этих характерных соединений прост [17]. Первой йодоаминокислотой, выделенной из гидролизата йодированного казеина, был тиреоидный гормон тироксин (Т4) [18]. Затем последовали 3,3',5-трийод-тиронин (Т3), 3-монотирозин (МИТ) и 3,5-дидотирозин (ДИТ) и 3,3',5'-трийод-тиронин (гТ3) и небольшое количество дийодотиронина (Т2) [19, 20]. В недавнем исследовании было обнаружено, что содержание МИТ и ДИТ выше. Гидролитическая стабильность этих соединений выше, чем у других йодоаминокислот, высвобождаемых из йодированного казеина [21]. Следовательно, МИТ и ДИТ являются подходящими целевыми аналитами для мониторинга уровней йодированного казеина [22].

Селен является составным компонентом таких ферментов, как глутатионредуктаза и глутатионпероксидаза. Биологическая роль селена обусловлена его участием в регуляции образования антиоксидантов. Существует тесная корреляция между уровнем в организме селена и активностью селен-содержащего фермента глутатионпероксидазы, который предотвращает накопление в клетках перекисных продуктов обмена веществ. Кроме того, селен и витамин Е дополняют эффекты друг друга. Они входят в структуру мембран клеток, где витамин Е связан с арахидоновой кислотой фосфолипидов, а селен связан с белками, содержащими «негеминовое железо», предохраняя его от окисления [23]. Селен способствует нейтрализации перекисей жирных кислот за счет активации глутатион-пероксидазы. Витамин Е предохраняет окисление жирных кислот мембран клеток, выполняя роль антиоксиданта.

Цель научной работы – исследование влияния рационов мелкого рогатого скота, обогащенных эссенциальными микроэлементами, на особенности биохимических и микроструктурных характеристик щитовидной железы.

Объекты и методы исследования

Разработаны кормовые добавки «Йоддар-Zn»

(ТУ 10.91.10-252-10514645-2019) (табл. 1) и «ДАФС-25» (ТУ 10.91.10-253-10514645-2019) (табл. 2), содержащие эссенциальные микроэлементы. Также кормовые добавки дополнительно обогащены белково-углеводным комплексом и минеральной подкормкой «Коретрон», в состав которых входят органические источники микроэлементов и минералов (йода, селена, кремния). Состав и соотношения компонентов указаны в таблице 1 и таблице 2.

Кормовая добавка «Йоддар-Zn» (Ioddar-Zn) используется для обогащения рационов сельскохозяйственных животных. Она является источником биодоступного йода в органической форме и цинка. «Йоддар-Zn» содержит в своем составе йодированные белки молока в сочетании с соединениями цинка с аминокислотами, а также вспомогательные компоненты: лактоза, крахмал картофельный и стеарат кальция. Эффективность данной кормовой добавки подтверждена свидетельством о государственной регистрации № ПВР-2-10.9/02488 от 29.12.2009 г.

«ДАФС-25» представляет собой органическое вещество – диацетофенонилселенид (ТУ 9337-001-26880895-96, свидетельство о гос. регистрации № ПВР 2.04.0185-96) с массовой долей селена не менее 25 %. Являясь компонентом рациона животных и птиц, способствует повышению общей резистентности организма и продуктивности животных. «ДАФС-25» применяют для профилактики

Таблица 1. Состав кормовой добавки на основе «Йоддар-Zn», растительного кремния и белково-углеводного комплекса

Table 1. Feed additive based on Ioddar-Zn, plant silicon, and a protein-carbohydrate complex

Ингредиент	Содержание
Растительный кремний (диотомит «Коретрон»), %	1,0
Кормовая добавка «Йоддар-Zn», %	1,0
Белково-углеводный комплекс, % в том числе тыквенный жмых	98,00 20,00

Таблица 2. Состав кормовой добавки на основе «ДАФС-25», растительного кремния и белково-углеводного комплекса

Table 2. Feed additive based on DAFS-25, plant silicon, and a protein-carbohydrate complex

Ингредиент	Содержание
Растительный кремний (диотомит «Коретрон»), %	1,0
Ветеринарный препарат «ДАФС-25», мг/100г	0,16
Белково-углеводный комплекс, % в том числе: тыквенный жмых	99,00 20,00

беломышечной болезни, токсической дистрофии печени ягнят, поросят, телят, птицы, экссудативного диатеза цыплят и других болезней, вызванных селенистой недостаточностью.

«Коретрон» – порошок серого цвета, состоящий из аморфного кремнезема биогенного происхождения. Представляет собой минеральную добавку, применяемую при производстве комбикормов и премиксов для разных видов сельскохозяйственных животных и птиц. Она выступает в качестве антислеживающего агента (адсорбента микотоксинов) и является источником водорастворимого кремния (органическая форма), необходимого для стабильной работы гладкой мускулатуры желудочно-кишечного тракта животных и птиц и улучшения усвоения кальция. Также отмечено его положительное влияние при систематическом употреблении на сокращение количества гельминтной инвазии из-за насыщения организма аморфным кремнием [16].

Исследования по определению эффективности скармливания кормовой добавки проводили на поголовье молодняка овец эдильбаевской породы в условиях УПП «Экспериментальное животноводство» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова» (Саратовская область, Краснокутский район, г. Красный Кут). Для проведения опыта на поголовье молодняка овец были сформированы 4 группы баранчиков по 10 голов в каждой (контроль и опыт). Выращивание баранчиков осуществляли с 4-х до 7-ми месяцев.

Подбор животных осуществляли по методу пар-аналогов. Все животные получали общехозяйственный рацион (ОР). Животные опытной группы дополнительно к ОР получали предлагаемые кормовые добавки в количестве 1 %. Соотношение добавок в рационе при совместном использовании «Йодар-Zn» и «ДАФС-25» составляло 1 к 1 или по 1 % от массы корма. Продолжительность опыта составляла 105 дней, а именно числе подготовительный период (10 дней), переходный (5 дней), главный (90 дней). Животные всех групп содержались в одинаковых условиях.

Щитовидные железы извлекались методом тонкого препарирования. Были изучены их биохимические особенности, строение и изменения гистологической структуры от баранчиков четырех групп в зависимости от рациона.

Микроэлементный состав исследовали по ГОСТ EN 31707-2012 методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Определение органической формы йода проводили по ГОСТ 33422-2015 методом ВЭЖХ с масс-спектрометрическим детектированием. Для определения йодированных аминокислот (МИТ и ДИТ) был использован метод жидкостной квадрупольной масс-спектрометрии с ионизацией электроспреей. Исследования проводили на системе ВЭЖХ «Agilent 1200» с масс-спектрометрическим детектором «Agilent 6410». Подготовка проб включала гидролиз протеолитическими ферментами и очистку гидролизата твердофазной экстракцией (ТФЭ). Перед проведением приборной идентификации проводилась предколоночная дериватизация с бутанолом и ацетилхлоридом [24].

Для проведения микроструктурных исследований щитовидные железы фиксировали в 10 %-ном водном растворе нейтрального формалина (100 мл 40 % формальдегида, 900 мл воды, карбонат кальция в избытке). Процесс осуществляли при комнатной температуре в течение двух суток. После чего железы промывали проточной водой в течение двух суток, обезживали спиртом восходящей концентрации (начиная с 50 до 96 %) и заливали в парафиновые блоки. Срезы желез размером 5 мкм производили с помощью санного микротомы, освобождали от парафина и окрашивали гематоксилином Эрлиха и эозином с последующим микрофотографированием [25, 26].

Результаты и их обсуждение

Дана комплексная оценка биохимических и микроструктурных характеристик щитовидной железы молодняка овец эдильбаевской породы, выращенных с использования рационов, включающих кормовые добавки на основе «ДАФС-25» и «Йодар-Zn», растительного кремния и белково-углеводного комплекса.

Микроэлементный состав баранины от животных различных рационов откорма в возрасте 7 месяцев представлен в таблице 3.

В баранине опытных животных, получавших добавку «ДАФС-25», наибольшее содержание селена отмечено в I ($286,30 \pm 100,20$ мкг/кг) и III ($300,20 \pm 105,10$ мкг/кг) группах, наименьшее количество – $199,70 \pm 69,90$ мкг/кг в мясе контрольных животных.

Таблица 3. Количественное содержание микроэлементов в мясе подопытных баранчиков

Table 3. Trace elements in the meat of experimental lambs

Показатель, мкг/кг	Группы			
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Кремний (Si)	26,28 ± 2,61	29,26 ± 2,41	29,75 ± 2,91	30,75 ± 2,91
Селен (Se)	199,70 ± 69,90	286,30 ± 100,20	253,40 ± 88,70	300,20 ± 105,10
Цинк (Zn)	31,15 ± 2,21	31,15 ± 2,21	36,54 ± 3,17	36,54 ± 3,17

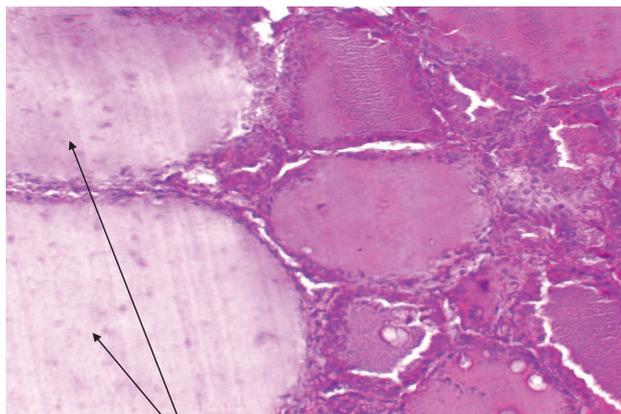


Рисунок 1. Щитовидная железа от животных контрольной группы. Единичные большие фолликулы. Окраска гематоксилином Эрлиха и эозином, $\times 300$

Figure 1. Thyroid gland from control animals: single large follicles; staining with Ehrlich's hematoxylin and eosin, $\times 300$

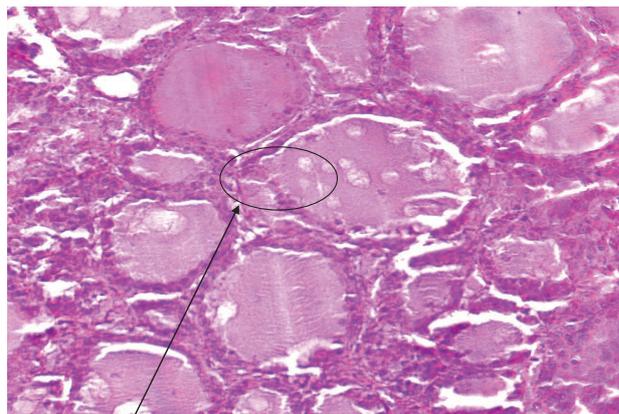


Рисунок 2. Щитовидная железа от животных контрольной группы. Резорбционные вакуоли. Окраска гематоксилином Эрлиха и эозином, $\times 300$

Figure 2. Thyroid gland from control animals: resorptive vacuoles; staining with Ehrlich's hematoxylin and eosin, $\times 300$

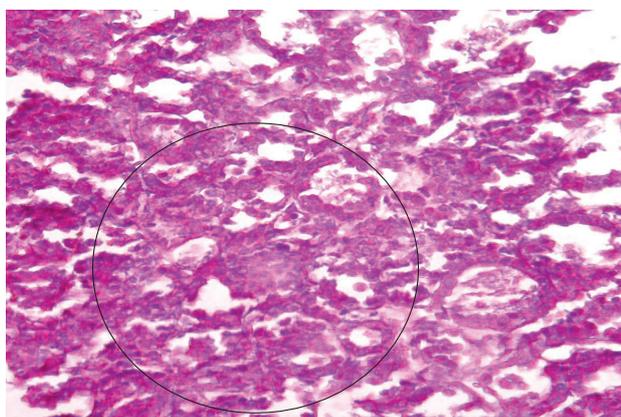


Рисунок 3. Щитовидная железа от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn». Снижение количества фолликулов, заполненных коллоидом. Окраска гематоксилином Эрлиха и эозином, $\times 300$

Figure 3. Thyroid gland from experimental animals fed with with Ioddar-Zn: decrease in the number of follicles filled with colloid; staining with Ehrlich's hematoxylin and eosin, $\times 300$

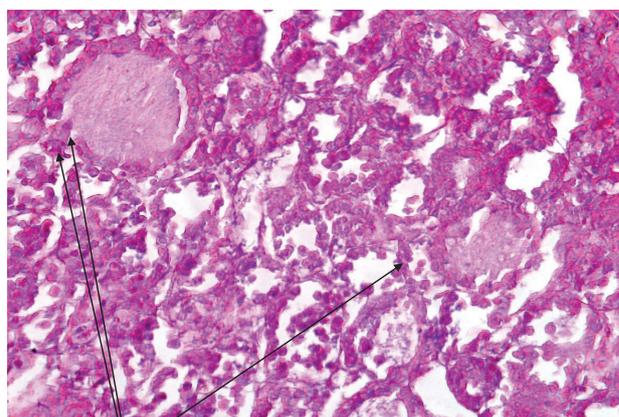


Рисунок 4. Щитовидная железа от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn». Резорбционные вакуоли. Окраска гематоксилином Эрлиха и эозином, $\times 300$

Figure 4. Thyroid gland from experimental animals fed with Ioddar-Zn: resorptive vacuoles; staining with Ehrlich's hematoxylin and eosin, $\times 300$

Щитовидная железа играет важную роль в гормонально обусловленном поддержании гомеостаза организма, являясь незаменимым органом, меняющим валентность поступающего в неё йода с последующим синтезом йодсодержащих гормонов. Она сильно зависит от витаминно-микроэлементного состава рационов животных, т. е. от веществ, участвующих в непосредственной регуляции ее функционального состояния (I, Se, Mg, Cu, витамин B_6). Таким образом, функциональное состояние щитовидной железы позволяет судить о полноценности рационов, а сама железа соответствует требованиям объекта подобных исследований.

Были проведены микроструктурные исследования щитовидных желез с последующим микроскопированием. На рисунках 1 и 2 представлена щитовидная железа от животных контрольной группы. Структура щитовидной железы характеризуется наличием единичных больших фолликулов, выстланных кубическим эпителием и заполненных гомогенной розовой массой – коллоидом (рис. 1).

На рисунке 2 хорошо заметны интерфолликулярные островки, а также резорбционные вакуоли.

На рисунках 3 и 4 представлена щитовидная железа от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn».

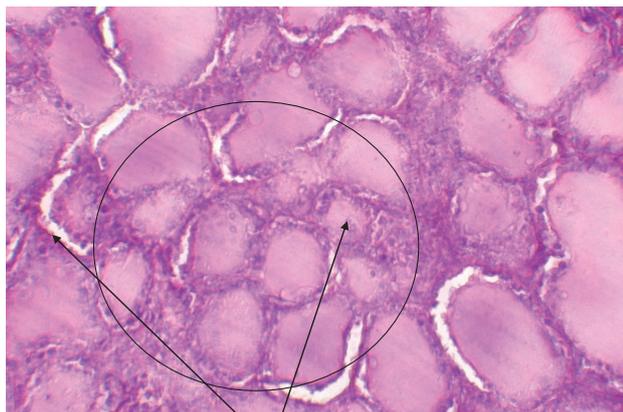


Рисунок 5. Щитовидная железа от животных, получавших добавку «ДАФС-25». Крупные интерфолликулярные островки. Окраска гематоксилином Эрлиха и эозином, $\times 300$

Figure 5. Thyroid gland from experimental animals fed with DAFS-25: large interfollicular clusters; staining with Ehrlich's hematoxylin and eosin, $\times 300$

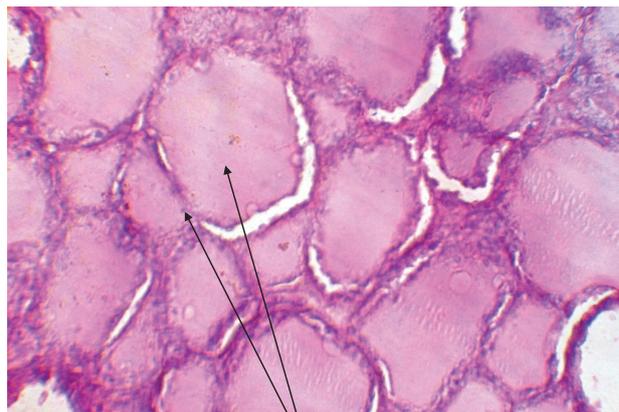


Рисунок 6. Щитовидная железа от животных, получавших добавку «ДАФС-25». Немногочисленные резорбционные вакуоли. Окраска гематоксилином Эрлиха и эозином, $\times 300$

Figure 6. Thyroid gland from experimental animals fed with DAFS-25: few resorption vacuoles; staining with Ehrlich's hematoxylin and eosin, $\times 300$

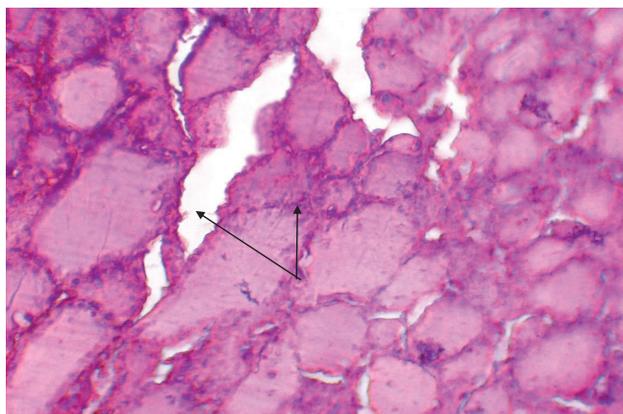


Рисунок 7. Щитовидная железа от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn + ДАФС-25». Фолликулярные клетки плотно прилегают к базальной мембране.

Окраска гематоксилином Эрлиха и эозином, $\times 300$

Figure 7. Thyroid gland from experimental animals fed with Ioddar-Zn and DAFS-25: follicular cells adhere tightly to the basal membrane; staining with Ehrlich's hematoxylin and eosin, $\times 300$

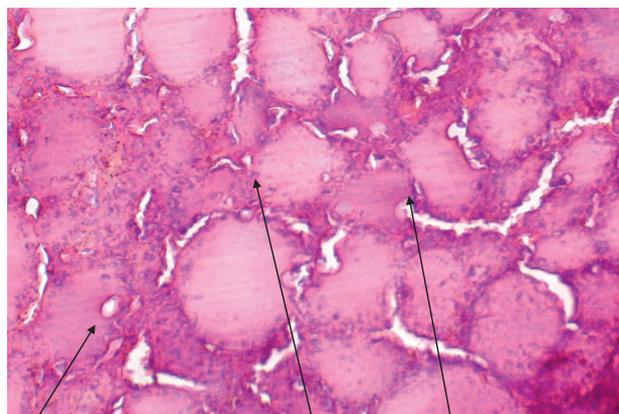


Рисунок 8. Щитовидная железа от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn + ДАФС-25». Отдельные резорбционные вакуоли и интерфолликулярные островки.

Окраска гематоксилином Эрлиха и эозином, $\times 300$

Figure 8. Thyroid gland from experimental animals fed with Ioddar-Zn and DAFS-25: separate resorption vacuoles and interfollicular clusters; staining with Ehrlich's hematoxylin and eosin, $\times 300$

В щитовидной железе от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn» выявляли снижение количества фолликулов, заполненных коллоидом (рис. 3). Фолликулярные тиреоциты несколько увеличены в объеме. В фолликулах, сохранивших коллоид, отмечали крупные резорбционные вакуоли (рис. 4).

Выявленные изменения в щитовидной железе от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn», позволяют говорить об определенной функциональной активизации изучаемого органа.

На рисунках 5 и 6 представлена щитовидная железа от животных, получавших добавку «ДАФС-25».

На рисунке 5 показано, что интерфолликулярные островки представлены большими скоплениями камбиальных или С-клеток.

Щитовидная железа от животных, получавших добавку «ДАФС-25», характеризуется наличием значительного количества фолликулов, полностью заполненных коллоидом и имеющих в своем составе немногочисленные резорбционные вакуоли (рис. 6).

На рисунках 7 и 8 представлена щитовидная железа от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn + ДАФС-25».

При изучении структуры щитовидной железы от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn

Таблица 4. Результаты определения йодтирозинов и массовой доли ковалентно связанного йода в щитовидной железе от животных, выращенных с использованием обогащенных рационах

Table 4. Iodotyrosines and mass fraction of covalently bound iodine in thyroid glands from animals raised on experimental diets

Показатель	НД на методику	Контрольная группа	I группа («Йоддар-Zn»)	II группа («ДАФС-25»)	III группа («Йоддар-Zn» + «ДАФС-25»)
3-йодтирозин (МИТ), мкг/кг	ГОСТ 33422-2015	20,3 ± 4,5	78,4 ± 9,5	23,3 ± 3,8	107,8 ± 15,7
3,5-дйодтирозин (ДИТ), мкг/кг		9,0 ± 1,5	52,3 ± 6,7	13,2 ± 2,1	46,2 ± 7,8
Доля ковалентно связанного йода в форме МИТ, мкг/кг	ГОСТ 33422-2015	7,1 ± 1,6	27,4 ± 3,3	8,1 ± 1,3	37,5 ± 5,5
Доля ковалентно связанного йода в форме ДИТ, мкг/кг		4,7 ± 0,8	27,2 ± 3,5	6,9 ± 1,1	24,0 ± 4,1
Йод (суммарное содержание), мкг/кг		11,8 ± 2,4	54,6 ± 6,8	15,0 ± 2,4	61,5 ± 9,6

+ ДАФС-25», установлено наличие кубического эпителия или фолликулярных клеток, плотно прилегающих к базальной мембране каждого фолликула (рис. 7).

Фолликулы имеют не крупные размеры, заполнены коллоидом с отдельными резорбционными вакуолями. Интерфолликулярные островки имеют вид небольших скоплений среди достаточно массивных соединительно-тканых трабекул (рис. 8).

Поведенные исследования позволили подтвердить наличие йодтирозинов в щитовидной железе от животных, выращенных с использованием разработанных добавок. Для определения степени йодирования был использован ферментативный гидролиз комплексом протеолитических ферментов (папаин, панкреатин, протеаза) с последующей масс-спектрометрической идентификацией. По результатам исследований определена массовая доля ковалентно связанного йода в форме моно- и йодтирозинов. Значения количественного содержания представлены в таблице 4.

По результатам исследований выявлено, что наибольшая концентрация йода зафиксирована в I и III группах и составила $54,6 \pm 6,8$ и $61,5 \pm 9,6$ мкг/кг соответственно. Это выше, по сравнению с контрольной группой, в 5 и 6 раз. Стоит учесть, что различный профиль накопления органического йода в форме МИТ и ДИТ. В I группе содержание МИТ составило $78,4 \pm 9,5$ мкг/кг, а в III группе – $107,8 \pm 15,7$. Содержание ДИТ, в зависимости от группы, находится в пределах погрешности $52,3 \pm 6,7$ и $46,2 \pm 7,8$ мкг/кг для I и III групп соответственно.

Доля ковалентно связанного йода в форме МИТ в щитовидной железе животных, получавших в рационах добавку «Йоддар-Zn» составила $27,4 \pm 3,3$ мкг/кг (выше, по сравнению с контролем, на $20,3$ мкг/кг). В баранине от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn + ДАФС-25», содержание ковалентно связанного йода было $37,5 \pm 5,5$ мкг/кг, что выше, чем в контроле, на $30,4$ мкг/кг.

Доля ковалентно связанного йода в форме ДИТ в щитовидной железе животных, получавших в рационах добавку «Йоддар-Zn», составила $27,2 \pm$

$3,5$ мкг/кг (выше, чем в контроле, на $22,5$ мкг/кг). В щитовидной железе животных, получавших добавку «Йоддар-Zn + ДАФС-25», содержание ковалентно связанного йода составило $24,0 \pm 4,1$ мкг/кг, что выше, чем в контроле, на $19,3$ мкг/кг.

Выводы

Анализ проведенных исследований позволяет сделать вывод, что использование в рационах кормовых добавок «ДАФС-25» и «Йоддар-Zn» при выращивании баранчиков не имеет отрицательных последствий для структуры ткани щитовидной железы, вызывая некоторую функциональную активизацию органа. Это подтверждается микро-структурными характеристиками (увеличение числа фолликулов, их размеров, степень заполнения коллоидом), что морфологически характеризует активность железы. Динамика изменений структуры щитовидной железы эдильбаевской породы баранчиков имеет свои особенности.

При изучении структуры щитовидной железы от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn + ДАФС-25», установлено наличие кубического эпителия или фолликулярных клеток, плотно прилегающих к базальной мембране каждого фолликула. Это позволяет утверждать о возможности применения указанных кормовых добавок в период промышленного выращивания животных.

По результатам исследований удалось количественно идентифицировать йод в органической форме (в виде йодтирозинов) в биофортифицированном мясном сырье. Именно органическая форма йода позволяет проявлять различные биологические свойства через йодсодержащие гормоны тироксин и трийодтиронин, которые участвуют в регулировании метаболических процессов в живом организме.

Исследованиями подтверждено, что содержание йода и селена в щитовидной железе баранчиков находится в прямой зависимости от содержания этих микроэлементов в рационах. При этом значительная их локализация зафиксирована в щитовидной железе

баранчиков III опытной группы, выращенной с использованием добавки «Йоддар-Zn + ДАФС-25». Использование минеральных добавок в рационах мелкого рогатого скота является перспективным и актуальным и позволяет добиться значительного накопления органических микроэлементов в органах и тканях животных.

Критерии авторства

Т. М. Гиро обеспечивала выполнение исследований лабораторией, контролировала постановку эксперимента по выращиванию животных. А. В. Куликовский руководил проектом, отвечал за анализ полученных данных, написание и редактирование текста публикации. А. С. Князева проводила хромато-масс-спектрометрические исследования. И. Ю. Домницкий проводил консультации по вопросам морфологии и патологии животных.

А. В. Гиро отвечала за проведение гистологических исследований.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

T.M. Giro was responsible for the laboratory research and supervised the experimental diet experiment. A.V. Kulikovskiy was in charge of the project, the data analysis, and the manuscript. A.S. Knyazeva performed the chromatography studies. I.Yu. Domnitskiy consulted on the morphology and pathology of the animals. A.V. Giro conducted the histological studies.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rg.ru/2010/11/03/pravila-dok.html>. – Дата обращения: 20.08.2020.
2. Инновационные подходы к обогащению мясного сырья органическим йодом / И. Ф. Горлов, М. В. Шарова, Д. А. Ранделин [и др.] // *Fleischwirdshaft*. – 2012. – № 1. – С. 66–68.
3. Moini, J. Iodine and thyroid hormones / J. Moini, K. Pereira, M. Samsam // *Epidemiology of thyroid disorders* / J. Moini, K. Pereira, M. Samsam. – Elsevier, 2020. – P. 45–62. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818500-1.00003-7>.
4. Toward a better understanding of the effects of endocrine disrupting compounds on health: Human-relevant case studies from sheep models / C. Viguié, E. Chaillou, V. Gayrard [et al.] // *Molecular and Cellular Endocrinology*. – 2020. – Vol. 505. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2020.110711>.
5. Carvalho, D. P. Thyroid hormone biosynthesis and release / D. P. Carvalho, C. Dupuy // *Molecular and Cellular Endocrinology*. – 2017. – Vol. 458. – P. 6–15. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2017.01.038>.
6. Sauro, H. M. Dynamic integration: dynamics. Metabolism / H. M. Sauro // *Encyclopedia of cell biology*. Vol. 4 / R. A. Bradshaw, P. D. Stahl. – Academic Press, 2016. – P. 24–35. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394447-4.40004-0>.
7. The quantitative determination of thyroxine in iodinated casein having thyroidal activity / E. P. Reineke, C. W. Turner, G. O. Kohler [et al.] // *The Journal of biological chemistry*. – 1945. – Vol. 161. – P. 599–611.
8. Targovnik, H. M. Iodide handling disorders (NIS, TPO, TG, IYD) / H. M. Targovnik, C. E. Citterio, C. M. Rivolta // *Best Practice and Research: Clinical Endocrinology and Metabolism*. – 2017. – Vol. 31, № 2. – P. 195–212. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2017.03.006>.
9. Eales, J. G. The relationship between ingested thyroid hormones, thyroid homeostasis and iodine metabolism in humans and teleost fish / J. G. Eales // *General and Comparative Endocrinology*. – 2019. – Vol. 280. – P. 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2019.04.012>.
10. Muzza, M. Thyroglobulin / M. Muzza, L. Fugazzola // *Encyclopedia of endocrine diseases* / I. Huhtaniemi, L. Martini. – Academic Press, 2018. – P. 439–441. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.96016-1>.
11. Furman, B. L. Thyroid agents / B. L. Furman // *xPharm: The comprehensive pharmacology reference* / S. J. Enna, D. B. Bylund. – Elsevier, 2007. – P. 1. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08055232-3.61060-8>.
12. van der Reijden, O. L. Iodine in dairy milk: Sources, concentrations and importance to human health / O. L. van der Reijden, M. B. Zimmermann, V. Galetti // *Best Practice and Research: Clinical Endocrinology and Metabolism*. – 2017. – Vol. 31, № 4. – P. 385–395. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2017.10.004>.
13. Zheng, Y. Identification and quantitation of iodotyrosines and iodothyronines in hydrolysate of iodinated casein by capillary electrophoresis / Y. Zheng, Y. Sun, J. Ren // *Talanta*. – 2006. – Vol. 69, № 1. – P. 107–112.
14. Герасимов, Г. А. Йододефицитные заболевания (ЙДЗ) в Российской Федерации: политика в области профилактики и тенденции в эпидемиологической ситуации (1950–2002 г.) / Г. А. Герасимов. – М., 2003. – 50 с.
15. Mahmoud, G. B. Effect of combination of vitamin E and selenium injections on reproductive performance and blood parameters of Ossimi rams / G. B. Mahmoud, S. M. Abdel-Raheem, H. A. Hussein // *Small Ruminant Research*. – 2013. – Vol. 113, № 1. – P. 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.12.006>.

16. Use of new supplement feeds based on organic iodine in rations of lactating cows / I. F. Gorlov, N. I. Mosolova, E. Yu. Zlobina [et al.] // American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. – 2014. – Vol. 14, № 5. – P. 401–406.
17. Avoiding the pitfalls when quantifying thyroid hormones and their metabolites using mass spectrometric methods: The role of quality assurance / K. Richards, E. Rijntjes, D. Rathmann [et al.] // Molecular and Cellular Endocrinology. – 2017. – Vol. 458. – P. 44–56. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2017.01.032>.
18. Mischler, T. W. Thyroid hormone analysis of thyroactive iodinated casein / T. W. Mischler, E. P. Reineke // Journal of Dairy Science. – 1970. – Vol. 53, № 2. – P. 233–238. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(70\)86185-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(70)86185-9).
19. Gika, H. G. Development of a validated HPLC method for the determination of iodotyrosines and iodothyronines in pharmaceuticals and biological samples using solid phase extraction / H. G. Gika, V. F. Samanidou, I. N. Papadoyannis // Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences. – 2005. – Vol. 814, № 1. – P. 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2004.10.025>.
20. HPLC-MS analysis of iodotyrosines produced by sample hydrolysis: A simple method for monitoring iodinated casein in feed premixes / Z. Wang, L. Zhang, P. He [et al.] // Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences. – 2009. – Vol. 877, № 32. – P. 4175–4179. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2009.11.007>.
21. High-performance liquid chromatographic analysis of iodoamino acids produced by hydrolysis of iodinated casein with barium hydroxide / Z. Wang, M. Lv, D. Li [et al.] // Acta Chromatographica. – 2008. – № 20. – P. 59–69. <https://doi.org/10.1556/achrom.20.2008.1.5>.
22. Production, milk iodine, and nutrient utilization in Jersey cows supplemented with the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* (kelp meal) during the grazing season / N. T. Antaya, M. Ghelichkhan, A. B. D. Pereira [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2019. – Vol. 102, № 9. – P. 8040–8058. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16478>.
23. Morpho-functional state of the liver of the rats fed the rations with meat of the pigs grown with antimicrobials / S. N. Belik, I. F. Gorlov, M. I. Slozhenkina [et al.] // Pakistan Veterinary Journal. – 2015. – Vol. 35, № 3. – P. 325–328.
24. Determination of Iodotyrosines in Food / A. V. Kulikovskii, A. B. Lisitsyn, I. M. Chernukha [et al.] // Journal of Analytical Chemistry. – 2016. – Vol. 71, № 12. – P. 1215–1219. <https://doi.org/10.1134/S1061934816100087>.
25. Хвьяля, С. И. Оценка качества и биологической безопасности мяса и мясных продуктов микроструктурными методами / С. И. Хвьяля, Т. М. Гиро. – Саратов : Буква, 2015. – 240 с.
26. Johnson, R. A. Statistics. Principles and methods, 6th edition / R. A. Johnson, G. K. Bhattacharyya. – John Wiley & Sons, 2010. – 706 p.

References

1. Osnovy gosudarstvennoy pofttkf RF v obfastf zdravovogo pftanfya nasefenfya na perfd do 2020 goda [Basfc State Poffcy of the Russfan Federatfon fn the fefd of heafthy nutrftfon for the perfd up to 2020] [Internet]. [cited 2020 Aug 20]. Available from: <https://rg.ru/2010/11/03/pravila-dok.html>.
2. Gorlov IF, Sharova MV, Randelin DA, Giro TM. Innovatsionnye podkhody k obogashcheniyu myasnogo syr'ya organicheskim yodom [Innovative approaches to the enrichment of raw meat with organic iodine]. Fleischwirdshaft; 2012(1):66–68. (In Russ.).
3. Moini J, Pereira K, Samsam M. Iodine and thyroid hormones. In: Moini J, Pereira K, Samsam M, editors. Epidemiology of thyroid disorders. Elsevier; 2020. pp. 45–62. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818500-1.00003-7>.
4. Vigiúé C, Chaillou E, Gayrard V, Picard-Hagen N, Fowler PA. Toward a better understanding of the effects of endocrine disrupting compounds on health: Human-relevant case studies from sheep models. Molecular and Cellular Endocrinology. 2020;505. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2020.110711>.
5. Carvalho DP, Dupuy C. Thyroid hormone biosynthesis and release. Molecular and Cellular Endocrinology. 2017;458:6–15. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2017.01.038>.
6. Sauro HM. Dynamic integration: dynamics. Metabolism. In: Bradshaw RA, Stahl PD. Encyclopedia of cell biology. Vol. 4. Academic Press; 2016. pp. 24–35. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394447-4.40004-0>.
7. Reineke EP, Turner CW, Kohler GO, Hoover RD, Beezley MB. The quantitative determination of thyroxine in iodinated casein having thyroidal activity. The Journal of biological chemistry. 1945;161:599–611.
8. Targovnik HM, Citterio CE, Rivolta CM. Iodide handling disorders (NIS, TPO, TG, IYD). Best Practice and Research: Clinical Endocrinology and Metabolism. 2017;31(2):195–212. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2017.03.006>.
9. Eales JG. The relationship between ingested thyroid hormones, thyroid homeostasis and iodine metabolism in humans and teleost fish. General and Comparative Endocrinology. 2019;280:62–72. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2019.04.012>.
10. Muzza M, Fugazzola L. Thyroglobulin. In: Huhtaniemi I, Martini L, et al. Encyclopedia of endocrine diseases. Academic Press; 2018. pp. 439–441. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.96016-1>.
11. Furman BL. Thyroid agents. In: Enna SJ, Bylund DB, editors. xPharm: The comprehensive pharmacology reference. Elsevier; 2007. pp. 1. <https://doi.org/10.1016/B978-008055232-3.61060-8>.

12. van der Reijden OL, Zimmermann MB, Galetti V. Iodine in dairy milk: Sources, concentrations and importance to human health. *Best Practice and Research: Clinical Endocrinology and Metabolism*. 2017;31(4):385–395. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2017.10.004>.
13. Zheng Y, Sun Y, Ren J. Identification and quantitation of iodotyrosines and iodothyronines in hydrolysate of iodinated casein by capillary electrophoresis. *Talanta*. 2006;69(1):107–112.
14. Gerasimov GA. Yododefitsitnye zabolevaniya (YDZ) v Rossiyskoy Federatsii: politika v oblasti profilaktiki i tendentsii v ehpidemiologicheskoy situatsii (1950–2002 g.) [Iodine deficiency disorders in the Russian Federation: Prevention policies and epidemiological trends (1950–2002)]. Moscow; 2003. 50 p. (In Russ.).
15. Mahmoud GB, Abdel-Raheem SM, Hussein HA. Effect of combination of vitamin E and selenium injections on reproductive performance and blood parameters of Ossimi rams. *Small Ruminant Research*. 2013;113(1):103–108. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.12.006>.
16. Gorlov IF, Mosolova NI, Zlobina EYu, Korotkova AA, Prom NA. Use of new supplement feeds based on organic iodine in rations of lactating cows. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 2014;14(5):401–406.
17. Richards K, Rijntjes E, Rathmann D, Köhrle J. Avoiding the pitfalls when quantifying thyroid hormones and their metabolites using mass spectrometric methods: The role of quality assurance. *Molecular and Cellular Endocrinology*. 2017;458:44–56. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2017.01.032>.
18. Mischler TW, Reineke EP. Thyroid hormone analysis of thyroactive iodinated casein. *Journal of Dairy Science*. 1970;53(2):233–238. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(70\)86185-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(70)86185-9).
19. Gika HG, Samanidou VF, Papadoyannis IN. Development of a validated HPLC method for the determination of iodotyrosines and iodothyronines in pharmaceuticals and biological samples using solid phase extraction. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*. 2005;814(1):163–172. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2004.10.025>.
20. Wang Z, Zhang L, He P, Li M, Yang W. HPLC-MS analysis of iodotyrosines produced by sample hydrolysis: A simple method for monitoring iodinated casein in feed premixes. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*. 2009;877(32):4175–4179. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2009.11.007>.
21. Wang Z, Lv M, Li D, Zhou Z, Zhang L, Yang W. High-performance liquid chromatographic analysis of iodoamino acids produced by hydrolysis of iodinated casein with barium hydroxide. *Acta Chromatographica*. 2008;(20):59–69. <https://doi.org/10.1556/achrom.20.2008.1.5>.
22. Antaya NT, Ghelichkhan M, Pereira ABD, Soder KJ, Brito AF. Production, milk iodine, and nutrient utilization in Jersey cows supplemented with the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* (kelp meal) during the grazing season. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(9):8040–8058. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16478>.
23. Belik SN, Gorlov IF, Slozhenkina MI, Zlobina EY, Pavlenko AS. Morpho-functional state of the liver of the rats fed the rations with meat of the pigs grown with antimicrobials. *Pakistan Veterinary Journal*. 2015;35(3):325–328.
24. Kulikovskii AV, Lisitsyn AB, Chernukha IM, Gorlov IF, Savchuk SA. Determination of Iodotyrosines in Food. *Journal of Analytical Chemistry*. 2016;71(12):1215–1219. <https://doi.org/10.1134/S1061934816100087>.
25. Khvylya SI, Giro TM. Otsenka kachestva i biologicheskoy bezopasnosti myasa i myasnykh produktov mikrostruktury nmi metodami [Assessing the quality and biological safety of meat and meat products by microstructural methods]. Saratov: Bukva; 2015. 240 p. (In Russ.).
26. Johnson RA, Bhattacharyya GK. *Statistics. Principles and methods*, 6th edition. John Wiley & Sons; 2010. 706 p.

Сведения об авторах

Гиро Татьяна Михайловна

д-р техн. наук, профессор кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова», 410012, Россия, г. Саратов, Театральная пл., 1, тел.: +7 (960) 342-30-16, e-mail: girotm@sgau.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3039-1324>

Куликовский Андрей Владимирович

канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова», 410012, Россия, г. Саратов, Театральная пл., 1, тел.: +7 (495) 676-79-61, e-mail: a.kulikovskii@fneps.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9140-5390>

Information about the authors

Tatiana M. Giro

Dr.Sci.(Eng.), Professor of the Department of the Technology of Production and Processing of Livestock Products, N.I. Vavilov Saratov State Agrarian University, 1, Teatralnaya square, Saratov, 410012, Russia, phone: +7 (960) 342-30-16, e-mail: girotm@sgau.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3039-1324>

Andrey V. Kulikovskiy

Cand.Sci.(Eng.), N.I. Vavilov Saratov State Agrarian University, 1, Teatralnaya square, Saratov, 410012, Russia, phone: +7 (495) 676-79-61, e-mail: a.kulikovskii@fneps.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9140-5390>

Князева Александра Сергеевна

младший научный сотрудник лаборатории научно-методических работ, биологических и аналитических исследований, ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, 109316, Россия, г. Москва, ул. Талалихина, 26, тел.: +7 (495) 676-79-61, e-mail: a.knyazeva@fncps.ru

Домницкий Иван Юрьевич

д-р вет. наук, доцент, профессор кафедры морфологии, патологии животных и биологии, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова», 410012, Россия, г. Саратов, Театральная пл., 1, тел.: +7 (917) 215-59-14, e-mail: domnitskiy09@yandex.ru

Гиро Анна Валерьевна

канд. био. наук, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова», 410012, Россия, г. Саратов, Театральная пл., 1, тел.: +7 (937) 026-28-22, e-mail: giroannasgau@gmail.com

Alexandra S. Knyazeva

Junior Researcher of the Laboratory of the Scientific and Methodical Work, Biological and Analytical Research, V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, 26, Talalikhina Str., Moscow, 109316, Russia, phone: +7 (495) 676-79-61, e-mail: a.knyazeva@fncps.ru

Ivan Yu. Domnitsky

Dr.Sci.(Vet.), Associate Professor, Professor of the Department of the Morphology, Pathology of Animals and Biology, N.I. Vavilov Saratov State Agrarian University, 1, Teatralnaya square, Saratov, 410012, Russia, phone: +7 (917) 215-59-14, e-mail: domnitskiy09@yandex.ru

Anna V. Giro

Cand.Sci.(Bio.), N.I. Vavilov Saratov State Agrarian University, 1, Teatralnaya square, Saratov, 410012, Russia, phone: +7 (937) 026-28-22, e-mail: giroannasgau@gmail.com

Предобработка нитевидной микроплазмой при поддержке термоэлектронной эмиссии в процессе сублимационной сушки плодов манго



М. Д. Соснин*^{ORCID}, И. А. Шорсткий^{ORCID}

Кубанский государственный технологический университет^{ORCID},
Краснодар, Россия

Дата поступления в редакцию: 02.11.2020
Дата принятия в печать: 25.12.2020

*e-mail: maksim-sosnin7@mail.ru



© М. Д. Соснин, И. А. Шорсткий, 2020

Аннотация.

Введение. Круглогодичная доступность экзотических фруктов обеспечивает население качественными продуктами питания. Сохранение высокого качества продукта и повышение эффективности его переработки возможно путем комбинирования сублимационной сушки с применением передовых электрофизических технологий. В качестве такой технологии в данной работе выступает предварительная обработка нитевидной микроплазмой (НМ) при поддержке термоэлектронной эмиссии, основанная на нетепловом методе обработки пищевого продукта. Целью работы является изучение влияния предварительной обработки нитевидной микроплазмой на эффективность сублимационной сушки плодов манго с оценкой качественных характеристик высушиваемого продукта.

Объекты и методы исследования. В работе изучены плоды манго. Перед сублимационной сушкой свежие плоды нарезали на ломтики толщиной $6,0 \pm 0,5$ мм. Средний диаметр анализируемого ломтика составлял 72 ± 3 мм. Высушенные с помощью сублимационной сушки плоды анализировали по степени регидратации и качественным характеристикам. Обработку нитевидной микроплазмой проводили при значениях напряженности электрического поля $E = 600$ кВ/м и величиной удельной энергии на единицу обработанного материала 1 кДж/кг.

Результаты и их обсуждение. Предварительная обработки нитевидной микроплазмой при поддержке термоэлектронной эмиссии позволила сократить длительность процесса сушки на 38 % для достижения равновесного влагосодержания и увеличить степень регидратации с 2,58 до 3,14. Анализ качественных характеристик показал, что предварительная обработка НМ увеличивает общее содержание фенолов и каротиноидов, но снижает общее содержание флавоноидов. Предварительная обработка НМ также влияет на антиоксидантную способность, снижая ее с 0,43 до 0,41 по методу ABTS и с 0,90 до 0,75 по методу DPPH.

Выводы. Несмотря на незначительные снижения некоторых качественных характеристик высушенных плодов манго, положительный эффект от обработки нитевидной микроплазмой представляет потенциальный интерес для применения в промышленном масштабе.

Ключевые слова. Микроплазма, электропорация, сушка, обработка пищевых продуктов, импульсное электрическое поле, плоды

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке совместного гранта Немецкой службы академических обменов (DAAD)^{ORCID} и программы «Михаил Ломоносов» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнаука)^{ORCID} (№ 15.13385.2019/13.2).

Для цитирования: Соснин, М. Д. Предобработка нитевидной микроплазмой при поддержке термоэлектронной эмиссии в процессе сублимационной сушки плодов манго / М. Д. Соснин, И. А. Шорсткий // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 681–689. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-681-689>.

Original article

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

Microplasma Pretreatment of Mango Fruits During Freeze Drying with Thermoelectric Emission

Maxim D. Sosnin*^{ORCID}, Ivan A. Shorstkii^{ORCID}

Received: November 02, 2020
Accepted: December 25, 2020

Kuban State Technological University^{ORCID}, Krasnodar, Russia

*e-mail: maksim-sosnin7@mail.ru



© M.D. Sosnin, I.A. Shorstkii, 2020

Abstract.

Introduction. The research objective was to study the effect of filamentous microplasma pretreatment on the efficiency of freeze drying. It featured mango fruit and assessed the quality of the dried product. Year-round availability of exotic fruit poses a challenge of providing consumers with high-quality food products. Freeze-drying, if combined with advanced electrophysical technologies, makes it possible to maintain the high quality of the product while improving the processing. This non-thermal method technology presupposes pretreatment with filamentous microplasma (FM) and thermoelectric emission. FM affects the membrane of plant cells and forms a through channel, thus improving mass transfer.

Study objects and methods. Before freeze-drying, fresh mango fruit was cut into slices of 6.0 ± 0.5 mm each and the average diameter of 72 ± 3 mm. Freeze-dried fruits were analyzed according to the degree of rehydration and quality. FM treatment was performed at the electric field strength $E = 600$ kV/m, while the specific energy was 1 kJ/kg per unit.

Results and discussion. FM pretreatment with thermoelectric emission reduced the drying time by 38%, which was enough to achieve equilibrium moisture content. It also increased the degree of rehydration from 2.58 to 3.14. FM pretreatment raised the total content of phenols and carotenoids, but reduced the total content of flavonoids. FM pretreatment also affected the antioxidant capacity, reducing it from 0.43 to 0.41 by the ABTS method and from 0.90 to 0.75 by the DPPH method.

Conclusion. FM pretreatment increased the ability to restore the freeze-dried samples. The mango samples preserved the high content of phenols and carotenoids. The antioxidant capacity of the FM-treated samples proved to be slightly lower than in the control samples. In general, pretreatment with filamentous microplasma and thermoelectric emission had a positive effect on the quality of freeze-dried mango, reduced the processing time, and improved the rehydration characteristics of the final product.

Keywords. Microplasma, electroporation, drying, food handling, pulsed electric field, fruit

Funding. The authors gratefully acknowledge German Academic Exchange Service (DAAD)^{ROR} and Mikhail Lomonosov joint scholarship program of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka)^{ROR} (No 15.13385.2019/13.2).

For citation: Sosnin MD, Shorstkii IA. Microplasma Pretreatment of Mango Fruits During Freeze Drying with Thermoelectric Emission. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(4):681–689. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-681-689>.

Введение

Манго занимает особое место среди экзотических фруктов благодаря своей высокой пищевой ценности и растущему потребительскому спросу. По данным на 2017 год, производство манго в мировом масштабе составило порядка 50,5 млн. тонн продукции в год [1]. В плодах манго содержится большое количество сахаров, углеводов, а также витаминов А и С. Особую ценность в плодах манго представляют полифенолы, в том числе мангиферины, катехины, антоцианы и другие компоненты, которые полезны для человека [2].

Из-за сезонной популярности и малого срока хранения плодов манго процесс сушки является наиболее востребованным способом сохранения полезных микроэлементов для обеспечения потребителей плодами манго круглый год [2]. Снижение влагосодержания плодов манго можно проводить с помощью конвективной, вакуумной или сублимационной сушки, каждая из которых по-своему влияет на качество конечного продукта. Известно, что сушка горячим воздухом при высоких температурах негативно влияет на качество конечного продукта, вызывая потемнения и потерю витаминов [3]. Вакуумный процесс сушки применяется для термолабильных и легко окисляемых продуктов. Сублимационная сушка позволяет сохранить первоначальную структуру, цвет, вкус и высокую питательную ценность продукта. Однако у сублимационной сушки имеется ряд недостатков. Они связаны с высокими энергетическими затратами самого процесса из-за его длительности,

необходимостью проведения дополнительной стадии замораживания и низкой внутренней теплопередачей [4, 5].

В последнее время среди ученых и исследователей институтов в области пищевых технологий растет интерес к новым технологиям, таким как обработка импульсным электрическим полем (ИЭП) и обработка нитевидной микроплазмой при поддержке термоэлектронной эмиссии [6, 7]. Данные технологии позволяют поддерживать высокий уровень качества конечного продукта, аналогичный уровню исходного сырья [8]. Технология подготовки с помощью нитевидной микроплазмы (НМ) базируется на электрофизическом методе воздействия на анатомическую целостность растительных клеток. При обработке НМ на мембране растительных клеток формируются сквозные нано- и микроразмерные каналы, способствующие улучшенному массопереносу.

Влияние предварительной обработки ИЭП изучено для процесса вакуумной сублимационной сушки яблочной ткани [9]. Отмечено, что предварительная обработка ИЭП может сохранить форму и предотвратить усадку продукта. А. Lamterskitten с соавторами исследовал влияние ИЭП на общее содержание фенольных соединений и антиоксидантную активность яблочной ткани [10]. Авторы наблюдали увеличение общего содержания фенолов до 47 % для обработанных ИЭП тканей по сравнению с необработанными. Аналогичные результаты были получены Y. Wu и D. Zhang при изучении процесса сублимационной сушки

картофеля с предварительной обработкой ИЭП [11]. Таким образом, современные электрофизические технологии способны значительно ускорить технологические процессы без потери качества продукции.

Экспериментальных данных по изучению нитевидной микроплазмы в литературе представлено в меньшем объеме, т. к. основное применение данной технологии ранее рассматривалось лишь для медицинских целей [12, 13].

Целью данной работы является изучение влияния предварительной обработки нитевидной микроплазмой на эффективность сублимационной сушки плодов манго с оценкой качественных характеристик высушиваемого продукта.

Объекты и методы исследования

Плоды манго сорта “Каен Оап” были приобретены в местном супермаркете (г. Краснодар, Россия). Плоды вытянутой зауженной формы с оранжевой кожурой хранили при температуре 4 °С в темном месте до проведения экспериментов. Начальная влажность плодов составляла 83 ± 1 %. Ее измеряли с помощью анализатора влажности (НС103, Mettler Toledo). Непосредственно перед сублимационной сушкой плоды манго нарезали на ломтики толщиной $6,0 \pm 0,5$ мм. Средний диаметр анализируемого ломтика составлял 72 ± 3 мм.

Обработка импульсным электрическим полем (ИЭП). Обработку нитевидным микроплазменным разрядом проводили с использованием высоковольтной установки на базе высоковольтного усилителя «Matsusada 20-B-20» («Matsusada Precision Inc», Япония) (рис. 1).

Установка обеспечивает формирование устойчивого микроплазменного разряда с помощью источника термоэлектронной эмиссии (ТЭ). Параметры импульса: длительность импульса 40 мс, частота следования импульсов 100 Гц, амплитуда импульсов 600 кВ/м. Измерение высоковольтного сигнала осуществляли с помощью осциллографа «Tektronix TDS 220» через высоковольтный делитель (X1000, «Tektronix»). Ячейка для обработки плодов представляет собой систему из плоского анода, на котором располагают исследуемый материал, и катода с ТЭ, установленного на шасси для осуществления сканирующего принципа обработки. Эксперименты проводились с применением величины удельной энергии 1 кДж/кг и напряженности поля 600 кВ/м. Данные характеристики обработки были взяты на основе предыдущих данных [5]. Величину удельной энергии (Дж/кг) и напряженность электрического поля E (В/м) рассчитывали в соответствии со следующими уравнениями:

$$W_{уд} = \frac{U^2 C n}{2m} \quad (1)$$

$$E = \frac{U}{d} \quad (2)$$

где n – количество импульсов; m – масса

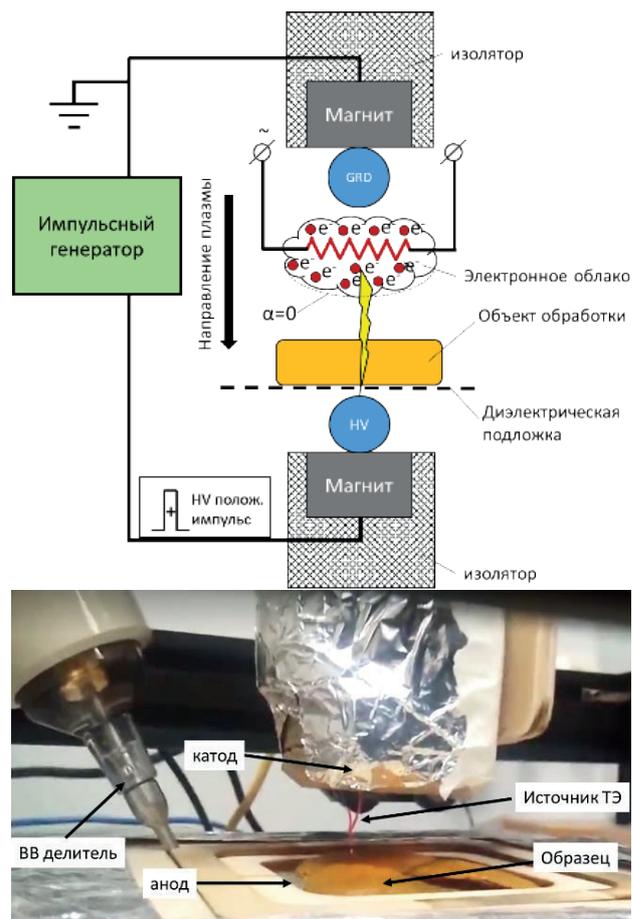


Рисунок 1. Схема установки для генерации нитевидной микроплазмы и визуализация процесса обработки

Figure 1. Generator of filamentary microplasma and its processing scheme

образцов (кг); U – напряжение (В); d – расстояние между электродами (м); C – емкость конденсаторов (1 нФ для используемой установки).

Сублимационная сушка. Сублимационную сушку плодов манго проводили в лабораторной сушилке «Gamma 1-16 LSC» («Martin Christ», Германия). Образцы перед сублимационной сушкой не замораживались, поэтому начальная температура составляла 22 ± 1 °С. Процесс сушки осуществлялся при следующих параметрах: температура пластины 40 °С, давление в камере 1 мбар. Нагрузка на сито составляла $2,86 \pm 0,09$ кг/м². Температура конденсатора составляла –55 °С.

Сбор данных изменения массы образцов осуществляли с помощью лабораторных весов, размещенных внутри сушильной камеры. Процесс сушки завершался, когда материал достигал постоянной массы. Кинетику сушки описывали через зависимость коэффициента влагосодержания и времени процесса. Содержание влаги на 1 кг сухого вещества влагосодержания определяли с помощью

уравнения (3):

$$K_{\text{вл}} = \frac{u_{\tau}}{u_0} \quad (3)$$

где u_{τ} – начальное влагосодержание (кг влаги/кг сухого вещества); u_0 – влагосодержание в момент сушки τ (кг влаги/кг сухого вещества).

Скорость сушки определяли как первую производную зависимости влагосодержания от времени. Время сушки рассчитывали как время, необходимое для получения образцами $K_{\text{вл}} = 0,004$ (содержание влаги $u = 2\%$ на сухой остаток).

Регидратация. Регидратацию проводили при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кинетику процесса анализировали в интервале одного часа. Высушенный материал погружали в дистиллированную воду на 5, 15, 30 и 60 мин. Через обозначенный промежуток времени образцы вынимали из воды с помощью сита, удаляли лишнюю влагу с помощью бумажных полотенец и взвешивали. Величину регидратации определяли по формуле (4):

$$K_{\text{рег}} = \frac{u_t}{u_0} \quad (4)$$

где u_t – влагосодержание регидратированного манго в момент времени t (кг влаги/кг сухого вещества), u_0 – влагосодержание исходного образца (кг влаги/кг сухого вещества).

Подготовка экстракта манго. Для анализа содержания биологически активных соединений в плодах манго получали экстракт с помощью водного раствора этанола (80 %). Для этого 20 мл этанола смешивали с 2 г высушенного материала. Полученную массу гомогенизировали и нагревали до кипения с добавлением этанола в общем содержании 50 мл. Полученный экстракт фильтровали и использовали для определения общего содержания фенолов, общего содержания флавоноидов и антиоксидантной способности.

Содержание фенолов. Общее содержание фенолов (ОСФ) определяли с помощью фотометрического метода Фолина-Чокальтеу в соответствии с рабо-

той [14]. ОСФ определяли при длине волны 750 нм по отношению к чистому образцу (без экстракта) с помощью спектрофотометра и выражали в мг эквивалентов хлорогеновой кислоты (САЕ) на 100 г сухого вещества (мг САЕ/100 г сухого вещества).

Содержание флавоноидов. Общее содержание флавоноидов определяли спектрометрическим методом, основанным на реакции флавоноидных соединений с хлоридом алюминия. В стеклянную пробирку добавляли 2 мл экстракта манго и 2 мл 2 %-ного раствора хлорида алюминия (80 % раствор этанола). После перемешивания образцы хранили в темном месте в течение 10 мин [15]. С помощью спектрофотометра («Thermo Spectronic Helios Gamma», «Thermo Fischer Scientific», США) измеряли величину поглощения на длине волны 430 нм. Результаты выражали в мг эквивалента кверцетина (QE) на 1 г сухого вещества (мг QE/г сухого вещества).

Содержание каротиноидов. Общее содержание каротиноидов (ОСК) определяли спектрофотометрическим методом с применением растворов Карреза I и II [16]. Экстракцию осадка проводили с использованием ацетона и петролейного эфира и измеряли поглощение на длине волны 450 нм. Величину ОСК выражали в мг/100 г сухого вещества.

Антиоксидантная активность. Антиоксидантную способность оценивали с использованием свободных радикалов ABTS и DPPH. Методы исследования описаны в работе [15]. Антиоксидантную способность выражали в EC_{50} , которая представляет собой концентрацию экстракта, необходимую для уменьшения половины свободных радикалов (мг сухого вещества/мл).

Статистический анализ. Все эксперименты и измерения проводились с тройной повторностью. Для статистической оценки данных применяли метод ANOVA при $\alpha = 0,05$ в программной среде Statistica.

Результаты и их обсуждение

Сублимационная сушка. На рисунке 2 представлены экспериментальные кривые сублима-

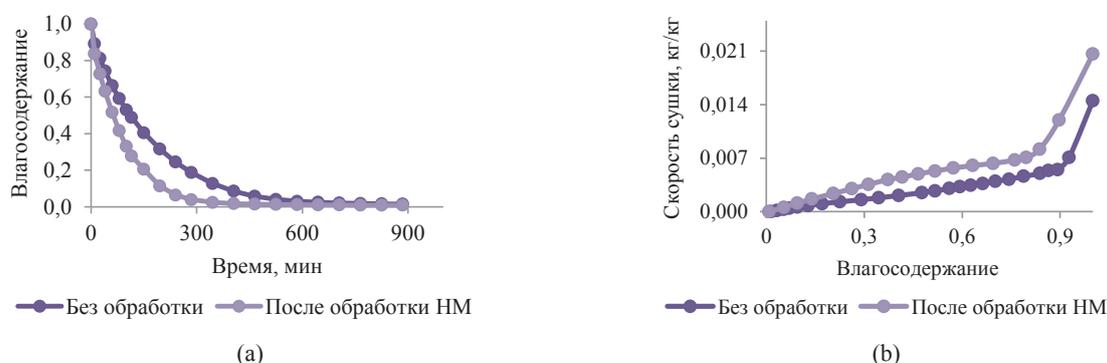


Рисунок 2. Кривая сушки (а) и кривая скорости сушки (б) обработанных нитевидной микроплазмой образцов манго в сублимационной сушилке

Figure 2. Drying curve (a) and drying rate curve (b) of freeze-dried mango samples treated with filamentous microplasma

ционной сушки нарезанных ломтиков плода манго. Полученные кривые сушки хорошо согласуются с работами авторов [2, 17]. Сушка предварительно обработанных нитевидной микроплазмой образцов манго проходила в две стадии:

1) переходная ранняя стадия, в течение которой удаляется свободная поверхностная влага;

2) период падающей скорости сушки, в течение которого удаляется физически и физико-химически связанная влага.

Предварительная обработка нитевидной микроплазмой демонстрирует значительное ускорение процесса сушки (рис. 2). Применение предварительной обработки НМ с удельным расходом энергии 1 кДж/кг снизило длительность процесса сушки на 35 %, которая необходима для достижения равновесного содержания влаги ($K_{\text{вл}} = 0,004$).

Электропорированная клеточная структура увеличивает массоперенос от внутренней структуры материала к поверхности [18]. Скорость сушки манго в начале периода падающей скорости сушки увеличилась с 0,005 (кг воды/кг сухого вещества)/мин до 0,0081 (кг воды/кг сухого вещества)/мин для образцов, предварительно обработанных НМ. Равновесное содержание влаги исследуемых образцов было достигнуто на 1320 и 825 минутах при предварительной обработке НМ при удельном расходе энергии 1 кДж/кг. При содержании влаги в плодах манго $K_{\text{вл}} < 0,1$ скорость сушки значительно снизилась. Это может быть вызвано длительностью процесса сушки, а также наличием химически связанной влаги в продукте.

Из анализа кинетики сублимационной сушки можно сделать вывод, что предварительная обработка НМ облегчает процесс сушки, ускоряя его за счет сформированных от воздействия НМ дополнительных каналов (пор) в структуре материала [19].

Регидратация образцов манго. Коэффициент регидратации считается одним из важнейших показателей качества высушенных продуктов. Степень восстановления при регидратации зависит от условий сушки, конечного содержания влаги и параметров предварительной обработки НМ. Графики изменения коэффициента регидратации ломтиков манго, высушенных с помощью сублимационной сушки без предварительной обработки НМ и после обработки НМ, приведены на рисунке 3. Коэффициент регидратации ломтиков манго изменялся от 82 до 97 % по отношению к массе образца до начала процесса. Из рисунка 3 видно, что использование обработки НМ ломтиков манго перед сушкой значительно повлияло на коэффициент регидратации. Предварительно обработанные НМ образцы манго перед сублимационной сушкой полностью восстанавливают исходную влажность и начальные физические свойства. Коэффициент регидратации для обработанных НМ образцов перед сублимационной сушкой через 1 ч составил 3,14 в

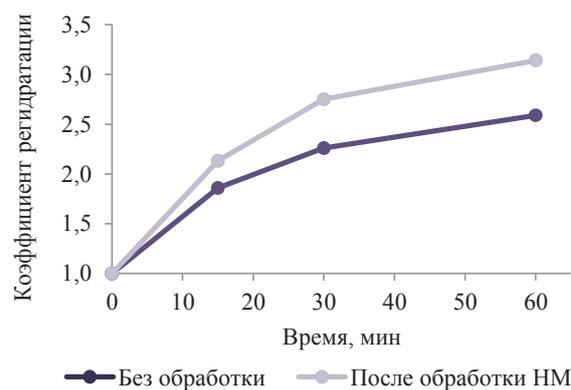


Рисунок 3. Зависимость коэффициента регидратации от времени при сублимационной сушке для образцов манго без и после предварительной обработки нитевидной микроплазмой

Figure 3. Effect of freeze drying time on the rehydration coefficient for mango samples with and without filamentous microplasma pretreatment

отличие от необработанных – 2,58.

Быстрое поглощение влаги связано с поверхностным и капиллярным всасыванием [20]. Улучшение восстановительной способности предварительно обработанных НМ образцов при сублимационной сушке обусловлено отсутствием объемной усадки. Это приводит к увеличению имеющегося межклеточного пространства, которое заполнено водой.

Качество образцов манго. Влага, испаряясь из материала в процессе сушки, уносит с собой летучие компоненты. Высушенные продукты теряют свой вкус и аромат. Состав летучих компонентов, выходящих с влагой, зависит от изменения температуры продукта в процессе сушки, а также от давления пара при данной температуре. Большое значение имеет растворимость в воде летучих компонентов высушиваемого материала. Некоторыми авторами сообщалось, что предварительная обработка импульсным электрическим полем может повысить эффективность извлечения ценных компонентов вместе с летучими компонентами продуктов [21].

Результаты исследования качественных характеристик высушенных плодов манго представлены в таблице 1. Данные показали, что общее содержание фенолов в свежих и высушенных образцах с применением предварительной обработки НМ изменялось в пределах от 206,0 до 297,6 мг САЕ/100 г сухого вещества.

Предварительная обработка НМ значительно повлияла на содержание фенолов: от 206,0 мг САЕ/100 г сухого вещества до 220,9 мг САЕ/100 г сухого вещества в образцах после сублимационной сушки с обработкой НМ при удельном расходе энергии 1 кДж/кг. Наибольшее содержание фенолов наблюдалось именно в этих образцах из-за отсутствия влияния высоких температур при сублимационной сушке с дополнительным эффектом

Таблица 1. Влияние обработки нитевидной микроплазмой на общее содержание фенолов, флавоноидов, каротиноидов и антиоксидантную способность образцов манго

Table 1. Effect of filamentous microplasma treatment on the total content of phenols, flavonoids, carotenoids, and antioxidant capacity of mango samples

Образец	Содержание фенолов, мг САЕ/100 г сухого вещества	Содержание флавоноидов, мг QE/г сухого вещества	Содержание каротиноидов, мг/100 г сухого вещества	Антиоксидантная активность (ABTS)	Антиоксидантная активность (DPPH)
Сублимационная сушка без обработки	206,0 ± 0,8	1,41 ± 0,23	114,9 ± 1,1	0,43 ± 0,00	0,90 ± 0,00
Сублимационная сушка с обработкой НМ 1 кДж/кг	220,9 ± 8,2	1,03 ± 0,01	172,4 ± 2,2	0,41 ± 0,00	0,75 ± 0,02
Свежее манго	297,6 ± 14,7	0,76 ± 0,09	487,1 ± 2,0	0,68 ± 0,03	1,18 ± 0,08

предварительной обработки НМ. Предварительная обработка НМ воздействует на структуру клеточной мембраны, способствуя улучшенному массообмену и высокой степени извлечения фенольных соединений. Результаты из таблицы 1 показали высокое содержание фенолов, которое отличается от данных, представленных в работах некоторых исследователей [17, 22]. Эти отличия можно объяснить различиями в степени зрелости исходных плодов манго.

Общее содержание флавоноидов. Флавоноиды являются важными биологически активными компонентами, которые обладают способностью уменьшать образование свободных радикалов и поглощать свободные радикалы. Предварительная обработка НМ для образцов, высушенных в сублимационной сушилке, повлияла на общее содержание флавоноидов, снизив с 1,41 до 1,03 мг QE/г сухого вещества. По сравнению со свежими образцами манго общее содержание флавоноидов в высушенных образцах увеличилось.

Общее содержание каротиноидов. Для образцов манго, высушенных в сублимационной сушилке с предварительной обработкой НМ и удельной энергии 1 кДж/кг, было установлено положительное влияние на содержание общего количества каротиноидов. Общее содержание каротиноидов увеличилось на 57,5 мг/100 г сухого вещества (50,0 %) при сублимационной сушке. Стоит отметить, что, в сравнении с другими методами сушки (конвективная и вакуумная), только сублимационная сушка может предотвратить окислительные потери каротиноидов. Результат эксперимента показал, что стадия предварительной обработки НМ важна для получения высокого выхода каротиноидов.

Антиоксидантные свойства, методы анализа ABTS и DPPH. Антиоксидантная способность свежего плода манго снизилась после сушки без обработки и после предварительной обработки НМ. Самая низкая антиоксидантная способность была обнаружена в образце без обработки НМ. Значения антиоксидантной активности при анализе DPPH изменялись с 0,74 до 1,18 ммоль QE/г сухого вещества в высушенных образцах манго. Значение DPPH снизилось на 0,15 ммоль QE/г сухого вещества

(17,7 %) после предварительной обработки НМ.

Таким образом, предварительная обработка НМ оказывает негативное влияние на антиоксидантные свойства плодов манго после сушки. Такое снижение может быть вызвано наличием активного ионизирующего фона при обработке нитевидной микроплазмой.

Выводы

Предварительная обработка нитевидной микроплазмой при поддержке термоэлектронной эмиссии оказывает значительное влияние на кинетику сублимационной сушки, общее содержание фенолов, флавоноидов, каротиноидов и антиоксидантную способность образцов манго. Предварительная обработка НМ снизила длительность сублимационной сушки на 495 мин (38 %) и повлияла на коэффициент регидратации, увеличив его с 2,58 до 3,14.

Экспериментально установлено, что предварительная обработка НМ увеличивает способность к физическому восстановлению образцов, высушенных в сублимационной сушилке. Предварительная обработка НМ позволила сохранить высокое содержание фенолов и каротиноидов в образцах манго. Однако общее содержание флавоноидов для высушенных образцов манго снизилось после обработки НМ. Значение антиоксидантной способности высушенных образцов манго было снижено для образцов с предварительной обработкой НМ. Исходя из общей картины полученных результатов, можно сделать вывод, что предварительная обработка нитевидной микроплазмой при поддержке термоэлектронной эмиссии положительно влияет на качество плодов манго после сублимационной сушки, снижает длительность процесса и улучшает регидратационные характеристики продукта.

Критерии авторства

М. Д. Соснин занимался проведением лабораторных экспериментов, расчетом основных показателей качества плодов манго. И. А. Шорсткий руководил проектом.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Oleksii Parniakov из Elea GmbH за сотрудничество и предоставление некоторых экспериментальных данных.

Contribution

M.D. Sosnin performed laboratory experiments and

calculated the main quality indicators. I.A. Shorstkii supervised the project.

Conflict of interest

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

Acknowledgements

The authors are grateful to Oleksii Parniakov from Elea GmbH for cooperation and experimental data.

Список литературы

1. Mango production worldwide from 2000 to 2016 (in million metric tons) [Internet]. – Available from: <https://www.statista.com/statistics/577951/world-mango-production>. – Date of application: 02.10.2020.
2. Izli, N. Influence of different drying techniques on drying parameters of mango / N. Izli, G. Izli, O. Taskin // *Food Science and Technology*. – 2017. – Vol. 37, № 4. – P. 604–612. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.28316>.
3. Influence of dual-stage sugar substitution pretreatment on drying kinetics and quality parameters of mango / R. A. B. de Medeiros, Z. M. P. Barros, C. B. O. de Carvalho [et al.] // *LWT – Food Science and Technology*. – 2016. – Vol. 67. – P. 167–173. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.049>.
4. Мякинникова, Е. И. Использование электрофизических и газожидкостных технологий для сушки плодового сырья / Е. И. Мякинникова, Г. И. Касьянов // *Техника и технология пищевых производств*. – 2015. – Т. 37, № 2. – С. 48–53.
5. Aghbashlo, M. Computer vision technology for real-time food quality assurance during drying process / M. Aghbashlo, S. Hosseinpour, M. Ghasemi-Varnamkhasi // *Trends in Food Science and Technology*. – 2014. – Vol. 39, № 1. – P. 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.06.003>.
6. Solvent-free extraction of food and natural products / F. Chemat, A. S. Fabiano-Tixier, M. A. Vian [et al.] // *TrAC – Trends in Analytical Chemistry*. – 2015. – Vol. 71. – P. 157–168. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.02.021>.
7. Shorstkii, I. Drying technology assisted by nonthermal pulsed filamentary microplasma treatment: Theory and practice / I. Shorstkii, E. Koshevoi // *ChemEngineering*. – 2019. – Vol. 3, № 4. – P. 1–12. <https://doi.org/10.3390/chemengineering3040091>.
8. Шорсткий, И. А. Применение обработки импульсным электрическим полем биоматериалов при подготовке к сушке / И. А. Шорсткий. – Краснодар : Издательский Дом-Юг, 2020. – 172 с.
9. Pulsed electric field assisted vacuum freeze-drying of apple tissue / O. Parniakov, O. Bals, N. Lebovka [et al.] // *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. – 2016. – Vol. 35. – P. 52–57. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.04.002>.
10. The effects of pulsed electric fields on the quality parameters of freeze-dried apples / A. Lammerskitten, A. Wiktor, C. Siemer [et al.] // *Journal of Food Engineering*. – 2019. – Vol. 252. – P. 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.006>.
11. Wu, Y. Effect of pulsed electric field on freeze-drying of potato tissue / Y. Wu, D. Zhang // *International Journal of Food Engineering*. – 2014. – Vol. 10, № 4. – P. 857–862. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2014-0149>.
12. Biological decontamination using pulsed filamentary microplasma jet / R. Pothiraja, J.-W. Lackmann, G. Keil [et al.] // *NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology*. – 2012. – P. 45–55. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2852-3_4.
13. Schoenbach, K. H. 20 years of microplasma research: a status report / K. H. Schoenbach, K. Becker // *The European Physical Journal D*. – 2016. – Vol. 70, № 2. <https://doi.org/10.1140/epjd/e2015-60618-1>.
14. The application of unconventional technologies as pulsed electric field, ultrasound and microwave-vacuum drying in the production of dried cranberry snacks / M. Nowacka, A. Wiktor, A. Anuszezwska [et al.] // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2019. – Vol. 56. – P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.03.023>.
15. Effect of ultrasound treatment during osmotic dehydration on bioactive compounds of cranberries / M. Nowacka, A. Fijalkowska, M. Dadan [et al.] // *Ultrasonics*. – 2018. – Vol. 83. – P. 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2017.06.022>.
16. The impact of pulsed electric field treatment on selected bioactive compound content and color of plant tissue / A. Wiktor, M. Sledz, M. Nowacka [et al.] // *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. – 2015. – Vol. 30. – P. 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.04.004>.
17. Kumar, P. S. Drying kinetics and physico-chemical characteristics of Osmo-dehydrated Mango, Guava and Aonla under different drying conditions / P. S. Kumar, V. R. Sagar // *Journal of Food Science and Technology*. – 2014. – Vol. 51, № 8. – P. 1540–1546. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0658-3>.
18. Vorobiev, E. Fundamentals of electroporation, theory and mathematical models for simulation of PEE processing / E. Vorobiev, N. Lebovka // *Processing of foods and biomass feedstocks by pulsed electric energy* / E. Vorobiev, N. Lebovka. – Cham : Springer, 2020. – P. 27–49. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40917-3_2.

19. Шорсткий, И. А. Оценка воздействия импульсного электрического разряда на процесс переноса вещества в растительном материале / И. А. Шорсткий, Д. А. Худяков // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. – 2019. – Т. 368–369, № 2–3. – С. 79–82.
20. Singh, J. S. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development / J. S. Singh, V. C. Pandey, D. P. Singh // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 2011. – Vol. 140, № 3–4. – P. 339–353. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017>.
21. Buckow, R. Pulsed electric field processing of orange juice: a review on microbial, enzymatic, nutritional, and sensory quality and stability / R. Buckow, S. Ng, S. Toepfl // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2013. – Vol. 12, № 5. – P. 455–467. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12026>.
22. Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits / N. M. Shofian, A. A. Hamid, A. Osman [et al.] // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2011. – Vol. 12, № 7. – P. 4678–4692. <https://doi.org/10.3390/ijms12074678>.

References

1. Mango production worldwide from 2000 to 2016 (in million metric tons) [Internet]. [cited 2020 Oct 02]. Available from: <https://www.statista.com/statistics/577951/world-mango-production>.
2. Izli N, Izli G, Taskin O. Influence of different drying techniques on drying parameters of mango. *Food Science and Technology*. 2017;37(4):604–612. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.28316>.
3. de Medeiros RAB, Barros ZMP, de Carvalho CBO, Neta EGF, Maciel MIS, Azoubel PM. Influence of dual-stage sugar substitution pretreatment on drying kinetics and quality parameters of mango. *LWT – Food Science and Technology*. 2016;67:167–173. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.049>.
4. Myakinnikova EI, Kasyanov GI. Application of electrophysical and gas-liquid technologies for drying of fruit raw material. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2015;37(2):48–53. (In Russ.).
5. Aghbashlo M, Hosseinpour S, Ghasemi-Varnamkhasi M. Computer vision technology for real-time food quality assurance during drying process. *Trends in Food Science and Technology*. 2014;39(1):76–84. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.06.003>.
6. Chemat F, Fabiano-Tixier AS, Vian MA, Allaf T, Vorobiev E. Solvent-free extraction of food and natural products. *TrAC – Trends in Analytical Chemistry*. 2015;71:157–168. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.02.021>.
7. Shorstkii I, Koshevoi E. Drying technology assisted by nonthermal pulsed filamentary microplasma treatment: Theory and practice. *ChemEngineering*. 2019;3(4):1–12. <https://doi.org/10.3390/chemengineering3040091>.
8. Shorstkiy IA. *Primenenie obrabotki impul'snym ehlektricheskim polem biomaterialov pri podgotovke k sushke [Application of pulsed electric field processing of biomaterials in preparation for drying]*. Krasnodar: Izdatel'skiy Dom-Yug; 2020. 172 p. (In Russ.).
9. Parniakov O, Bals O, Lebovka N, Vorobiev E. Pulsed electric field assisted vacuum freeze-drying of apple tissue. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2016;35:52–57. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.04.002>.
10. Lammerskitten A, Wiktor A, Siemer C, Toepfl S, Mykhailik V, Gondek E, et al. The effects of pulsed electric fields on the quality parameters of freeze-dried apples. *Journal of Food Engineering*. 2019;252:36–43. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.006>.
11. Wu Y, Zhang D. Effect of pulsed electric field on freeze-drying of potato tissue. *International Journal of Food Engineering*. 2014;10(4):857–862. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2014-0149>.
12. Pothiraja R, Lackmann J-W, Keil G, Bibinov N, Awakowicz P. Biological decontamination using pulsed filamentary microplasma jet. *NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology*. 2012;45–55. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2852-3_4.
13. Schoenbach KH, Becker K. 20 years of microplasma research: a status report. *The European Physical Journal D*. 2016;70(2). <https://doi.org/10.1140/epjd/e2015-60618-1>.
14. Nowacka M, Wiktor A, Anuszevska A, Dadan M, Rybak K, Witrowa-Rajchert D. The application of unconventional technologies as pulsed electric field, ultrasound and microwave-vacuum drying in the production of dried cranberry snacks. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2019;56:1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.03.023>.
15. Nowacka M, Fijalkowska A, Dadan M, Rybak K, Wiktor A, Witrowa-Rajchert D. Effect of ultrasound treatment during osmotic dehydration on bioactive compounds of cranberries. *Ultrasonics*. 2018;83:18–25. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2017.06.022>.
16. Wiktor A, Sledz M, Nowacka M, Rybak K, Chudoba T, Lojkowski W, et al. The impact of pulsed electric field treatment on selected bioactive compound content and color of plant tissue. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2015;30:69–78. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.04.004>.
17. Kumar PS, Sagar VR. Drying kinetics and physico-chemical characteristics of Osmo-dehydrated Mango, Guava and *Aonla* under different drying conditions. *Journal of Food Science and Technology*. 2014;51(8):1540–1546. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0658-3>.
18. Vorobiev E, Lebovka N. Fundamentals of electroporation, theory and mathematical models for simulation of PEE processing. In: Vorobiev E, Lebovka N, editors. *Processing of foods and biomass feedstocks by pulsed electric energy*. Cham: Springer; 2020. pp. 27–49. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40917-3_2.

19. Shorstkiy IA, Khudyakov DA. Assessment of pulse electric discharge on the process of transfer of substance in plant material. *News of institutes of higher education. Food technology*. 2019;368–369(2–3):79–82. (In Russ.).
20. Singh JS, Pandey VC, Singh DP. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2011;140(3–4):339–353. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017>.
21. Buckow R, Ng S, Toepfl S. Pulsed electric field processing of orange juice: a review on microbial, enzymatic, nutritional, and sensory quality and stability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2013;12(5):455–467. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12026>.
22. Shofian NM, Hamid AA, Osman A, Saari N, Anwar F, Dek MSP, et al. Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits. *International Journal of Molecular Sciences*. 2011;12(7):4678–4692. <https://doi.org/10.3390/ijms12074678>.

Сведения об авторах

Соснин Максим Дмитриевич

аспирант кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», 350072, Россия, г. Краснодар, ул. Московская, 2, тел.: +7 (918) 68-58-201, e-mail: maksim-sosnin7@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-6275-6274>

Шорсткий Иван Александрович

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», 350072, Россия, г. Краснодар, ул. Московская, 2, e-mail: thegector@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5804-7950>

Information about the authors

Maxim D. Sosnin

Postgraduate Student of the Department of Technological Equipment and Life-Support Systems, Kuban State Technological University, 2, Moskovskaya Str., Krasnodar, 350072, Russia, phone: +7 (918) 68-58-201, e-mail: maksim-sosnin7@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-6275-6274>

Ivan A. Shorstkii

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technological Equipment and Life-Support Systems, Kuban State Technological University, 2, Moskovskaya Str., Krasnodar, 350072, Russia, e-mail: thegector@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5804-7950>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-690-706>
УДК 615.322:675.92.027.3

Обзорная статья
<http://fppt.ru>

Экструдирование растительного сырья для продуктов питания (обзор)



О. Н. Бахчевников*^{ORCID}, С. В. Брагинец^{ORCID}

Дата поступления в редакцию: 02.11.2020
Дата принятия в печать: 25.12.2020

Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, Россия

*e-mail: oleg-b@list.ru



© О. Н. Бахчевников, С. В. Брагинец, 2020

Аннотация.

Введение. В обзоре рассмотрены вопросы экструдирования растительного сырья для производства пищевых продуктов. Целью исследования является обобщение и анализ англоязычных научных публикаций, посвященных технологиям экструдирования растительного сырья, извлечение информации о рациональных параметрах их осуществления и влиянии на свойства готовых экструдатов.

Объекты и методы исследования. Процесс экструдирования растительного сырья в ходе производства пищевых продуктов. Выполнен систематический обзор научной литературы на английском языке по тематике технологических параметров экструдирования растительного сырья за период 2000–2020 гг.

Результаты и их обсуждение. Анализ научных публикаций по исследуемой теме показал, что экструдирование является одним из самых эффективных способов переработки растительного сырья в пищевые продукты. Выявлены закономерности влияния параметров экструдирования на составляющие растительного сырья. Экструдирование позволяет повысить усвояемость компонентов растительного сырья, в частности протеина и крахмала, а также снизить содержание антипитательных факторов. Процесс экструзии наиболее эффективно протекает при высоких температурах, скорости вращения шнека экструдера и влажности сырья. Выявлено противоречие между необходимостью поддержания высокой температуры и частоты вращения шнека экструдера для эффективного выполнения процесса экструзии и негативным воздействием этих параметров на сохранность питательных веществ.

Выводы. Научные исследования должны быть направлены на выявление оптимальных параметров экструзии каждого вида сырья и их смесей с целью соблюдения баланса между требуемыми свойствами экструдата и сохранностью питательных веществ. Недостаточно исследована тема формирования в процессе экструзии сложных комплексов питательных веществ и влияние на их образование параметров экструдирования. Тематика экструдирования растительного сырья для производства пищевых продуктов является перспективной, но требует проведения дополнительных исследований.

Ключевые слова. Растительное сырье, экструдирование, экструдат, технологические параметры, свойства экструдата, питательная ценность

Финансирование. Работа выполнена на базе ФГБНУ «АНЦ «Донской» в рамках Государственного задания (тема № 0706-2019-0006).

Для цитирования: Бахчевников, О. Н. Экструдирование растительного сырья для продуктов питания (обзор) / О. Н. Бахчевников, С. В. Брагинец // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 690–706. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-690-706>.

Review article

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

Extrusion of Plant Raw Materials in Food Production: A Review

Oleg N. Bakhchevnikov*^{ORCID}, Sergey V. Braginetz^{ORCID}

Received: November 02, 2020
Accepted: December 25, 2020

Agricultural Research Centre “Donskoy”, Zernograd, Russia

*e-mail: oleg-b@list.ru



© O.N. Bakhchevnikov, S.V. Braginetz, 2020

Abstract.

Introduction. The present review covers the issues of extrusion of plant raw materials in food industry. The authors analyzed foreign publications about various extrusion technologies, their rational parameters, and their effect on the properties of final products.

Study objects and methods. The research featured extrusion methods of plant raw materials in food production. The review included scientific articles published in English in 2000–2020.

Results and discussion. Extrusion is an effective processing method for plant raw materials in food industry. The analysis made it possible to define the effect of extrusion parameters on the components of plant raw materials. Extrusion increases digestibility of such plant components as protein and starch. High temperature, speed, and moisture are the optimal parameters for extrusion. High barrel temperature has a negative effect on vitamin and carotene content, while feed rate and screw speed are not important. Extrusion leads to complete mycotoxins reduction at critical temperatures. While high temperature and screw speed are important for process efficiency, they have a negative effect on the nutritional value of the final product.

Conclusion. Optimal parameters of various raw materials and their compounds remain largely understudied, in spite of the fact that they are responsible for the balance between the required extrudate properties and nutritional value. Formation of nutrient complexes and their effect on the process parameters also require further research, especially in regard with protein-carbohydrate and amylase-lipid complexes. In general, extrusion of plant raw materials remains a promising but largely neglected research topic in food science.

Keywords. Vegetable raw materials, extrusion, extrudate, processing parameters, extrudate properties, nutritive value

Funding. The research was performed on the premises of the Agricultural Research Center “Donskoy” as part of state assignment No. 0706-2019-0006.

For citation: Bakhchevnikov ON, Braginets SV. Extrusion of Plant Raw Materials in Food Production: A Review. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(4):690–706. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-690-706>.

Введение

В настоящее время значительная часть растительного сырья, используемого при производстве продуктов питания, подвергается экструдированию [1]. Достоинством этой технологии является радикальное изменение структуры сырья, его физических свойств и питательной ценности, а также химического состава в процессе обработки [2]. Кроме того, экструдирование создает возможность изменения в широких пределах свойств готового продукта при варьировании параметров процесса [3, 4].

Экструдированию подвергают широкий спектр видов растительного сырья: зерно, бобы, фрукты, овощи, клубни, листья и стебли растений, а также их смеси [5]. Важным преимуществом технологии экструдирования является возможность обработки отходов пищевой промышленности, таких как выжимки плодов, кожура фруктов и др., с целью их последующего включения в состав пищевых продуктов [1, 2, 6].

Для осуществления процесса экструдирования используют одношнековые и двухшнековые экструдеры [3]. Несмотря на большое разнообразие моделей, их конструкция сходна и включает бункер для загрузки сырья, шнек с винтовой навивкой, вращающийся в неподвижном цилиндрическом корпусе, в конце которого имеется отверстие (фильера) для выхода экструдата [3, 7]. Дополнительно в конструкцию экструдера могут включать электрические нагреватели корпуса для повышения температуры процесса и устройства для подачи в корпус воды или пара для увлажнения сырья [8]. Одношнековые экструдеры обычно используют для обработки однокомпонентных или малокомпонентных продуктов, а двухшнековые – для получения сложных многокомпонентных продуктов [9].

Обычно в экструдер загружают предварительно подготовленное методами измельчения, увлажнения и кондиционирования растительное сырье или смесь сырьевых компонентов [10]. Сырье, перемещаемое шнеком по корпусу, под действием высокого давления и температуры, а также резкого перепада давления при выходе из фильеры изменяет свою структуру и свойства [4, 11]. В качестве переменных входных параметров, изменяющих течение процесса экструдирования и свойства готового экструдата, обычно выступают скорость подачи сырья в экструдер, частота вращения шнека, соотношение диаметра и длины шнека, температура экструдирования, давление и диаметр фильеры [4, 12]. Также значение имеют исходные свойства сырья, такие как влажность, степень измельчения, химический состав, жирность и др. [4, 13].

В процессе экструдирования растительное сырье претерпевает целый ряд физико-химических изменений и изменений питательной ценности [13]. Они включают окисление жиров, денатурацию белка, формирование перекрестных связей белков с другими веществами, желатинизацию и декстринизацию крахмала, разрушение витаминов и каротина, денатурацию энзимов, изменение структуры (консистенции), цвета и запаха продукта [13, 14]. Эти изменения являются результатом комплексного воздействия на сырье перечисленных выше переменных входных параметров процесса экструдирования [4, 5, 12].

Параметры процесса экструдирования растительного сырья изменяют, чтобы добиться получения продукта с требуемыми свойствами и обеспечить минимальное снижение питательной ценности продукта вследствие разрушения полезных веществ [15]. Помимо этого, подбором рациональных параметров процесса экструдирования возможно

решить еще две важные задачи: разрушение антипитательных веществ (ингибиторы протеазы и др.), содержащихся в некоторых видах растительного сырья, и уничтожение патогенных микроорганизмов [1, 2, 16].

Так как воздействие входных параметров на сырье в процессе экструзии является комплексным, то бывает сложно определить изменение каких параметров привело к конкретному изменению свойств экструдата. Правильное определение взаимосвязи входных параметров процесса и выходных свойств продукта осложнено большим разнообразием видов и смесей растительного сырья. Также составляющие растительного сырья химические вещества при экструдировании под действием высокой температуры и давления могут вступать в химические реакции друг с другом, образуя сложные комплексы [17]. Это приводит к тому, что экспериментальные результаты, полученные разными исследователями, противоречат друг другу.

Все это потребовало проведения обзора и критического анализа научных публикаций, посвященных теме экструдирования растительного сырья при производстве продуктов питания. Ввиду значительного количества таких публикаций в данной работе выполнен обзор статей на английском языке. Обзор русскоязычных публикаций будет представлен позднее.

Целью исследования является обобщение и сравнительный анализ англоязычных научных публикаций, посвященных технологиям экструдирования растительного сырья, используемого для производства пищевых продуктов, извлечению информации о рациональных параметрах их осуществления и влиянию на свойства готовых экструдатов.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является процесс экструдирования растительного сырья в ходе производства пищевых продуктов.

Отбор и систематический обзор научной литературы по теме исполнен по методике R. J. Тогасо и С. Околи [18, 19].

Для отбора научных статей на английском языке провели поиск по ключевым словам в библиографических базах «Google Scholar» и «Scopus». Дополнительно был выполнен обзор научных журналов по теме исследования. При выборе статей для обзора приоритет отдавали высокоцитируемым источникам (более 15 цитирований в «Scopus»). Списки литературы отобранных статей были просмотрены для выявления дополнительных релевантных источников.

Поиск публикаций осуществляли по следующим ключевым словам (на английском языке) и их

комбинациям: vegetable raw materials (растительное сырье), extrusion (экструдирование), extrudate (экструдат), processing parameters (параметры процесса), extrudate properties (свойства экструдата), food (пища).

В качестве временных рамок для выбора научных публикаций нами был принят интервал 2000–2020 гг. Более ранние научные статьи изучали только при отсутствии новых публикаций по конкретному аспекту исследуемой тематики.

Результаты и их обсуждение

Влияние параметров экструдирования на составляющие растительного сырья. Протеин. Параметры экструдирования оказывают значительное влияние на свойства и структуру растительного протеина, а также на его взаимодействие с другими веществами [20]. При высокой температуре экструзии такое влияние может быть негативным, приводя к денатурации белка и образованию меланоидинов в результате реакции Майяра аминокислот с сахарами [21]. В результате происходит снижение усвояемости белка [22]. Правильно подобранные параметры экструдирования приводят к повышению усвояемости протеина в результате происходящего при денатурации увеличения площади поверхности белковых молекул, доступной для взаимодействия с ферментами [23]. В. Zhang с соавторами установил, что при экструдировании семян рапса высокая усвояемость белка наблюдалась лишь при исходной влажности сырья более 30 % [24].

Анализ аминокислотного профиля исходного растительного сырья и экструдатов позволяет оценить влияние экструдирования на качество и сохранность протеина [5]. Лизин, цистеин и аргинин являются самыми нестабильными из аминокислот при экструзии [2, 5]. Температура процесса и влажность сырья оказывают наибольшее влияние на сохранность аминокислот [5, 25]. S. Singh и др. установили, что минимальные потери лизина в ходе экструзии наблюдаются при влажности сырья более 15 % и температуре менее 180 °C [5]. Авторы сделали вывод, что причиной снижения содержания лизина является протекание при высокой температуре и низкой влажности реакции Майяра, происходящей между сахарами и аминокислотной группой молекул аминокислот, в том числе ε-аминогруппой лизина [5].

М. О. Iwe и его соавторы выяснили, что увеличение частоты вращения шнека экструдера до 80–140 мин⁻¹ и уменьшение диаметра фильеры до 6–10 мм повышает сохранность лизина [26]. Они объясняют это сокращением продолжительности термической обработки сырья. Помимо этого, высокая частота вращения шнека и высокая скорость подачи увеличивают переваримость белка за счет усиления его денатурации под действием высокого напряжения сдвига в экструдированном сырье [2, 5].

Экструзия приводит к взаимодействию протеина с различными питательными веществами растительного сырья с образованием перекрестных связей, что влияет на свойства экструдатов. Так, R. Alonso и A. A. F. Marzo установили, что экструдирование приводит к образованию дисульфидных связей и нековалентных взаимодействий, уменьшая растворимость белка в экструдате из гороха и фасоли [23].

S. Veck с соавторами определил, что низкая влажность сырья приводила к снижению растворимости протеина в гороховом экструдате [27]. Они установили, что температура и напряжение сдвига оказывают большее влияние на растворимость белка, чем влажность. Во время денатурации белка изменения в поверхностной гидрофобности позволяют его молекуле формировать трехмерную структуру с высокой водопоглощательной способностью и низкой растворимостью. D. Panyam и A. Kilara установили, что растворимость белка играет важную роль в его эмульгирующих свойствах, ускоряя диффузию протеина на поверхность продукта. Это снижает поверхностное натяжение [28]. По мнению A. Silva и др., экструдирование положительно влияет на эмульгирующую способность растительного протеина, что важно при производстве пищевых продуктов [29].

Таким образом, процесс экструдирования при невысокой температуре, высокой частоте вращения шнека экструдера и повышенной влажности сырья повышает усвояемость содержащегося в растительных продуктах протеина (рис. 1) [30].

Жиры. При приготовлении пищевых продуктов из растительного сырья методом экструдирования жиры

(липиды) обычно присутствуют в них в небольшом количестве [2, 31]. При этом они оказывают положительное влияние на процесс экструзии, способствуя снижению трения, пластифицируя продукт и склеивая его составные части [13]. Но содержание жиров более 5–6 % нежелательно, т. к. это замедляет работу экструдера и ухудшает протекание процесса экструзии [32]. Вращающий момент шнека экструдера уменьшается из-за увеличения трения продукта, также снижается индекс расширения экструдата [5, 32].

Известно, что окисление жиров в процессе обработки ухудшает свойства продукции. Результаты исследований показывают, что в ходе экструдирования это явление не наблюдается ввиду кратковременности процесса [5]. Кроме того, при экструзии разрушаются ферменты, ускоряющие окисление, а образующиеся в ходе реакции Майяра протеин-углеводные комплексы являются антиокислителями [5, 32].

Процесс экструдирования растительного сырья приводит к уменьшению содержания жиров в готовом продукте [2]. J. S. Tumuluğu и др. связывают снижение содержания жира с низкой влажностью сырья и высокой температурой экструзии [33]. В тоже время T. de Pilli и его соавторы установили, что сжигание жиров увеличивалось при влажности сырья (смесь пшеничной и миндальной муки) от 26 до 30 %, но уменьшалось при влажности от 30 до 36 % [34]. Причина этого противоречия не установлена. Вероятно, влияние оказали другие параметры процесса, в том числе вязкость сырья [2]. По мнению R. Sandrin и др., при экструзии риса и

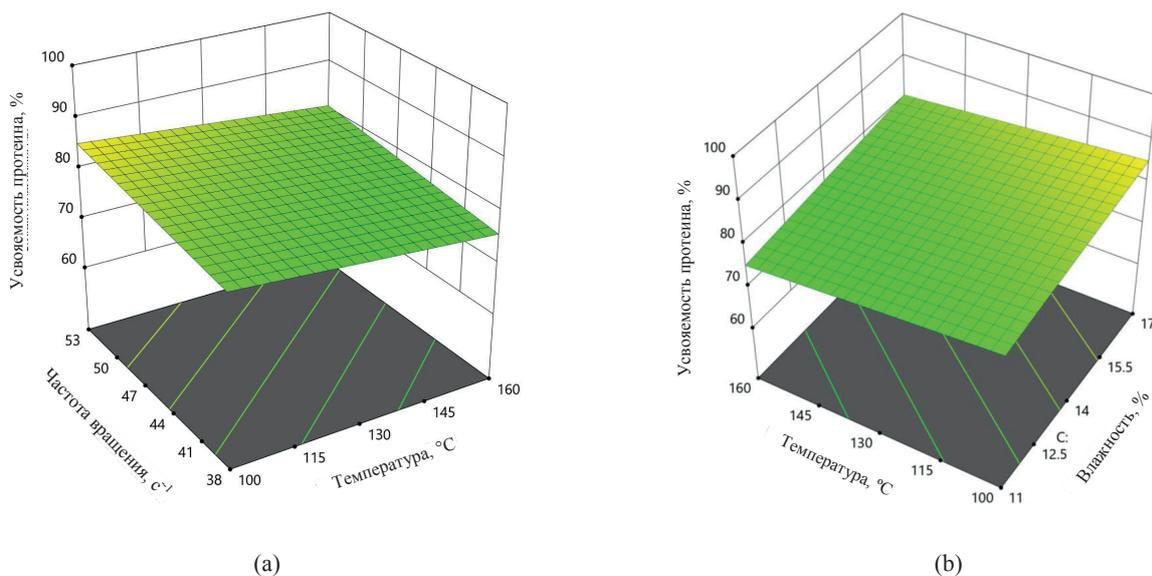


Рисунок 1. Влияние технологических параметров на усвояемость протеина при экструдировании измельченных зерен амаранта: а – влияние температуры и частоты вращения шнека; б – влияние температуры и влажности [30]

Figure 1. Effect of technological parameters on protein digestibility during extrusion of ground amaranth grains: a – temperature and screw speed; b – temperature and moisture [30]

овса скорость вращения шнека была более значимым фактором для снижения содержания жира, чем температура [35]. T. de Pilli с соавторами считает, что высокие температура и давление приводят к переходу жиров из твердой в жидкую форму, которая удаляется из экструдата [34]. Кроме того, происходит формирование липидно-амилозных и липидно-протеиновых комплексов. В результате чего химический анализ показывает низкое содержание жира в экструдате [2]. S. Bhatnagar и M. A. Hanna говорят об образовании липидно-амилозного комплекса при температуре экструзии кукурузного крахмала 110–140 °С [36]. J. A. G. Ageas и др. также сообщают об образовании липидно-амилозного комплекса при низкой влажности растительного сырья [37].

Таким образом, результаты проанализированных экспериментальных исследований подтверждают, что небольшое содержание жиров в сырье способствует эффективному осуществлению процесса экструдирования и предотвращает окисление готового продукта, а высокое ухудшает протекание процесса экструзии и качество продукта.

Углеводы. Многие виды растительного сырья, в частности фрукты, имеют высокое содержание сахаров. Известно, что при экструдировании сахара активно вступают в химические реакции с другими веществами [5]. Многие исследователи сообщают о значительном снижении содержания сахарозы в экструдатах [5, 25]. Так, M. E. Camigé с соавторами сообщает о снижении содержания сахара на 20 % в ходе экструдирования сырья для бисквитов при температуре 170–210 °С и влажности 13 % [38]. Это может быть объяснено превращением сахарозы в глюкозу и фруктозу, а также ее соединением с лизином в результате реакции Майяра [5, 25].

Многие виды растительного сырья, в частности зерновые культуры, имеют высокое содержание крахмала (амилоза и амилопектин). В процессе экструдирования крахмал способствует хорошему расширению экструдата [1, 2]. Во время экструзии крахмал значительно изменяет свою структуру. В нем происходят три процесса: желатинизация, деполимеризация и декстринизация [2]. Желатинизация важна, т. к. люди плохо усваивают нежелатинизированный крахмал [5]. Действие высокой температуры разрушает структуру молекул крахмала и межмолекулярные водородные связи [2]. В результате этого крахмал получает возможность усиленно поглощать влагу [39]. Из-за резкого падения давления при выходе продукта из фильеры экструдера происходит испарение этой влаги, что способствует формированию требуемой структуры экструдата [4].

Наибольшее влияние на преобразование крахмала при экструзии оказывают температура процесса и влажность сырья [1, 13]. J. de la Rosa-Millan и др.

заявляют о пропорциональном увеличении доли трансформированного крахмала при повышении температуры [40].

Установлено, что декстринизация крахмала наиболее активно происходит при низкой влажности и высоком напряжении сдвига [2]. При экструзии разрушаются ковалентные водородные связи в молекулах крахмала, что приводит к изменению структуры, делающему их более доступными для воздействия пищеварительных ферментов [2, 41].

Исследователи пришли к выводу, что обработка растительного сырья экструдированием обеспечивает самую высокую переваримость крахмала среди всех известных методов обработки [41]. A. Rafiq с соавторами сообщает, что при экструдировании риса переваримость крахмала повышалась при увеличении влажности и температуры [42]. Высокие значения давления также повышают переваримость крахмала, т. к. увеличивают площадь поверхности молекул, доступной для гидролиза [2].

Но при экструдировании растительного сырья, содержащего жиры, следует учитывать, что в результате может произойти снижение переваримости крахмала из-за формирования липидно-амилозных комплексов [36, 43]. Также имеются сведения о том, что высокое содержание сахаров в сырье препятствует процессу желатинизации крахмала [5].

Пищевые волокна важны для правильного пищеварения людей. Они состоят из полисахаридов, олигосахаридов и лигнина [5]. Результаты экспериментов L. E. Garcia-Amezquita с соавторами показывают, что содержание пищевых волокон в результате экструдирования при температуре 100–125 °С не снижается ввиду их устойчивости к ее действию [44]. S. Rashid и др. сообщают, что в результате экструзии при высокой температуре (более 160 °С) содержание пищевых волокон в пшеничных отрубях увеличилось. Это может быть объяснено их формированием из устойчивого к действию ферментов крахмала (амилозы) [45].

Таким образом, при экструзии с умеренной температурой 100–125 °С содержание пищевых волокон не снижается, а при высокой температуре (более 160 °С) может происходить увеличение их содержания по причине формирования из устойчивого к ферментам крахмала.

Такие виды углеводов, как сахара и крахмал, в ходе экструзии активно взаимодействуют с другими веществами и меняют свою структуру. Это требует регулирования параметров процесса обработки, в то время как пищевые волокна остаются стабильными.

Витамины. Степень сохранности разных витаминов при экструзии различна. Витамины E и A (токоферолы и каротиноиды) менее стабильны по сравнению с витаминами D и K [46]. Результаты многих исследований показывают, что высокая температура и низкая влажность

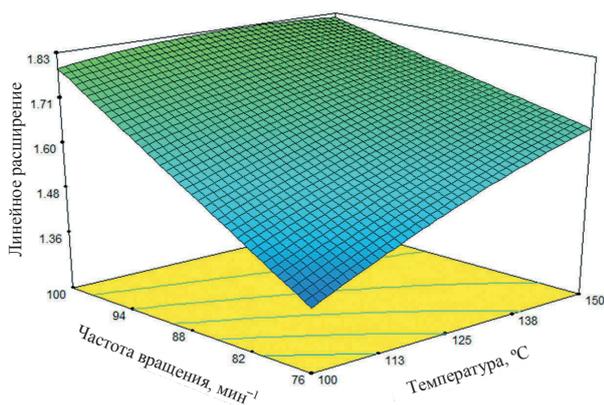


Рисунок 2. Влияние температуры и частоты вращения шнека экструдера на линейное расширение экструдата из зерна кукурузы и кожуры манго [57]

Figure 2. Effect of barrel temperature and screw speed on the linear expansion of corn-mango peel extrudates [57]

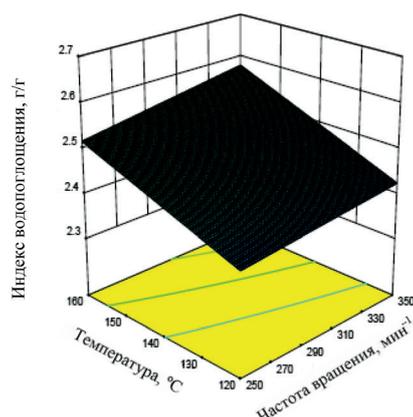


Рисунок 3. Влияние температуры экструзии и частоты вращения шнека на индекс водопоглощения экструдата [62]

Figure 3. Effect of extrusion temperature and screw speed on the water absorption index of the extrudate [62]

увеличивают разрушение витамина С (аскорбиновая кислота) при экструзии. А. Н. Даг и его соавторы установили, что при экструзии выжимок моркови увеличение температуры с 110 до 140 °С привело к значительному разрушению витамина С и β-каротина [47]. Основное влияние на сохранность каротиноидов оказывает температура процесса [5]. R. Guzman-Tello и J. S. Cheftel установили, что при экструзии смеси растительного сырья повышение температуры с 125 до 200 °С привело к полному разрушению содержащегося в нем β-каротина [48].

Н. Zieliński и др. сообщают, что при экструдировании гречневой крупы содержание витамина Е снизилось на 63 % из-за разрушения γ-токоферола [49]. Витамины группы В лучше сохраняются при низкой температуре и высокой влажности сырья [50]. S. R. Bajaj и R. S. Singhal исследовали влияние экструзии на сохранность витамина В₁₂ в снеках и установили, что его разрушение усиливалось при повышении температуры, а при температуре 194 °С произошло полное разрушение этого витамина [51]. В то же время значимого влияния скорости подачи и частоты вращения шнека на содержание витамина В₁₂ выявлено не было.

Таким образом, результаты экспериментов подтверждают, что высокая температура является ограничивающим фактором при экструзии богатого витаминами растительного сырья.

Антипитательные факторы. В некоторых видах растительного сырья присутствуют антипитательные вещества, такие как фитат, сапонин, оксалат, танин, ингибиторы трипсина/протеазы и др. [13].

Экструдирование позволяет максимально сократить их содержание в готовых продуктах питания. R. P. Rathod и U. S. Annarure установили, что при экструзии чечевицы максимальное разрушение

ингибиторов трипсина, фитиновой кислоты и танина наблюдалось при температуре 180 °С и влажности 22 % [52]. S. Kaug с соавторами выяснил, что при экструзии зерновых отрубей с температурой 140 °С разрушение антипитательных веществ усиливалось при увеличении влажности сырья [53]. По мнению S. Yagci и T. Evci, значительное влияние на разрушение фитатов оказывает повышение давления [54]. N. Mukhopadhyay и др. выяснили, что при экструзии семян льна разрушение танина усиливалось при увеличении частоты вращения шнека экструдера, достигая максимума при значении 96,8 мин⁻¹ [55]. T. U. Nwabueze определил, что наибольшее влияние на разрушение антипитательных факторов при экструзии смеси сои и плодов хлебного дерева оказывала частота вращения шнека (линейная зависимость). Ее увеличение с 90 до 190 мин⁻¹ уменьшило содержание вредных веществ: содержание ингибиторов трипсина снизилось на 91 %, а танин – на 92 % [56].

Таким образом, при экструзии растительного сырья влияние на разрушение антипитательных факторов оказывают влажность сырья, температура и частота вращения шнека экструдера.

Влияние параметров процесса экструдирования на свойства готовых экструдатов. Объемная плотность и индекс расширения экструдата. В результате экструзии готовый продукт расширяется и приобретает пористую структуру, что является положительным эффектом [2]. Оценить этот эффект помогают такие параметры экструдата, как объемная плотность и индекс расширения. Объемная плотность экструдата обратно пропорциональна индексу его расширения.

Индекс расширения экструдата зависит от влажности, температуры и частоты вращения шнека экструдера [1, 2]. М. М. Mazlan с соавторами

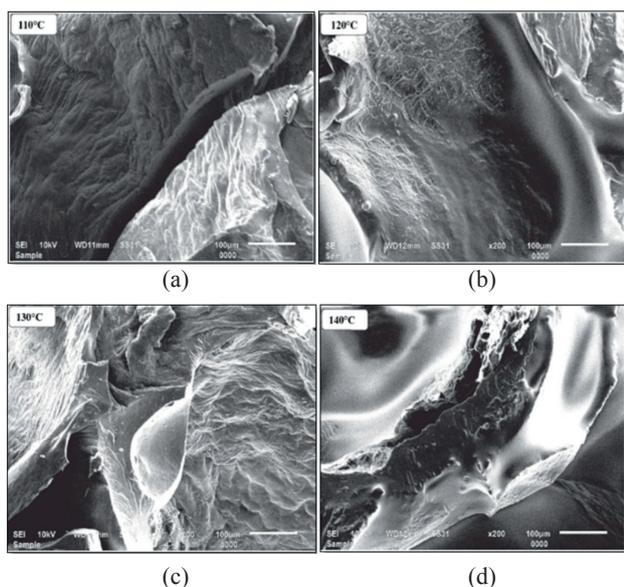


Рисунок 4. Влияние температуры экструзии на микроструктуру рисового экструдата: а – 110 °С; б – 120 °С; в – 130 °С; д – 140 °С [47]

Figure 4. Effect of extrusion temperature on the microstructure of rice extrudate: a – 110 °C; b – 120 °C; c – 130 °C; d – 140 °C [47]

установил, что при экструзии зерен кукурузы и кожуры манго максимальное линейное расширение экструдата наблюдалось при низкой влажности 15,5 % и высокой частоте вращения шнека 100 мин⁻¹, а также при высокой частоте вращения шнека и высокой температуре [57] (рис. 2).

Z. Rzedzicki и др. выявили соответствие между высокой влажностью и низкой температурой и малым расширением горохового экструдата [58]. Это объясняется тем, что высокая влажность снижает вязкость сырья, что негативно влияет на трение материала и желатинизацию крахмала [2, 58]. Этот эффект усиливается при малой частоте вращения шнека и низкой температуре, что сопровождается низким давлением в корпусе экструдера. Следствием этого является малый перепад давления на выходе из фильеры экструдера и слабое расширение экструдата [2].

C. Liu с соавторами сообщает о положительном влиянии на расширение экструдата высокой частоты вращения шнека и температуры за счет повышения давления и усиления желатинизации крахмала [59]. Но С. О’Shea и др. предупреждают, что слишком высокая частота вращения шнека может привести к повреждению крахмальных ядер, что препятствует желатинизации, а слишком высокая температура приводит к спеканию сырья и полному исчезновению пористости продукта [60].

Индексы водопоглощения и водной растворимости экструдата. Индекс водопоглощения (Water Absorption Index – WAI) и индекс водной растворимости (Water Solubility Index – WSI) характеризуют способность компонентов экструдированного продукта взаимодействовать с водой.

Зарубежом они используются как показатели его качества [61]. Индекс водопоглощения характеризует способность компонентов экструдата, в частности крахмала и пищевых волокон, связываться с водой. Индекс водной растворимости выступает индикатором количества растворимых компонентов экструдата (полисахаридов), выделяющихся из него при добавлении избытка воды [51, 62].

Влажность сырья и температура процесса оказывают основное влияние на величину WAI для растительных экструдатов [2]. S. Yagci и F. Gogus наблюдали тенденцию увеличения WAI и уменьшения WSI при повышении влажности с 12 до 18 % при экструзии риса [63]. Избыток воды в сырье увеличивает водопоглощение в процессе экструзии и снижает вязкость крахмала, что усиливает его желатинизацию и обеспечивает однородное смешивание и распределение тепла в экструдированном продукте [2, 63]. Температура процесса значительно влияет на величину водных индексов. S. Yagci и F. Gogus установили, что при повышении температуры увеличивается и WAI, в то время как увеличение частоты вращения шнека повышает его в меньшей степени (рис. 3) [63]. Но по достижении температурой определенного критического значения WAI снижается из-за декстринизации крахмала и деполимеризации амилозы.

Содержание в сырье пищевых волокон оказывает влияние на величину WAI и WSI экструдата. Многие исследователи сообщают об увеличении WAI экструдата при повышении содержания пищевых волокон [64, 65]. Добавление в сырье пищевых волокон влияет на WSI экструдата [64]. Причиной повышения значений этого параметра является разрушение крахмальных зерен в продукте, в то время как его снижение связано с уменьшением содержания крахмала и формированием крахмально-волоконных комплексов [64, 65].

Структура экструдата. Структура экструдата является одним из важных показателей качества экструдированных продуктов [1, 2]. Структуру экструдата характеризуют твердость поверхности, хрусткость и плотность [2].

Экспериментальные исследования выявили обратную связь между твердостью и индексом расширения экструдата [64]. Твердость экструдата зависит от влажности сырья, температуры и частоты вращения шнека (рис. 4) [47, 66]. При высокой температуре и частоте вращения шнека получают мягкие экструдаты, т. к. уменьшение вязкости сырья под действием высокой температуры способствует его расширению и формированию газовых пузырей и снижению плотности [67].

V. Stojceska с соавторами зафиксировал увеличение твердости экструдата при повышении влажности сырья с 12 до 17 % [68]. По их мнению, которое разделяет Q. Ding, увеличение влажности растительного сырья приводит к уменьшению

вязкости крахмала, что ограничивает рост газовых пузырей и повышает плотность экструдата из-за ослабления структуры крахмала [69]. R. Geetha и др. выяснили, что при одновременном повышении температуры и частоты вращения шнека усиливается образование газовых пузырей в экструдате, а структура крахмала трансформируется из слитной в пенистую. При этом действие высокой температуры уменьшает толщину стенок пенистой структуры и увеличивает диаметр пузырей [70]. Именно такие экструдаты имеют наибольшие хрустящие свойства, что важно при производстве снеков [71].

Увеличение содержания в растительном сырье протеина и пищевых волокон повышает твердость и плотность экструдата, а уменьшение их содержания приводит к получению более хрустящего и мягкого экструдата [2].

Цвет экструдата. Цвет экструдированного продукта питания является важным показателем его качества в глазах потребителей. Он зависит от вида сырья и параметров экструзионной обработки, а также от температуры [5]. Действие высокой температуры и низкой влажности при экструзии приводит к протеканию реакции Майяра, карамелизации и деградации пигментов, что вызывает потемнение готового продукта [1].

Влияние экструзии на биологическую безопасность экструдатов. Влияние параметров экструзии на содержание патогенных микроорганизмов. Содержание бактерий и других микроорганизмов в готовых растительных экструдатах является важнейшим показателем их качества. Экструзия, как процесс тепловой обработки, снижает их содержание. Наименьшее содержание бактерий и микромицетов наблюдается при высокой температуре обработки и низкой влажности сырья [2, 72]. В то же время увеличение скорости вращения шнека экструдера приводит к повышению содержания жизнеспособных микробов из-за уменьшения продолжительности термической обработки [2, 9].

Добавление в экструдированное растительное сырье определенных компонентов сокращает количество микроорганизмов в экструдате. V. S. Eim и др. выяснили, что добавление в состав сырья богатой пищевыми волокнами моркови снизило количество липолитических микроорганизмов в экструдате [73]. M. M. Selani с соавторами установил, что добавление в состав сырья веществ, повышающих его кислотность, снижает уровень микрофлоры в экструдате [74].

Влияние параметров экструзии на содержание микотоксинов. Для обеспечения биологической безопасности экструдированных пищевых продуктов значение имеет разрушение в процессе обработки микотоксинов – ядовитых веществ, выделяемых плесневыми грибами, такими как фумонизин, афлатоксин, дезоксиниваленол и зеараленон [75].

Исследования U. Meister и M. M. Castelo показали, что под действием высокой температуры

в ходе экструзии разрушается фумонизин [76, 77]. По данным U. Meister фумонизин активно (на 50–70 %) разрушается при температуре более 140 °С, а полное его разрушение наблюдалось при температуре более 180 °С [76]. M. M. Castelo и др. установили, что при увеличении частоты вращения шнека минимальная температура для начала распада микотоксинов уменьшается до 120 °С [77]. Авторы исследований делают вывод, что наиболее эффективным для деактивации фумонизина при экструзии является комбинирование высокой температуры и скорости вращения шнека экструдера и низкой влажности сырья [13].

Экструдирование является эффективным способом деактивации афлотоксина, который начинает разрушаться уже при температуре 105 °С [13, 75]. M. Castells с соавторами установила, что влажность сырья и температура процесса оказывают наибольшее влияние на содержание афлотоксина. Наилучший эффект дает сочетание высокой температуры (более 160 °С) и низкой влажности (менее 15 %) [13, 75].

Дезоксиниваленол и зеараленон также подвергаются разрушению при экструдировании. Наиболее эффективная деактивация дезоксиниваленола происходит при температуре от 150 до 180 °С и влажности от 15 до 30 % [78]. Экструдирование является эффективным методом деактивации зеараленона, оптимальный диапазон температуры для этого 120–140 °С [13].

Кроме температуры, влияние на снижение содержания микотоксинов оказывают влажность сырья и частота вращения шнека экструдера. Влияние этих параметров экструзии на разрушение микотоксина охратоксина А изучила M. Castells с соавторами [79]. Она установила, что в ходе экструзии измельченного ячменя при постоянной температуре значительное снижение содержания микотоксина имело место при меньшей частоте вращения шнека. Это объясняется продолжительной тепловой обработкой сырья. При температуре 160 °С снижение частоты вращения шнека со 100 до 50 мин⁻¹ привело к увеличению разрушения микотоксина с 66,5 до 80,5 %. Влияние влажности сырья на изменение содержания охратоксина А оказалось не столь значимым. Снижение влажности сырья привело к небольшому увеличению разрушения микотоксина. При температуре экструзии 160 °С снижение влажности с 30 до 24 % привело к увеличению разрушения микотоксина лишь на 5 % [79].

Кроме того, по мнению K. M. Schaich, образующиеся в растительном сырье при экструдировании свободные радикалы способствуют разрушению микотоксинов, усиливая действие высокой температуры [80].

На основе изучения научных статей сделан вывод, что экструдирование приводит к почти полному разрушению микотоксинов при условии достижения в ходе процесса критической для них температуры [81–83].

Выводы

Анализ научных публикаций по исследуемой теме показал, что экструдирование является одним из самых важных способов переработки растительного сырья в пищевые продукты. Этот процесс позволяет повысить усвояемость многих компонентов растительного сырья, в частности протеина и крахмала, а также снизить содержание антипитательных факторов.

Наиболее эффективно, с точки зрения получения качественного по структуре продукта, процесс экструзии протекает при высоких температурах, скорости вращения шнека экструдера и влажности сырья. Но высокие значения этих параметров вызывают снижение содержания ценных питательных веществ – протеина и витаминов. Поэтому научные исследования должны быть направлены на выявление оптимальных параметров экструзии каждого вида растительного сырья и их смесей с целью соблюдения баланса между требуемыми свойствами экструдата (структура, расширение, цвет и др.) и сохранностью питательных веществ. Для многих видов растительного сырья эта работа уже выполнена, но для некоторых видов сырья требуется проведение дополнительных исследований.

В результате экспериментальных исследований были выявлены закономерности влияния параметров экструдирования на составляющие растительного сырья. Установлено, что процесс экструдирования при невысокой температуре, высокой частоте вращения шнека экструдера и повышенной влажности сырья повышает усвояемость протеина. Процесс экструдирования растительного сырья приводит к уменьшению содержания жиров в готовом продукте. Причем в наибольшей степени влияние на него оказывает скорость вращения шнека.

В ходе экструдирования наибольшая трансформация крахмала наблюдается при высокой влажности сырья и температуре процесса. Такие виды углеводов, как сахара и крахмал, в ходе экструзии активно взаимодействуют с другими веществами и меняют свою структуру. Это требует регулирования параметров обработки, в то время как пищевые волокна остаются стабильными.

Установлено, что лимитирующим фактором для обеспечения сохранности витаминов и каротина в ходе экструзии является высокая температура, в то время как скорость подачи и частота вращения шнека не оказывают значимого влияния.

При экструдировании растительного сырья происходит разрушение антипитательных факторов, наибольшее влияние на которое оказывает увеличение частоты вращения шнека экструдера. Кроме того, экструдирование приводит к полному разрушению микотоксинов при условии достижения в ходе процесса критической для них температуры.

Однако, как показал проведенный анализ, еще недостаточно исследована тема формирования в ходе экструдирования сложных комплексов питательных веществ – белков, липидов и углеводов, в частности протеин-углеводных и липидно-амилозных комплексов, и влияние на их образование параметров процесса.

Тематика экструдирования растительного сырья для производства пищевых продуктов является перспективной, но требует проведения дополнительных исследований.

Критерии авторства

О. Н. Бахчевников – анализ литературных данных, подготовка первоначального варианта текста и доработка текста статьи. С. В. Брагинец – формулирование основной концепции исследования, общее руководство исследованием, критический анализ первоначального варианта текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Contribution

O.N. Bakhchevnikov analyzed the data, prepared the draft of the manuscript, and proofread its final version. S.V. Braginets coined the basic concept of the study, supervised the research, and corrected the first version of the manuscript.

Conflict of interest

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

Acknowledgements

The authors would like to thank the reviewers for the peer review of this manuscript.

Список литературы

1. Offiah, V. Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review / V. Offiah, V. Kontogiorgos, K. O. Falade // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2019. – Vol. 59, № 18. – P. 2979–2998. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1480007>.
2. Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview / W. Leonard, P. Zhang, D. Ying [et al.] // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2020. – Vol. 19, № 1. – P. 218–246. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12514>.

3. Adekola, K. A. Engineering review food extrusion technology and its applications / K. A. Adekola // Journal of Food Science and Engineering. – 2016. – Vol. 6, № 3. – P. 149–168. <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2016.03.005>.
4. Bordoloi, R. Extrusion technique in food processing and a review on its various technological parameters / R. Bordoloi, S. Ganguly // Indian Journal of Scientific Research and Technology. – 2014. – Vol. 2, № 1. – P. 1–3.
5. Singh, S. Nutritional aspects of food extrusion: A review / S. Singh, S. Gamlath, L. Wakeling // International Journal of Food Science and Technology. – 2007. – Vol. 42, № 8. – P. 916–929. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>.
6. The application of some food industry by-products in the production of extruded products / A. Jozinović, Đ. Ačkar, J. Babić [et al.] // Engineering Power: Bulletin of the Croatian Academy of Engineering. – 2017. – Vol. 12, № 1. – P. 2–6.
7. Park, S. H. Principles of food processing / S. H. Park, B. P. Lamsal, V. M. Balasubramaniam // Food processing: principles and applications. Second Edition / S. Clark, S. Jung, B. Lamsal. – John Wiley and Sons, 2014. – P. 1–15. <https://doi.org/10.1002/9781118846315.ch1>.
8. Extrusion technology and its application in food processing: A review / S. Choton, N. Gupta, J. D. Bandral [et al.] // The Pharma Innovation Journal. – 2020. – Vol. 9, № 2. – P. 162–168.
9. Ramachandra, H. G. Extrusion technology: a novel method of food processing / H. G. Ramachandra, M. L. Thejaswini // International Journal of Innovative Science, Engineering and Technology. – 2015. – Vol. 2, № 4. – P. 358–369.
10. Shelar, G. A. Extrusion in food processing: An overview / G. A. Shelar, S. T. Gaikwad // The Pharma Innovation Journal. – 2019. – Vol. 8, № 2. – P. 562–568.
11. Navale, A. S. Extrusion cooking technology for foods: A Review / A. S. Navale, B. S. Swami, N. J. Thakor // Journal of Ready to Eat Food. – 2015. – Vol. 2, № 3. – P. 66–80.
12. Singh, B. Fundamentals of extrusion processing / B. Singh, C. Sharma, S. Sharma // Novel Food Processing Technologies / V. Nanda, S. Sharma. – New Delhi : New India Publishing Agency, 2017. – P. 1–45. <https://doi.org/10.31219/osf.io/xqa5n>.
13. Extrusion and extruded products: Changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: A review / M. S. Alam, J. Kaur, H. Khaira [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2016. – Vol. 56, № 3. – P. 445–473. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.779568>.
14. Extrusion-cooking modifies physicochemical and nutrition-related properties of wheat bran / C. Roye, M. Henrion, H. Chanvrier [et al.] // Foods. – 2020. – Vol. 9, № 6. <https://doi.org/10.3390/foods9060738>.
15. Ajita, T. Extrusion cooking technology: Principal mechanism and effect on direct expanded snacks – An overview / T. Ajita, S. K. Jha // International Journal of Food Studies. – 2017. – Vol. 6, № 1. – P. 113–128. <https://doi.org/10.7455/ijfs/6.1.2017.a10>.
16. Kelley, T. R. Bacterial concentration reduction of food waste amended animal feed using a single-screw dry-extrusion process / T. R. Kelley, P. M. Walker // Bioresource Technology. – 1999. – Vol. 67, № 3. – P. 247–253. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(98\)00118-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00118-7).
17. Study of starch-lipid complexes in model system and real food produced using extrusion-cooking technology / T. De Pilli, A. Derossi, R. A. Talja [et al.] // Innovative Food Science and Emerging Technologies. – 2011. – Vol. 12, № 4. – P. 610–616. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.07.011>.
18. Torraco, R. J. Writing integrative literature reviews: Using the past and present to explore the future / R. J. Torraco // Human Resource Development Review. – 2016. – Vol. 15, № 4. – P. 404–428. <https://doi.org/10.1177/1534484316671606>.
19. Okoli, C. A guide to conducting a standalone systematic literature review / C. Okoli // Communications of the Association for Information Systems. – 2015. – Vol. 37, № 1. – P. 879–910. <https://doi.org/10.17705/1cais.03743>.
20. Lin, S. Extrusion process parameters, sensory characteristics, and structural properties of a high moisture soy protein meat analog / S. Lin, H. E. Huff, F. Hsieh // Journal of Food Science. – 2002. – Vol. 67, № 3. – P. 1066–1072.
21. Food protein-polysaccharide conjugates obtained via the maillard reaction: A review / F. C. de Oliveira, J. S. D. R. Coimbra, E. B. de Oliveira [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2016. – Vol. 56, № 7. – P. 1108–1125. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.755669>.
22. Functionality of extrusion – Texturized whey proteins / C. I. Onwulata, R. P. Konstance, P. H. Cooke [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2003. – Vol. 86, № 11. – P. 3775–3782. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73984-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73984-8).
23. Alonso, R. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and *in vitro* digestibility of protein and starch in faba and kidney beans / R. Alonso, A. Aguirre, F. Marzo // Food Chemistry. – 2000. – Vol. 68, № 2. – P. 159–165. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00169-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00169-7).
24. Effect of extrusion conditions on the physico-chemical properties and *in vitro* protein digestibility of canola meal / B. Zhang, G. Liu, D. Ying [et al.] // Food Research International. – 2017. – Vol. 100. – P. 658–664. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.060>.
25. Singh, S. Retention of essential amino acids during extrusion of protein and reducing sugars / S. Singh, L. Wakeling, S. Gamlath // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2007. – Vol. 55, № 21. – P. 8779–8786. <https://doi.org/10.1021/jf071769z>.
26. Effect of extrusion cooking of soy-sweet potato mixtures on available lysine content and browning index of extrudates / M. O. Iwe, D. J. Van Zuilichem, W. Stolp [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2004. – Vol. 62, № 2. – P. 143–150. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00212-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00212-7).

27. Beck, S. M. Effect of low moisture extrusion on a pea protein isolate's expansion, solubility, molecular weight distribution and secondary structure as determined by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) / S. M. Beck, K. Knoerzer, J. Arcot // Journal of Food Engineering. – 2017. – Vol. 214. – P. 166–174. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.037>.
28. Panyam, D. Enhancing the functionality of food proteins by enzymatic modification / D. Panyam, A. Kilara // Trends in Food Science and Technology. – 1996. – Vol. 7, № 4. – P. 120–125. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(96\)10012-1](https://doi.org/10.1016/0924-2244(96)10012-1).
29. Effects of extrusion on the emulsifying properties of rumen and soy protein / A. C. C. Silva, E. P. G. Arêas, M. A. Silva [et al.] // Food Biophysics. – 2010. – Vol. 5, № 2. – P. 94–102. <https://doi.org/10.1007/s11483-010-9149-0>.
30. Atukuri, J. Multi-response optimization of extrusion conditions of grain amaranth flour by response surface methodology / J. Atukuri, B. B. Odong, J. H. Muyonga // Food Science and Nutrition. – 2019. – Vol. 7, № 12. – P. 4147–4162. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1284>.
31. Extrusion of feed/feed ingredients and its effect on digestibility and performance of poultry: A review / M. A. U. Rahman, A. Rehman, X. Chuanqi [et al.] // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. – 2015. – Vol. 4, № 4. – P. 48–61.
32. Camire, M. E. Chemical and nutritional changes in food during extrusion / M. E. Camire // Extruders in food applications / M. N. Riaz. – Boca Raton : CRC Press, 2000. – P. 127–148.
33. Changes in moisture, protein, and fat content of fish and rice flour coextrudates during single-screw extrusion cooking / J. S. Tumuluru, S. Sokhansanj, S. Bandyopadhyay [et al.] // Food and Bioprocess Technology. – 2013. – Vol. 6, № 2. – P. 403–415. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0764-7>.
34. Study on different emulsifiers to retain fatty fraction during extrusion of fatty flours / T. De Pilli, R. Giuliani, B. F. Carbone [et al.] // Cereal Chemistry. – 2005. – Vol. 82, № 5. – P. 494–498. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0494>.
35. Effect of extrusion temperature and screw speed on properties of oat and rice flour extrudates / R. Sandrin, T. Caon, A. W. Zibetti [et al.] // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2018. – Vol. 98, № 9. – P. 3427–3436. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8855>.
36. Bhatnagar, S. Extrusion processing conditions for amylose lipid complexing / S. Bhatnagar, M. A. Hanna // Cereal Chemistry. – 1994. – Vol. 71, № 6. – P. 587–593.
37. Arêas, J. A. G. Extrusion cooking: Chemical and nutritional changes / J. A. G. Arêas, C. M. Rocha-Olivieri, M. R. Marques // Encyclopedia of food and health / B. Caballero, P. M. Finglas, F. Toldrá. – Academic Press, 2016. – P. 569–575. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00266-X>.
38. Camire, M. E. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion / M. E. Camire, A. Camire, K. Krumhar // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 1990. – Vol. 29, № 1. – P. 35–57. <https://doi.org/10.1080/10408399009527513>.
39. Effect of enrichment with stabilized rice bran and extrusion process on gelatinization and retrogradation properties of rice starch / P. Wang, Y. Fu, L. Wang [et al.] // Starch/Staerke. – 2017. – Vol. 69, № 7–8. <https://doi.org/10.1002/star.201600201>.
40. Effect of decortication, germination and extrusion on physicochemical and *in vitro* protein and starch digestion characteristics of black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) / J. de la Rosa-Millán, E. Heredia-Olea, E. Perez-Carrillo [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2019. – Vol. 102. – P. 330–337. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.039>.
41. Singh, J. Starch digestibility in food matrix: a review / J. Singh, A. Dartois, L. Kaur // Trends in Food Science and Technology. – 2010. – Vol. 21, № 4. – P. 168–180. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.12.001>.
42. Rafiq, A. Regression analysis of gluten-free pasta from brown rice for characterization and *in vitro* digestibility / A. Rafiq, S. Sharma, B. Singh // Journal of Food Processing and Preservation. – 2017. – Vol. 41, № 2. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12830>.
43. Guha, M. Twin-screw extrusion of rice flour without a die: Effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics / M. Guha, S. Z. Ali, S. Bhattacharya // Journal of Food Engineering. – 1997. – Vol. 32, № 3. – P. 251–267. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(97\)00028-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(97)00028-9).
44. Dietary fiber concentrates from fruit and vegetable by-products: Processing, modification, and application as functional ingredients / L. E. Garcia-Amezquita, V. Tejada-Ortigoza, S. O. Serna-Saldivar [et al.] // Food and Bioprocess Technology. – 2018. – Vol. 11, № 8. – P. 1439–1463. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2117-2>.
45. Effects of extrusion cooking on the dietary fibre content and Water Solubility Index of wheat bran extrudates / S. Rashid, A. Rakha, F. M. Anjum [et al.] // International Journal of Food Science and Technology. – 2015. – Vol. 50, № 7. – P. 1533–1537. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12798>.
46. Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods / C. Brennan, M. Brennan, E. Derbyshire [et al.] // Trends in Food Science and Technology. – 2011. – Vol. 22, № 10. – P. 570–575. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.05.007>.
47. Dar, A. H. Effect of extrusion temperature on the microstructure, textural and functional attributes of carrot pomace-based extrudates / A. H. Dar, H. K. Sharma, N. Kumar // Journal of Food Processing and Preservation. – 2014. – Vol. 38, № 1. – P. 212–222. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00767.x>.
48. Guzman-Tello, R. Colour loss during extrusion cooking of β -carotene-wheat flour mixes as an indicator of the intensity of thermal and oxidative processing / R. Guzman-Tello, J. C. Cheftel // International Journal of Food Science and Technology. – 1990. – Vol. 25, № 4. – P. 420–434. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb01099.x>.

49. Antioxidants in thermally treated buckwheat groats / H. Zieliński, A. Michalska, M. K. Piskula [et al.] // *Molecular Nutrition and Food Research*. – 2006. – Vol. 50, № 9. – P. 824–832. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200500258>.
50. Effects of cold extrusion process on thiamine and riboflavin contents of fortified corn extrudates / B. Bilgi Boyaci, J.-Y. Han, M. T. Masatcioglu [et al.] // *Food Chemistry*. – 2012. – Vol. 132, № 4. – P. 2165–2170. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.12.013>.
51. Bajaj, S. R. Effect of extrusion processing and hydrocolloids on the stability of added vitamin B₁₂ and physico-functional properties of the fortified puffed extrudates / S. R. Bajaj, R. S. Singhal // *LWT – Food Science and Technology*. – 2019. – Vol. 101. – P. 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.011>.
52. Rathod, R. P. Physicochemical properties, protein and starch digestibility of lentil based noodle prepared by using extrusion processing / R. P. Rathod, U. S. Annapure // *LWT – Food Science and Technology*. – 2017. – Vol. 80. – P. 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.001>.
53. Effect of extrusion variables (temperature, moisture) on the antinutrient components of cereal brans / S. Kaur, S. Sharma, B. Singh [et al.] // *Journal of Food Science and Technology*. – 2015. – Vol. 52, № 3. – P. 1670–1676. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1118-4>.
54. Yağci, S. Effect of instant controlled pressure drop process on some physicochemical and nutritional properties of snacks produced from chickpea and wheat / S. Yağci, T. Evci // *International Journal of Food Science and Technology*. – 2015. – Vol. 50, № 8. – P. 1901–1910. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12843>.
55. Mukhopadhyay, N. Effect of extrusion cooking on anti-nutritional factor tannin in linseed (*Linum usitatissimum*) meal / N. Mukhopadhyay, S. Sarkar, S. Bandyopadhyay // *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. – 2007. – Vol. 58, № 8. – P. 588–594. <https://doi.org/10.1080/09637480701343952>.
56. Nwabueze, T. U. Effect of process variables on trypsin inhibitor activity (TIA), phytic acid and tannin content of extruded African breadfruit-corn-soy mixtures: A response surface analysis / T. U. Nwabueze // *LWT – Food Science and Technology*. – 2007. – Vol. 40, № 1. – P. 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.10.004>.
57. Effects of extrusion variables on corn-mango peel extrudates properties, torque and moisture loss / M. M. Mazlan, R. A. Talib, N. F. Mail [et al.] // *International Journal of Food Properties*. – 2019. – Vol. 22, № 1. – P. 54–70. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1568458>.
58. Rzedzicki, Z. Influence of pea hulls on the twin screw extrusion-cooking process of cereal mixtures and the physical properties of the extrudate / Z. Rzedzicki, A. Sobota, P. Zarzycki [et al.] // *International Agrophysics*. – 2004. – Vol. 18, № 1. – P. 73–81.
59. Preparation, physicochemical and texture properties of texturized rice produce by Improved Extrusion Cooking Technology / C. Liu, Y. Zhang, W. Liu [et al.] // *Journal of Cereal Science*. – 2011. – Vol. 54, № 3. – P. 473–480. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.09.001>.
60. O'Shea, N. Enhancing an extruded puffed snack by optimising die head temperature, screw speed and apple pomace inclusion / N. O'Shea, E. Arendt, E. Gallagher // *Food and Bioprocess Technology*. – 2014. – Vol. 7, № 6. – P. 1767–1782. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1181-x>.
61. Factors affecting structural properties and *in vitro* starch digestibility of extruded starchy foams containing bran / S. A. Alam, J. Järvinen, H. Kokkonen [et al.] // *Journal of Cereal Science*. – 2016. – Vol. 71. – P. 190–197. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.08.018>.
62. Water solubility index and water absorption index of extruded product from rice and carrot blend / N. Yousf, F. Nazir, R. Salim // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. – 2017. – Vol. 6, № 6. – P. 2165–2168.
63. Yagci, S. Development of extruded snack from food by-products: A response surface analysis / S. Yagci, F. Göğüs // *Journal of Food Process Engineering*. – 2009. – Vol. 32, № 4. – P. 565–586. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00232.x>.
64. Resolving the problem of poor expansion in corn extrudates enriched with food industry by-products / Đ. Ačkar, A. Jozinović, J. Babić [et al.] // *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. – 2018. – Vol. 47. – P. 517–524. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.05.004>.
65. Effect of extrusion conditions on iron stability and physical and textural properties of corn snacks enriched with soybean ferritin / A. Makowska, M. Zielińska-Dawidziak, P. Niedzielski [et al.] // *International Journal of Food Science and Technology*. – 2018. – Vol. 53, № 2. – P. 296–303. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13585>.
66. Altan, A. Twin-screw extrusion of barley-grape pomace blends: Extrudate characteristics and determination of optimum processing conditions / A. Altan, K. L. McCarthy, M. Maskan // *Journal of Food Engineering*. – 2008. – Vol. 89, № 1. – P. 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.03.025>.
67. Dehghan-Shoar, Z. The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene / Z. Dehghan-Shoar, A. K. Hardacre, C. S. Brennan // *Food Chemistry*. – 2010. – Vol. 123, № 4. – P. 1117–1122. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.071>.
68. The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products / V. Stojceska, P. Ainsworth, A. Plunkett [et al.] // *Food Chemistry*. – 2009. – Vol. 114, № 1. – P. 226–232. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.043>.

69. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks / Q.-B. Ding, P. Ainsworth, G. Tucker [et al.] // *Journal of Food Engineering*. – 2005. – Vol. 66, № 3. – P. 283–289. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.019>.
70. Geetha, R. Twin screw extrusion of kodo millet-chickpea blend: process parameter optimization, physico-chemical and functional properties / R. Geetha, H. N. Mishra, P. P. Srivastav // *Journal of Food Science and Technology*. – 2014. – Vol. 51, № 11. – P. 3144–3153. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0850-5>.
71. Grasso, S. Extruded snacks from industrial by-products: A review / S. Grasso // *Trends in Food Science and Technology*. – 2020. – Vol. 99. – P. 284–294. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.012>.
72. Optimization of the extrusion process for the production of ready-to-eat snack from rice, cassava and kersting's groundnut composite flours / O. O. Awolu, P. M. Oluwaferanmi, O. I. Fafowora [et al.] // *LWT – Food Science and Technology*. – 2015. – Vol. 64, № 1. – P. 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.025>.
73. Effects of addition of carrot dietary fibre on the ripening process of a dry fermented sausage (sobrassada) / V. S. Eim, S. Simal, C. Rosselló [et al.] // *Meat Science*. – 2008. – Vol. 80, № 2. – P. 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.11.017>.
74. Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement / M. M. Selani, S. G. C. Brazaca, C. T. dos Santos Dias [et al.] // *Food Chemistry*. – 2014. – Vol. 163. – P. 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.076>.
75. Fate of mycotoxins in cereals during extrusion cooking: A review / M. Castells, S. Marín, V. Sanchis [et al.] // *Food Additives and Contaminants*. – 2005. – Vol. 22, № 2. – P. 150–157. <https://doi.org/10.1080/02652030500037969>.
76. Meister, U. Investigations on the change of fumonisin content of maize during hydrothermal treatment of maize. Analysis by means of HPLC methods and ELISA / U. Meister // *European Food Research and Technology*. – 2001. – Vol. 213, № 3. – P. 187–193. <https://doi.org/10.1007/s002170100352>.
77. Loss of fumonisin B₁ in extruded and baked corn-based foods with sugars / M. M. Castelo, L. S. Jackson, M. A. Hanna [et al.] // *Journal of Food Science*. – 2001. – Vol. 66, № 3. – P. 416–421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb16120.x>.
78. Mycotoxins inactivation by extrusion cooking of corn flour / D. Cazzaniga, J. C. Basílico, R. J. González [et al.] // *Letters in Applied Microbiology*. – 2001. – Vol. 33, № 2. – P. 144–147. <https://doi.org/10.1046/j.1472-765X.2001.00968.x>.
79. Reduction of ochratoxin A in extruded barley meal / M. Castells, E. Pardo, A. J. Ramos [et al.] // *Journal of Food Protection*. – 2006. – Vol. 69, № 5. – P. 1139–1143. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-69.5.1139>.
80. Schaich, K. M. Free radical generation during extrusion: A critical contributor to texturization / K. M. Schaich // *ACS Symposium Series*. – 2002. – Vol. 807. – P. 35–48. <https://doi.org/10.1021/bk-2002-0807.ch003>.
81. Kabak, B. The fate of mycotoxins during thermal food processing / B. Kabak // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2009. – Vol. 89, № 4. – P. 549–554. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3491>.
82. The effect of thermal processing on the reduction of deoxynivalenol and zearalenone cereal content / J. Pleadin, J. Babić, A. Vulić [et al.] // *Croatian Journal of Food Science and Technology*. – 2019. – Vol. 11, № 1. – P. 44–51. <https://doi.org/10.17508/cjfst.2019.11.1.06>.
83. Decontamination of mycotoxin-contaminated feedstuffs and compound feed / R. Colović, N. Puvača, F. Cheli [et al.] // *Toxins*. – 2019. – Vol. 11, № 11. <https://doi.org/10.3390/toxins11110617>.

References

1. Offiah V, Kontogiorgos V, Falade KO. Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2018;59(18):2979–2998. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1480007>.
2. Leonard W, Zhang P, Ying D, Fang Z. Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2020;19(1):218–246. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12514>.
3. Adekola KA. Engineering review food extrusion technology and its applications. *Journal of Food Science and Engineering*. 2016;6(3):149–168. <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2016.03.005>.
4. Bordoloi R, Ganguly S. Extrusion technique in food processing and a review on its various technological parameters. *Indian Journal of Scientific Research and Technology*. 2014;2(1):1–3.
5. Singh S, Gamlath S, Wakeling L. Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 2007;42(8):916–929. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>.
6. Jozinović A, Ačkar Đ, Babić J, Miličević B, Jokić S, Šubarić D. The application of some food industry by-products in the production of extruded products. *Engineering Power: Bulletin of the Croatian Academy of Engineering*. 2017;12(1):2–6.
7. Park SH, Lamsal BP, Balasubramaniam VM. Principles of food processing. In: Clark S, Jung S, Lamsal B, editors. *Food processing: principles and applications*. Second Edition. John Wiley and Sons; 2014. pp. 1–15. <https://doi.org/10.1002/9781118846315.ch1>.
8. Choton S, Gupta N, Bandral JD, Anjum N, Choudary A. Extrusion technology and its application in food processing: A review. *The Pharma Innovation Journal*. 2020;9(2):162–168.

9. Ramachandra HG, Thejaswini ML. Extrusion technology: a novel method of food processing. *International Journal of Innovative Science, Engineering and Technology*. 2015;2(4):358–369.
10. Shelar GA, Gaikwad ST. Extrusion in food processing: An overview. *The Pharma Innovation Journal*. 2019;8(2):562–568.
11. Navale AS, Swami BS, Thakor NJ. Extrusion cooking technology for foods: A Review. *Journal of Ready to Eat Food*. 2015;2(3):66–80.
12. Singh B, Sharma C, Sharma S. Fundamentals of extrusion processing. In: Nanda V, Sharma S, editors. *Novel food processing technologies*. New Delhi: New India Publishing Agency; 2017. pp. 1–45. <https://doi.org/10.31219/osf.io/xqa5n>.
13. Alam MS, Kaur J, Khaira H, Gupta K. Extrusion and extruded products: Changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2015;56(3):445–473. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.779568.14>.
14. Roye C, Henrion M, Chanvrier H, De Roeck K, De Bondt Y, Liberloo I, et al. Extrusion-cooking modifies physicochemical and nutrition-related properties of wheat bran. *Foods*. 2020;9(6). <https://doi.org/10.3390/foods9060738>.
15. Ajita T, Jha SK. Extrusion cooking technology: Principal mechanism and effect on direct expanded snacks – An overview. *International Journal of Food Studies*. 2017;6(1):113–128. <https://doi.org/10.7455/ijfs/6.1.2017.a10>.
16. Kelley TR, Walker PM. Bacterial concentration reduction of food waste amended animal feed using a single-screw dry-extrusion process. *Bioresource technology*. 1999;67(3):247–253. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(98\)00118-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00118-7).
17. De Pilli T, Derossi A, Talja RA, Jouppila K, Severini C. Study of starch-lipid complexes in model system and real food produced using extrusion-cooking technology. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2011;12(4):610–616. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.07.011>.
18. Torraco RJ. Writing integrative literature reviews: Using the past and present to explore the future. *Human Resource Development Review*. 2016;15(4):404–428. <https://doi.org/10.1177/1534484316671606>.
19. Okoli C. A guide to conducting a standalone systematic literature review. *Communications of the Association for Information Systems*. 2015;37(1):879–910. <https://doi.org/10.17705/1cais.03743>.
20. Lin S, Huff HE, Hsieh F. Extrusion process parameters, sensory characteristics, and structural properties of a high moisture soy protein meat analog. *Journal of Food Science*. 2002;67(3):1066–1072.
21. de Oliveira FC, Coimbra JSJR, de Oliveira EB, Zuniga ADG, Rojas EEG. Food protein-polysaccharide conjugates obtained via the maillard reaction: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2014;56(7):1108–1125. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.755669>.
22. Onwulata CI, Konstance RP, Cooke PH, Farrell HM. Functionality of extrusion – Texturized whey proteins. *Journal of Dairy Science*. 2003;86(11):3775–3782. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(03\)73984-8](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(03)73984-8).
23. Alonso R, Aguirre A, Marzo F. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and *in vitro* digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chemistry*. 2000;68(2):159–165. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00169-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00169-7).
24. Zhang B, Liu G, Ying D, Sanguansri L, Augustin MA. Effect of extrusion conditions on the physico-chemical properties and *in vitro* protein digestibility of canola meal. *Food Research International*. 2007;100:658–664. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.060>.
25. Singh S, Wakeling L, Gamlath S. Retention of essential amino acids during extrusion of protein and reducing sugars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2007;55(21):8779–8786. <https://doi.org/10.1021/jf071769z>.
26. Iwe MO, Van Zuilichem DJ, Stolp W, Ngoddy PO. Effect of extrusion cooking of soy-sweet potato mixtures on available lysine content and browning index of extrudates. *Journal of Food Engineering*. 2004;62(2):143–150. [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(03\)00212-7](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(03)00212-7).
27. Beck SM, Knoerzer K, Arcot J. Effect of low moisture extrusion on a pea protein isolate’s expansion, solubility, molecular weight distribution and secondary structure as determined by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). *Journal of Food Engineering*. 2017;214:166–174. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.037>.
28. Panyam D, Kilara A. Enhancing the functionality of food proteins by enzymatic modification. *Trends in Food Science and Technology*. 1996;7(4):120–125. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(96\)10012-1](https://doi.org/10.1016/0924-2244(96)10012-1).
29. Silva ACC, Arêas EPG, Silva MA, Arêas JAG. Effects of extrusion on the emulsifying properties of rumen and soy protein. *Food Biophysics*. 2010;5(2):94–102. <https://doi.org/10.1007/s11483-010-9149-0>.
30. Atukuri J, Odong BB, Muyonga JH. Multi-response optimization of extrusion conditions of grain amaranth flour by response surface methodology. *Food Science and Nutrition*. 2019;7(12):4147–4162. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1284>.
31. Rahman MAU, Rehman A, Chuanqi X, Long ZX, Binghai C, Linbao J, et al. Extrusion of feed/feed ingredients and its effect on digestibility and performance of poultry: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2015;4(4):48–61.
32. Camire ME. Chemical and nutritional changes in food during extrusion. In: Riaz MN, editor. *Extruders in food applications*. Boca Raton: CRC Press; 2000. pp. 127–148.

33. Tumuluru JS, Sokhansanj S, Bandyopadhyay S, Bawa AS. Changes in moisture, protein, and fat content of fish and rice flour coextrudates during single-screw extrusion cooking. *Food and Bioprocess Technology*. 2013;6(2):403–415. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0764-7>.
34. De Pilli T, Giuliani R, Carbone BF, Derossi A, Severini C. Study on different emulsifiers to retain fatty fraction during extrusion of fatty flours. *Cereal Chemistry*. 2005;82(5):494–498. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0494>.
35. Sandrin R, Caon T, Zibetti AW, de Francisco A. Effect of extrusion temperature and screw speed on properties of oat and rice flour extrudates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2018;98(9):3427–3436. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8855>.
36. Bhatnagar S, Hanna MA. Extrusion processing conditions for amylose-lipid complexing. *Cereal Chemistry*. 1994;71(6):587–593.
37. Arêas JAG, Rocha-Olivieri CM, Marques MR. Extrusion cooking: Chemical and nutritional changes. In: Caballero B, Finglas PM, Toldrá F, editors. *Encyclopedia of food and health*. Academic Press; 2016. pp. 569–575. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00266-X>.
38. Camire ME, Camire A, Krumhar K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 1990;29(1):35–57. <https://doi.org/10.1080/10408399009527513>.
39. Wang P, Fu Y, Wang L, Saleh ASM, Cao H, Xiao Z. Effect of enrichment with stabilized rice bran and extrusion process on gelatinization and retrogradation properties of rice starch. *Starch/Staerke*. 2017;69(7–8). <https://doi.org/10.1002/star.201600201>.
40. de la Rosa-Millán J, Heredia-Olea E, Perez-Carrillo E, Guajardo-Flores D, Serna-Saldívar SRO. Effect of decortication, germination and extrusion on physicochemical and *in vitro* protein and starch digestion characteristics of black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *LWT – Food Science and Technology*. 2019;102:330–337. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.039>.
41. Singh J, Dartois A, Kaur L. Starch digestibility in food matrix: a review. *Trends in Food Science and Technology*. 2010;21(4):168–180. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.12.001>.
42. Rafiq A, Sharma S, Singh B. Regression analysis of gluten free pasta from brown rice for characterization and *in vitro* digestibility. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2017;41(2). <https://doi.org/10.1111/jfpp.12830>.
43. Guha M, Ali SZ, Bhattacharya S. Twin-screw extrusion of rice flour without a die: Effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. *Journal of Food Engineering*. 1997;32(3):251–267. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(97\)00028-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(97)00028-9).
44. Garcia-Amezquita LE, Tejada-Ortigoza V, Serna-Saldívar SO, Welti-Chanes J. Dietary fiber concentrates from fruit and vegetable by-products: Processing, modification, and application as functional ingredients. *Food and Bioprocess Technology*. 2018;11(8):1439–1463. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2117-2>.
45. Rashid S, Rakha A, Anjum FM, Ahmed W, Sohail M. Effects of extrusion cooking on the dietary fibre content and Water Solubility Index of wheat bran extrudates. *International Journal of Food Science and Technology*. 2015;50(7):1533–1537. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12798>.
46. Brennan C, Brennan M, Derbyshire E, Tiwari BK. Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science and Technology*. 2011;22(10):570–575. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.05.007>.
47. Dar AH, Sharma HK, Kumar N. Effect of extrusion temperature on the microstructure, textural and functional attributes of carrot pomace-based extrudates. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2014;38(1):212–222. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00767.x>.
48. Guzman-Tello R, Cheftel JC. Colour loss during extrusion cooking of beta carotene-wheat flour mixes as an indicator of the intensity of thermal and oxidative processing. *International Journal of Food Science and Technology*. 1990;25(4):420–434. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb01099.x>.
49. Zieliński H, Michalska A, Piskula MK, Kozłowska H. Antioxidants in thermally treated buckwheat groats. *Molecular Nutrition and Food Research*. 2006;50(9):824–832. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200500258>.
50. Bilgi Boyacı B, Han J-Y, Masatcioglu MT, Yacin E, Celik S, Ryu G-H, et al. Effects of cold extrusion process on thiamine and riboflavin contents of fortified corn extrudates. *Food Chemistry*. 2012;132(4):2165–2170. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.12.013>.
51. Bajaj SR, Singhal RS. Effect of extrusion processing and hydrocolloids on the stability of added vitamin B₁₂ and physico-functional properties of the fortified puffed extrudates. *LWT – Food Science and Technology*. 2019;101:32–39. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.011>.
52. Rathod RP, Annapure US. Physicochemical properties, protein and starch digestibility of lentil based noodle prepared by using extrusion processing. *LWT – Food Science and Technology*. 2017;80:121–130. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.001>.
53. Kaur S, Sharma S, Singh B, Dar BN. Effect of extrusion variables (temperature, moisture) on the antinutrient components of cereal brans. *Journal of Food Science and Technology*. 2015;52(3):1670–1676. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1118-4>.
54. Yağci S, Evci T. Effect of instant controlled pressure drop process on some physicochemical and nutritional properties of snacks produced from chickpea and wheat. *International Journal of Food Science and Technology*. 2015;50(8):1901–1910. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12843>.
55. Mukhopadhyay N, Sarkar S, Bandyopadhyay S. Effect of extrusion cooking on anti-nutritional factor tannin in linseed (*Linum usitatissimum*) meal. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2007;58(8):588–594. <https://doi.org/10.1080/09637480701343952>.

56. Nwabueze TU. Effect of process variables on trypsin inhibitor activity (TIA), phytic acid and tannin content of extruded African breadfruit-corn-soy mixtures: A response surface analysis. *LWT – Food Science and Technology*. 2007;40(1):21–29. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.10.004>.
57. Mazlan MM, Talib RA, Mail NF, Taip FS, Chin NL, Sulaiman R, et al. Effects of extrusion variables on corn-mango peel extrudates properties, torque and moisture loss. *International Journal of Food Properties*. 2019;22(1):54–70. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1568458>.
58. Rzedzicki Z, Sobota A, Zarzycki P. Influence of pea hulls on the twin screw extrusion-cooking process of cereal mixtures and the physical properties of the extrudate. *International Agrophysics*. 2004;18(1):73–81.
59. Liu C, Zhang Y, Liu W, Wan J, Wang W, Wu L, et al. Preparation, physicochemical and texture properties of texturized rice produce by improved extrusion cooking technology. *Journal of Cereal Science*. 2011;54(3):473–480. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.09.001>.
60. O'Shea N, Arendt E, Gallagher E. Enhancing an extruded puffed snack by optimising die head temperature, screw speed and apple pomace inclusion. *Food and Bioprocess Technology*. 2014;7(6):1767–1782. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1181-x>.
61. Alam SA, Järvinen J, Kokkonen H, Jurvelin J, Poutanen K, Sozer N. Factors affecting structural properties and *in vitro* starch digestibility of extruded starchy foams containing bran. *Journal of Cereal Science*. 2016;71:190–197. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.08.018>.
62. Yousf N, Nazir F, Salim R, Ahsan H, Sirwal A. Water solubility index and water absorption index of extruded product from rice and carrot blend. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2017;6(6):2165–2168.
63. Yagci S, Gögüs F. Development of extruded snack from food by-products: A response surface analysis. *Journal of Food Process Engineering*. 2008;32(4):565–586. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00232.x>.
64. Ačkar D, Jozinović A, Babić J, Miličević B, Balentić JP, Šubarić D. Resolving the problem of poor expansion in corn extrudates enriched with food industry by-products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2018;47:517–524. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.05.004>.
65. Makowska A, Zielinska-Dawidziak M, Niedzielski P, Michalak M. Effect of extrusion conditions on iron stability and physical and textural properties of corn snacks enriched with soybean ferritin. *International Journal of Food Science and Technology*. 2018;53(2):296–303. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13585>.
66. Altan A, McCarthy KL, Maskan M. Twin-screw extrusion of barley-grape pomace blends: Extrudate characteristics and determination of optimum processing conditions. *Journal of Food Engineering*. 2008;89(1):24–32. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.03.025>.
67. Dehghan-Shoar Z, Hardacre AK, Brennan CS. The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene. *Food Chemistry*. 2010;123(4):1117–1122. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.071>.
68. Stojceska V, Ainsworth P, Plunkett A, Ibanoglu S. The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. *Food Chemistry*. 2009;114(1):226–232. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.043>.
69. Ding Q, Ainsworth P, Tucker G, Marson H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*. 2005;66(3):283–289. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.019>.
70. Geetha R, Mishra HN, Srivastav PP. Twin screw extrusion of kodo millet-chickpea blend: Process parameter optimization, physico-chemical and functional properties. *Journal of Food Science and Technology*. 2014;51(11):3144–3153. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0850-5>.
71. Grasso S. Extruded snacks from industrial by-products: A review. *Trends in Food Science and Technology*. 2020;99:284–294. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.012>.
72. Awolu OO, Oluwaferanmi PM, Fafowora OI, Oseyemi GF. Optimization of the extrusion process for the production of ready-to-eat snack from rice, cassava and kersting's groundnut composite flours. *LWT – Food Science and Technology*. 2015;64(1):18–24. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.025>.
73. Eim VS, Simal S, Rosselló C, Fermeña A. Effects of addition of carrot dietary fibre on the ripening process of a dry fermented sausage (sobrassada). *Meat Science*. 2008;80(2):173–182. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.11.017>.
74. Selani MM, Brazaca SGC, dos Santos Dias CT, Ratnayake WS, Flores RA, Bianchini A. Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. *Food Chemistry*. 2014;163:23–30. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.076>.
75. Castells M, Marin S, Sanchis V, Ramos AJ. Fate of mycotoxins in cereals during extrusion cooking: A review. *Food Additives and Contaminants*. 2005;22(2):150–157. <https://doi.org/10.1080/02652030500037969>.
76. Meister U. Investigations on the change of fumonisin content of maize during hydrothermal treatment of maize. Analysis by means of HPLC methods and ELISA. *European Food Research and Technology*. 2001;213(3):187–193. <https://doi.org/10.1007/s002170100352>.
77. Castelo MM, Jackson LS, Hanna MA, Reynolds BH, Bullerman LB. Loss of fumonisin B₁ in extruded and baked corn-based foods with sugars. *Journal of Food Science*. 2001;66(3):416–427. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb16120.x>.

78. Cazzaniga D, Basilico JC, Gonzalez RJ, Torres RL, De Greef DM. Mycotoxins inactivation by extrusion cooking of corn flour. *Letters in Applied Microbiology*. 2001;33(2):144–147. <https://doi.org/10.1046/j.1472-765x.2001.00968.x>.
79. Castells M, Pardo E, Ramos AJ, Sanchis V, Marin S. Reduction of ochratoxin A in extruded barley meal. *Journal of Food Protection*. 2006;69(5):1139–1143. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-69.5.1139>.
80. Schaich KM. Free radical generation during extrusion: a critical contributor to texturization. *ACS Symposium Series*. 2002;807:35–48. <https://doi.org/10.1021/bk-2002-0807.ch003>.
81. Kabak B. The fate of mycotoxins during thermal food processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2009;89(4):549–554. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3491>.
82. Pleadin J, Babić J, Vulić A, Kudumija N, Aladić K, Kiš M, et al. The effect of thermal processing on the reduction of deoxynivalenol and zearalenone cereal content. *Croatian Journal of Food Science and Technology*. 2019;11(1):44–51. <https://doi.org/10.17508/cjfst.2019.11.1.06>.
83. Čolović R, Puvača N, Cheli F, Avantiaggiato G, Greco D, Duragić O, et al. Decontamination of mycotoxin-contaminated feedstuffs and compound feed. *Toxins*. 2019;11(11). <http://doi.org/10.3390/toxins11110617>.

Сведения об авторах

Бахчевников Олег Николаевич

канд. техн. наук, научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Россия, г. Зерноград, ул. Ленина, 14, e-mail: oleg-b@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>

Брагинец Сергей Валерьевич

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Россия, г. Зерноград, ул. Ленина, 14, e-mail: sbraginets@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7137-5692>

Information about the authors

Oleg N. Bakhchevnikov

Cand.Sci.(Eng.), Researcher of the Department of Vegetable Feedstock Processing, Agricultural Research Centre “Donskoy”, 14, Lenina Str., Zernograd, 347740, Russia, e-mail: oleg-b@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>

Sergey V. Braginets

Cand.Sci.(Eng.), Leading Researcher of the Department of Vegetable Feedstock Processing, Agricultural Research Centre “Donskoy”, 14, Lenina Str., Zernograd, 347740, Russia, e-mail: sbraginets@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7137-5692>

Разработка функциональных композиций сухих концентратов морепродуктов и исследование их свойств

В. Д. Богданов^{ORCID}, А. А. Симдянкин*^{ORCID}, А. В. Панкина, В. Д. Мостовой



Дальневосточные государственный технический
рыбохозяйственный университет^{ORCID},
Владивосток, Россия

Дата поступления в редакцию: 03.11.2020
Дата принятия в печать: 25.12.2020

*e-mail: And-sim@mail.ru



© В. Д. Богданов, А. А. Симдянкин, А. В. Панкина, В. Д. Мостовой, 2020

Аннотация.

Введение. Фактор питания оказывает существенное влияние на здоровье, работоспособность, качество и продолжительность жизни человека. Целью исследований является разработка рецептур функциональных композиций криоконцентратов морепродуктов.

Объекты и методы исследования. Сухие концентраты, полученные по криотехнологии из тушки кальмара тихоокеанского (*Todarodes pacificus*), мускульной оболочки кукумарии (*Cucumaria japonica*), мантии морского гребешка (*Mizuhopecten yessoensis*), кожи осьминога (*Octopus dofleini*), молок сельди тихоокеанской (*Pacific herring*), ламинарии японской (*Laminaria japonica*), а также их поликомпонентные смеси. Содержание биологически активных веществ определяли спектрофотометрическим методом. Безопасность и биологическую ценность сухих концентратов морепродуктов и их смесей исследовали биотестированием с помощью реснитчатой инфузории *Tetrahymena pyriformis*.

Результаты и их обсуждение. Экспериментальные данные показывают, что сухие концентраты морепродуктов характеризуются высоким содержанием белка, минеральных веществ и биологически активных компонентов: гексозаминов, тритерпеновых гликозидов, каротиноидов и нуклеиновых кислот. Химический состав композиций криоконцентратов морепродуктов может варьироваться в большом диапазоне значений в зависимости от функциональной направленности смеси. Содержание белка в предложенных составах изменяется от 28,8 до 57,6 %, липидов – от 3,1 до 6,9 %, углеводов – от 15,0 до 35,9 %, минеральных веществ – от 10,9 до 22,9 %, гексозаминов – от 2,2 до 5,6%. Криоконцентраты морепродуктов и их смеси имеют высокие органолептические показатели и биологическую ценность.

Выводы. Разработаны рецептуры и получены функциональные смеси сухих концентратов морепродуктов. Разработанные смеси, в зависимости от рецептуры, отличаются высоким содержанием белков животного происхождения и минеральных веществ, а также веществ, проявляющих биологическую активность: гексозаминов, тритерпеновых гликозидов, каротиноидов, нуклеиновых кислот. Проявляя высокие органолептические свойства функциональные композиции концентратов морепродуктов безопасны для здоровья человека, а также имеют высокую относительную биологическую ценность.

Ключевые слова. Криопорошки, сухие концентраты, морепродукты, химический состав, органолептические свойства, биологическая ценность

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного заказа Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России)^{ORCID}.

Для цитирования: Разработка функциональных композиций сухих концентратов морепродуктов и исследование их свойств / В. Д. Богданов, А. А. Симдянкин, А. В. Панкина [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 707–716. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-707-716>.

Original article

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

New Functional Formulations for Dry Seafood Concentrates and their Properties

Valery D. Bogdanov^{ORCID}, Andrei A. Simdiankin*^{ORCID},
Anna V. Pankina, Vadim D. Mostovoi

Far Eastern State Technical Fisheries University^{ORCID},
Vladivostok, Russia

Received: November 03, 2020
Accepted: December 25, 2020



Abstract.

Introduction. Nutrition has a significant impact on human health, performance, well-being, and lifespan. The research objective was to develop formulations for functional compositions of seafood cryoconcentrates.

Study objects and methods. The study featured concentrates obtained by cryotechnology from carcasses of Pacific squid (*Todarodes pacificus*), muscular shell of cucumaria (*Cucumaria japonica*), scallop mantle (*Mizuhopecten yessoensis*), octopus skin (*Octopus dofleini*), milt of Pacific herring (*Pacific herring*), and Japanese kelp (*Laminaria japonica*), as well as their multicomponent mixes. The content of biologically active substances was determined by the spectrophotometric method. The safety and biological value were biotested on *Tetrahymena pyriformis*.

Results and discussion. The dry seafood concentrates had a high content of protein, minerals, and biologically active components, i.e. hexosamines, triterpene glycosides, carotenoids, nucleic acids, etc. The seafood cryoconcentrate mixes were divided into fortifying, restoring, immunomodulating, and mineral. Their chemical composition varied greatly, depending on the functional aim of the mix. For instance, the protein content varied from 28.8 to 57.6%, lipids – from 3.1 to 6.9%, carbohydrates – from 15.0 to 35.9%, minerals – from 10.9 to 22.9%, and hexosamines – from 2.2 to 5.6%. The experiments made it possible to substantiate the composition of the dry mixes. The compilation principle was based on the chemical profile of the raw material, as well as on the choice of biologically active substances. All the dry seafood concentrates showed a high relative biological value. However, the values differed, depending on the type of raw material: from 65.5% for the scallop mantle sample to 86.3% for the octopus skin sample. The difference could be explained by the chemical composition of the cryopowders and their availability to ciliate enzymes.

Conclusion. The research resulted in formulations and functional mixes of dry seafood concentrates obtained by cryotechnology. The dry seafood concentrates can be used both independently and as functional compositions. The developed mixes demonstrated rather high content of animal proteins, minerals, and biologically active substance, e.g. hexosamines, triterpene glycosides, carotenoids, nucleic acids, etc. Their functional compositions proved to have excellent sensory properties; they are biologically safe for human consumption and have a high relative biological value.

Keywords. Cryopowders, dry concentrates, seafoods, chemical composition, organoleptic properties, biological value

Funding. The work was performed as part of the state order of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka) .

For citation: Bogdanov VD, Simdiankin AA, Pankina AV, Mostovoi VD. New Functional Formulations for Dry Seafood Concentrates and their Properties. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(4):707–716. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-707-716>.

Введение

Фактор питания оказывает существенное влияние на здоровье, работоспособность, качество и продолжительность жизни человека. Одним из важных направлений профилактики неинфекционных заболеваний является производство обогащенных функциональными ингредиентами продуктов питания [1].

Сухие концентраты натуральных сырьевых источников – это продукты с содержанием воды от 5 до 12 %. Они обладают высокой пищевой ценностью за счет большой концентрации важных химических компонентов пищи, в том числе эссенциальных, минорных и биологически активных веществ. Благодаря этому они могут выступать в роли натуральных функциональных ингредиентов (биокорреторов) при получении обогащенных продуктов питания. Они также могут быть использованы в качестве основы для получения разнообразных инстант-продуктов. Для получения сухих функциональных концентратов применяют сырье микробиологического или растительного происхождения. В первом случае используют микробные или дрожжевые биомассы, во втором – овощи, фрукты, ягоды и корнеплоды. Биологическое

сырье водного происхождения, обладая уникальным химическим составом, может успешно применяться для получения высокофункциональных сухих пищевых концентратов (криопорошков) широкого спектра действия (инстант-продукты, биокорректоры пищи и др.).

В рыбной отрасли для их производства перспективными видами могут быть как недоиспользуемые сырьевые ресурсы (например, кальмар тихоокеанский), так и пищевые отходы от разделки ценных гидробионтов при их основной переработке. Однако анализ производственной и научной литературы показывает, что круг функциональных ингредиентов из гидробионтов весьма ограничен. Представлен он ферментативными гидролизатами из голотуриевых, препаратами из двустворчатых моллюсков и бурых водорослей. Поэтому производство функциональных продуктов из водных биологических ресурсов является актуальным направлением развития рыбной отрасли Дальнего Востока.

Стоит отметить, что химический состав сухого концентрата отдельно взятого морепродукта своеобразен и не всегда может обеспечить желаемую корректировку пищевой ценности продукта. Поэтому

для достижения желаемого технологического эффекта целесообразно составление смесей сухих концентратов из различных видов сырья. Такие смеси сухих концентратов из морепродуктов с регулируемым составом имеют целевое назначение и являются продуктами профилактического, диетического, лечебного или спортивного питания. Получение смесей определенной функциональности требует знаний химического состава компонентов и композиций, содержания в них биологически активных веществ, органолептических свойств.

Целью исследования является разработка рецептур функциональных композиций криоконцентратов морепродуктов. Для реализации данной цели необходимо провести исследование химического состава, органолептических свойств, биологической ценности сухих концентратов морепродуктов как отдельно взятых, так и их смесей.

Объекты и методы исследования

Объектами исследований являлись сухие концентраты, полученные из тушки кальмара тихоокеанского (*Todarodes pacificus*), мускульной оболочки кукумарии (*Cucumaria japonica*), мантии морского гребешка (*Mizuhopecten yessoensis*), кожи осьминога (*Octopus dofleini*) и молок сельди тихоокеанской (*Pacific herring*). Также в качестве объекта исследования использовали порошок микронизированный из ламинарии японской (*Laminaria japonica*) производства компании «Дивия-фарм Сахалин», соответствующий по качественным показателям действующей нормативной документации. Выбор сырья для производства обогатителей из морепродуктов основан на анализе сырьевой базы объектов промысла, рациональности комплексного использования сырья, его теххимических характеристик, а также наличия и содержания в нем биологически активных веществ.

Сухие концентраты морепродуктов получали по разработанной нами криотехнологии, включающей следующие основные операции: предварительное измельчение сырья → замораживание → тонкое измельчение → сублимационная сушка → смешивание → замораживание → криоизмельчение → фасование.

Мороженое сырье, направляемое на переработку, предварительно измельчают на кусочки размером от 10 до 30 мм. Используется блокорежка «STARCUTTER 348», имеющая достаточную мощность и производительность и обеспечивающая измельчение сырья до заданных размеров частиц (от 14 до 20 мм).

Сырье, поступившее на переработку в замороженном виде и имеющее температуру в центре продукта -18°C , направляют на замораживание с целью снижения температуры в центре продукта до -30°C .

Сырьевые компоненты измельчают на шаровой криомельнице до размера частиц 0,1–3,0 мм. В процессе криоизмельчения температура продукта не должна подниматься выше -20°C .

Полученный мороженный измельченный материал раскладывают тонким слоем (не более 10 мм) на поддоны, охлажденные до температуры не выше -25°C , и направляют в сублимационную сушилку.

Сушку осуществляют при температуре -15 – 20°C под вакуумом 8–9 Па. При сублимации вода, которая находится в сырье в виде льда, переходит из твердого агрегатного состояния в пар, минуя жидкую фазу. При этом удаляется 75–90 % воды. Оставшаяся вода испаряется при досушивании при температуре 40 – 60°C . Общая продолжительность процесса составляет 16–20 ч. На первую стадию приходится 7–8 ч, к ее окончанию отмечается существенное уменьшение скорости сушки. Содержание воды в материале после сушки не должно превышать 12 %.

Высушенные отдельно взятые морепродукты смешивают в соответствии с рецептурами разработанных нами функциональных смесей биокорректоров продуктов питания.

Сухие концентраты морепродуктов или их смеси охлаждают до температуры от -70°C до -100°C и направляют на криоизмельчение до порошкообразного состояния с размером частиц 20–200 мкм. Используется криогенный измельчитель для пищевых продуктов марки «НХ-200» компании «Jiangsu», обеспечивающий необходимую степень дробления материала и соответствующую производительность.

Полученные порошки сухих концентратов из морепродуктов фасуют в пакеты из полимерных материалов массой нетто от 5 до 500 г, которые вакуумируют и герметизируют путем термосварки пакетов.

Определение общего азота, липидов, минеральных веществ и воды осуществляли общепринятыми для пищевых продуктов методами¹. Содержание углеводов рассчитывали по разности суммы содержания белков, липидов, минеральных веществ и воды от 100 %.

Количественное определение каротиноидов и запись спектров поглощения проводили на спектрофотометре «UV-2100» (Shimadzu, Япония). Запись спектров этанольных и гексановых экстрактов вели против соответствующих растворителей. Масляные экстракты разбавляли гексаном, запись спектров вели против масла, разбавленного соответствующим количеством гексана.

Содержание гексозаминов устанавливали спектрофотометрическим методом согласно Фармокопейной статье № 42-1286-99.

¹ ГОСТ 7636-85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. – М.: Стандартинформ, 2010. – 123 с.

Таблица 1. Химический состав сухих концентратов морепродуктов

Table 1. Chemical composition of dry seafood concentrates

Показатели	Кукумария	Кальмар тушка	Кожа осьминога	Молоки сельди	Мантия гребешка	Морская капуста
Массовая доля воды, %	9,4	9,1	6,2	8,2	7,1	8,7
Массовая доля белка, %	67,4	78,1	64,4	78,7	63,9	7,2
Массовая доля липидов, %	1,0	0,9	1,1	5,0	2,2	2,5
Массовая доля минеральных веществ, %	19,3	8,7	22,1	8,9	16,5	30,7
Массовая доля углеводов, %	2,9	3,2	6,2	Следы	10,3	50,9
Каротиноиды, мг/г	0,1	0,04	0,08	0,03	0,03	0,04
Тритерпеновые гликозиды, мг/г	0,87	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Гексозамины, %	8,5	4,3	8,2	0,9	3,2	0,5
ДНК, %	–	–	–	31,7	–	–

Определение содержания тритерпеновых гликозидов проводили по методу, основанному на способности тритерпеновых гликозидов после проведения реакции с щелочью образовывать окрашенные соединения с максимумом поглощения в УФ-области спектра при длине волны 258 нм. Использовали спектрофотометр «UV-2100» [3].

Для определения содержания дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) использовали метод, основанный на стандартном гидролизе ДНК 0,5 М раствором хлорной кислоты до растворимых фрагментов, их последующей экстракции раствором хлорной кислоты и измерении ультрафиолетового поглощения при длине волн 270 и 290 нм с использованием спектрофотометра «UV-2100» [4].

Органолептические исследования проводили в соответствии с ГОСТ ISO 4121-2016 и ГОСТ ISO 13299-2015².

Безопасность сухих концентратов из морепродуктов и их относительную биологическую ценность (ОБЦ) исследовали, используя метод биологической оценки пищевых продуктов с помощью реснитчатой инфузории *Tetrahymena pyriformis* класса *Ciliata*. Биологическую ценность сухих концентратов определяли относительно казеина [5].

Статистическую обработку данных проводили стандартным методом оценки результатов испытаний для малых выборок. Цифровые величины, указанные в таблицах и на графиках, представляют собой арифметические средние, надежность которых $P = 0,95$, доверительный интервал $\Delta \pm 10 \%$.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования химического состава полученных нами сухих концентратов морепродуктов приведены в таблице 1.

Экспериментальные данные таблицы 1 показывают, что сухие концентраты кукумарии, кальмара,

кожи осьминога, молоко сельди и мантии гребешка относятся к высокобелковым продуктам, т. к. содержание белка в них находится в пределах от 63,9 до 78,7 %. Факт высокого содержания белка животного происхождения, который является источником незаменимых аминокислот, дает основание отнести исследуемые концентраты морепродуктов к натуральным функциональным пищевым продуктам [2, 6, 7]. Следует учитывать литературные данные относительно биологической ценности белков кальмара, осьминога и гребешка [8–10]. Они показывают, что белки этих моллюсков, в сравнении с идеальным белком, перегружены определенными незаменимыми аминокислотами. Из этого следует вывод о возможности их использования для обогащения продуктов питания.

Содержание липидов в исследуемых продуктах относительно невысокое. Больше всего их обнаружено в концентрате молоко сельди – 5,0 %, меньше в концентрате кальмара – 0,9 %. Результаты исследований показывают, что в концентратах морепродуктов содержится много минеральных веществ, особенно показательны кукумария – 19,3 % и морская капуста – 30,7 %. В этой связи данные концентраты можно применять в качестве обогатителей продуктов питания минералами.

Химический состав концентрата морской капусты отличается от составов рассмотренных выше высокобелковых концентратов морепродуктов. Ее концентрат следует позиционировать как продукт с высоким содержанием углеводов компонентов и минеральных веществ – 50,9 и 30,7 % соответственно. Из литературных источников известно, что углеводную фракцию ламинарии японской составляют альгиновые кислоты, фукоиды, ламинаран, проявляющие свойства мягких пищевых волокон и выступающие в роли энтеросорбентов [11, 12]. Важнейшими макроэлементами ламинариевых являются (% в сухом веществе): Са – 0,7–1,0, Na – 0,9–4,1, Ка – 3,6–10,3 и Mg – 0,38–0,9. Из микроэлементов следует отметить йод в количестве 0,14–0,60 %, железо 0,021–0,053 %,

² ГОСТ ISO 4121-2016. Органолептический анализ. Руководящие указания по применению шкал количественных характеристик. – М. : Стандартинформ, 2019. – 21 с.

Таблица 2. Рецептуры смесей сухих концентратов морепродуктов

Table 2. Formulations of mixes of dry seafood concentrates

№ рецептуры	Компоненты, %					
	Кукумария	Кальмар тушка	Кожа осьминога	Молоки сельди	Морская капуста	Мантия гребешка
Общеукрепляющая						
1	10	50	10	10	10	10
Восстанавливающая						
2	25	25	21	6	15	8
Иммуномодулирующая						
3	50	–	–	30	15	5
Минералокорректирующая						
4	15	–	15	–	50	20

а также Zn 0,0034–0,0096 % [13]. При этом йод и кальций являются органически связанными с аминокислотами и белками, что способствует их хорошему усвоению в организме человека [14–16].

Нами установлено, что сухие концентраты морепродуктов содержат биологически активные вещества. Во всех образцах концентратов обнаружены каротиноиды. Их содержание составляет от 0,03 до 0,1 мг на 1 г продукта при сравнительно невысоком содержании липидов. Также во всех образцах присутствуют гексозамины. Высокое содержание гексозаминов отмечено в образцах из кукумарии (8,5 %) и кожи осьминога (8,2 %). Такие биологически активные вещества, как тритерпеновые гликозиды, обнаружены только в кукумарии в количестве 0,87 мг в г продукта, а нуклеиновые кислоты в виде ДНК содержатся в сухом концентрате молок сельди тихоокеанской в количестве 31,7 %. Известно, что биологическая активность обнаруженных в концентратах веществ проявляется: у каротиноидов в антиоксидантной активности; гексозаминов – хондопротекторных свойствах; тритерпеновых гликозидов – адаптогенной, противоопухолевой, антибактериальной и противовирусной активности; нуклеиновых кислот – адаптогенных свойствах, повышении физической и умственной работоспособности организма человека [17–21]. В Российской Федерации разработаны и рекомендованы суточные нормы потребления данных БАВов, которые для взрослого человека имеют следующие значения, мг: каротиноиды – 2, гликозиды – 2, гексозамины – 700, ДНК – 150, но не более 500. Суточное потребление белка для мужчины 45 лет с физической нагрузкой 2500 ккал составляет 72 г, в т. ч. 36 г – животного белка^{3,4}.

Таким образом, рассмотренные выше результаты исследования химического состава сухих концентратов морепродуктов показывают,

что он оригинален для каждого вида исследуемого объекта. Особенно это прослеживается в части содержания биологически активных компонентов: тритерпеновых гликозидов, ДНК, гексозаминов и каротиноидов. Поэтому для получения пищевых продуктов, обладающих полифункциональными или определенными ярко выраженными свойствами, целесообразно производить смешивание сухих концентратов отдельно взятых морепродуктов либо готовить смеси сырьевых компонентов после их измельчения в мороженом виде перед вакуумной сушкой.

Разрабатываемые нами функциональные смеси криоконцентратов морепродуктов условно разделены на 4 группы. В основу классификации смесей положено их целенаправленное действие на организм человека (функциональность) при систематическом употреблении за счет содержания в них компонентов, проявляющих биологическую активность. На основе данного принципа нами определены следующие группы функциональных смесей:

- общеукрепляющие – с высоким содержанием полноценных белков, а также содержанием биологически активных веществ, (гликозидов, гексозаминов, каротиноидов, нуклеатидов, минеральных веществ и балластных веществ);
- восстанавливающие (после травм, хирургических или других вмешательств) – с повышенным содержанием гексозаминов, а также белков, минералов, гликозидов, каротиноидов;
- иммуномодулирующие – с повышенным содержанием тритерпеновых гликозидов;
- минералокорректирующие – с повышенным содержанием макро- и микроэлементов.

Обоснован состав сухих смесей. Принцип его составления основан на анализе химического состава исходного сырья и отдельных сухих концентратов морепродуктов и выбора тех компонентов рецептур, которые создадут повышенное содержание биологически активных веществ, определяющих заданную функциональность композиции.

Рецептуры смесей сухих концентратов морепродуктов представлены в таблице 2.

³ МР 2.3.1.2432-2008. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации.

⁴ ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции». – 2011. – 242 с.

Таблица 3. Химический состав смесей сухих концентратов морепродуктов

Table 3. Chemical composition of mixes of dry seafood concentrates

Показатели	Номер рецептуры			
	1	2	3	4
Вода, %	9,9	9,9	10,0	9,3
Белок, %	57,6	49,7	54,7	28,8
Липиды, %	6,6	4,8	6,9	3,1
Углеводы, %	15,0	21,7	11,3	35,9
Минеральные вещества, %	10,9	13,9	17,1	22,9
Каротиноиды, мг/г	0,09	0,10	0,17	0,15
Тритерпеновыегликозиды, мг/г	0,15	0,12	0,48	0,20
Гексозамины, %	2,2	5,6	4,9	2,7
ДНК, %	3,3	5,1	13,6	н/о

Приготовленные по разработанным рецептурам смеси криоконцентратов морепродуктов подвергались химическим и органолептическим методам исследования. В таблице 3 приведен общий химический состав смесей и содержание в них биологически активных веществ.

Из данных таблицы 3 видно, что состав основных пищевых веществ может варьироваться в большом диапазоне значений в зависимости от состава смеси концентратов. Так, например, содержание белка в предложенных составах изменяется от 28,8 до 57,6 %, содержание липидов – от 3,1 до 6,9 %, содержание углеводов – от 15,0 до 35,9 %, минеральных веществ – от 10,9 до 22,9 %.

Разработанные рецептуры смесей отличаются как высоким содержанием функциональных белков животного происхождения, минеральных веществ, так и веществ, проявляющих биологическую активность: гексозаминов, тритерпеновых гликозидов, каротиноидов и нуклеиновых кислот. Расчеты показывают, что если мужчина 45 лет интеллектуального труда употребит, например, порцию смеси «Общеукрепляющая» в количестве 10 г, то она обеспечит суточную потребность (нормы приведены выше) в животном белке на 16 %, гексозаминах – 31,5 %, гликозидах – 75 %,

каротиноидах – 45 %, нуклеиновых кислотах – 220 %. Считается, что в функциональных продуктах питания содержание функциональных пищевых ингредиентов должно быть в количестве не менее 15 % от суточной потребности в расчете на одну порцию [22]. Разработанные нами смеси криоконцентратов морепродуктов могут быть рекомендованы для профилактического, лечебного, диетического и спортивного питания или выступать в качестве биокорректоров при производстве различных обогащенных пищевых продуктов.

В таблице 4 приведены результаты органолептической оценки сухих концентратов морепродуктов и их смесей.

По внешнему виду сухие концентраты морепродуктов представляли собой порошкообразную, тонкодисперсную, однородную сухую массу. Цвет ее зависел от вида сырья и изменялся от молочно-розового у концентрата кальмара до светло-бежевого у концентратов мантии гребешка, молоко сельди и смесей рецептур № 1–3. Минерало-корректирующая смесь (№ 4) имела серо-бежевый цвет, как и концентрат кукумарии, а концентрат из кожи осьминога был серо-розового цвета.

Вкус и запах исследуемых концентратов характеризовался как «креветочный, вяленой, соленой рыбы, крабовый, сладковатый, солоноватый, приятный, морской, гармоничный и др.». Для каждого вида концентратов они были своеобразными и определялись индивидуальными особенностями сырья, из которого получены.

Наибольшее количество баллов получили образцы сухих концентратов из кальмара и смесей общеукрепляющей (№ 1) и восстанавливающей (№ 2). Несколько хуже оценен концентрат молоко сельди, у которого большинство дегустаторов отметили горьковатый привкус и оттенки «тукового» запаха. Запах и вкус концентрата кукумарии определены как нейтральные, слабо выраженные, едва уловимые. Отмечено, что наибольшей интенсивностью запаха и вкуса обладают сухие концентраты из молока сельди и кальмара. Также установлена высокая интенсивность

Таблица 4. Органолептическая оценка сухих концентратов морепродуктов и их смесей

Table 4. Sensory evaluation of dry seafood concentrates and their mixes

Вид сухого концентрата	Оценка, баллы				
	Внешний вид	Цвет	Запах	Вкус	Общая оценка
Кукумария	4	5	4	4	17
Кальмар тушка	5	5	5	5	20
Кожа осьминога	5	4	4	5	18
Молоки сельди	5	5	4	3	17
Морская капуста	5	5	5	4	19
Мантия гребешка	5	5	4	4	18
Общеукрепляющая (№ 1)	5	5	5	5	20
Восстанавливающая (№ 2)	5	5	5	5	20
Иммуномоделирующая (№ 3)	5	5	5	4	19
Минералокорректирующая (№ 4)	5	4	5	4	18

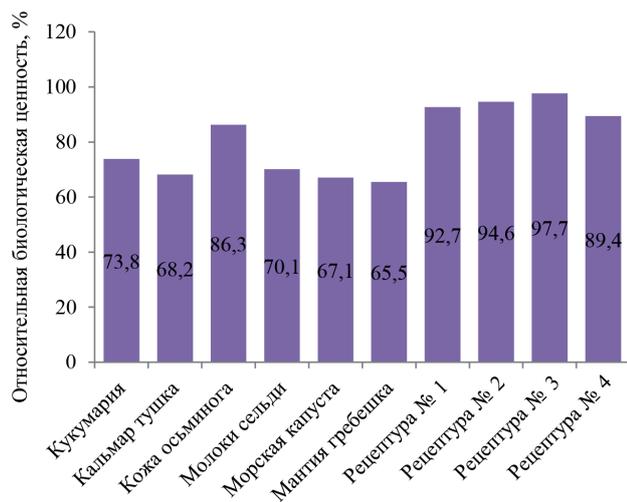


Рисунок 1. Относительная биологическая ценность концентратов морепродуктов и их смесей

Figure 1. Relative biological value of seafood concentrates and their mixes

вкуса концентрата кожи осьминога, но его запах характеризуется как слабо выраженный

Смеси сухих концентратов морепродуктов имеют близкие характеристики органолептических показателей: приятные вкус и запах сушеной рыбы и морепродуктов. Отмечено положительное влияние морской капусты в составе смесей в количестве около 15 %, которое определено дегустаторами как гармонизирующее, облагораживающее, подчеркивающее морское происхождение продукта. Применение морской капусты в рецептуре смеси в количестве более 20 % приводит к проявлению выраженного вкуса данного компонента. При этом отмечается общее положительное восприятие эмоциональной оценки продукта.

Безопасность и биологическую ценность сухих концентратов морепродуктов исследовали биотестированием с помощью реснитчатой инфузории *Tetrahymena pyriformis*.

Биотестирование смесей концентратов из морепродуктов показало, что они не проявляют токсичность. Не отмечено угнетение подвижности, наличие гибели единичных особей, деформации клеточной стенки инфузории. В процессе культивирования имеет место устойчивый рост количества клеток в течение 4–5 суток на всех исследуемых образцах, что свидетельствует о биологической безопасности для здоровья человека разработанных нами новых пищевых продуктов.

Биологическая ценность сухих концентратов морепродуктов и их смесей представлена на рисунке 1.

Результаты экспериментальных исследований показывают высокую биологическую ценность сухих концентратов морепродуктов. При этом отмечается существенная разница ее значений, в зависимости от вида сырья: от 65,5 % у образца из мантии

гребешка до 86,3 % у образца из кожи осьминога. Это связано с особенностями химического состава исследуемых криопорошков и его доступностью ферментам инфузории. Следует отметить, что биологическая ценность смесей оказалась выше, чем отдельно взятых концентратов морепродуктов. Это можно объяснить оптимизацией макро- и микронутриентного состава разработанных целевых продуктов.

Выводы

В результате проведенных исследований разработаны рецептуры и получены по криотехнологии функциональные композиции сухих концентратов морепродуктов: общеукрепляющая, восстанавливающая, иммуномодулирующая и минералокорректирующая.

Исследованиями химического состава криоконцентратов морепродуктов установлено высокое содержание в них белков и минеральных веществ при небольшом количестве липидов. Сухие концентраты морепродуктов содержат биологически активные вещества: каротиноиды, гексозамины, тритерпеновые гликозиды и нуклеиновые кислоты.

Сухие концентраты морепродуктов могут применяться как самостоятельно, так и в виде функциональных композиций. Разработанные смеси, в зависимости от рецептуры, отличаются достаточно высоким содержанием белков животного происхождения, минеральных веществ, а также веществ, проявляющих биологическую активность: гексозаминов, тритерпеновых гликозидов, каротиноидов и нуклеиновых кислот. Расчеты показывают, что концентрация этих биологически активных веществ в разработанных композициях (при употреблении порции в 1 упаковке 10 г) обеспечивает установленные государством суточные нормы их потребления, что дает основания отнести их к функциональным продуктам. Разработанные нами смеси криоконцентратов морепродуктов могут быть рекомендованы для профилактического, лечебного, диетического и спортивного питания или выступать в качестве биокорректоров при производстве различных обогащенных пищевых продуктов.

Исследование органолептических свойств сухих концентратов морепродуктов и их композиций показало, что они имеют высокие характеристики и могут употребляться в качестве продуктов питания как самостоятельно, так и входить в составы других пищевых систем.

Результаты биотестирования показали, что сухие концентраты морепродуктов как отдельно взятые, так и в составе разработанных композиций, биологически безопасны для здоровья человека и проявляют высокую относительную биологическую ценность.

Критерии авторства

В. Д. Богданов – руководство исследованием,

подготовка статьи. А. А. Симдянкин – подготовка сухих концентратов, подготовка рисунков, работа с результатами. А. В. Панкина – определение биологической ценности, подготовка результатов. В. Д. Мостовой – разработка и подготовка композиций сухих концентратов из морепродуктов, подготовка результатов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

V.D. Bogdanov supervised the research and prepared the manuscript. A.A. Simdiankin prepared the dry concentrates, designed the illustrative material, and developed the results. A.V. Pankina defined the biological value and worked on the results. V.D. Mostovoi developed and prepared the compositions, as well as developed the research results.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Научные и практические аспекты технологий продуктов питания функциональной направленности / И. Ю. Потороко, А. В. Паймулина, Д. Г. Ускова [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2018. – Т. 6, № 1. – С. 49–59. <https://doi.org/10.14529/food180106>.
2. Effects of the edible cuttlefish gelatin on textural, sensorial and physicochemical quality of octopus sausage / N. Souissi, M. Jridi, R. Nasri [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 65. – P. 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.051>.
3. Состав и антиоксидантные свойства ферментативного гидролизата мышечной ткани трепанга / Н. Н. Ковалев, Ю. М. Позднякова, А. Д. Перцева [и др.] // Пищевая промышленность. – 2016. – № 1. – С. 52–55.
4. Северин, С. Е. Практикум по биохимии / С. Е. Северин, Г. А. Соловьева. – М. : МГУ, 1989. – 509 с.
5. Богданов, В. Д. Исследование безопасности и биологической ценности сухого концентрата трепанга биотестированием / В. Д. Богданов, О. В. Сахарова, Т. Г. Сахарова // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2016. – Т. 37. – С. 93–98.
6. Physico-chemical and film forming properties of giant squid (*Dosidicus gigas*) gelatin / B. Giménez, J. Gómez-Estaca, A. Alemán [et al.] // Food Hydrocolloids. – 2009. – Vol. 23, № 3. – P. 585–592. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.07.003>.
7. Лисицын, А. Б. Современные тенденции развития индустрии функциональных пищевых продуктов в России и за рубежом / А. Б. Лисицын, И. М. Чернуха, О. И. Лунина // Теория и практика переработки мяса. – 2018. – Т. 3, № 1. – С. 29–45. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-1-29-45>.
8. Anti-aging effect of sea cucumber (*Cucumaria frondosa*) hydrolysate on fruit flies and d-galactose-induced aging mice / L. Lin, K. Yang, L. Zheng [et al.] // Journal of Functional Foods. – 2018. – Vol. 47. – P. 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.05.033>.
9. Flavored-functional protein hydrolysates from enzymatic hydrolysis of dried squid by-products: Effect of drying method / P. Sukkhown, K. Jangchud, Y. Lorjaroenphon [et al.] // Food Hydrocolloids. – 2018. – Vol. 76. – P. 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.01.026>.
10. Зюзьгина, А. А. Химический состав и технологическая характеристика осьминогов японского моря / А. А. Зюзьгина, Н. М. Купина // Известия ТИПРО. – 2005. – Т. 142. – С. 323–328.
11. Primary structure and anticoagulant activity of fucoidan from the sea cucumber *Holothuria polii* / M. B. Mansour, R. Balti, L. Yacoubi [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2019. – Vol. 121. – P. 1145–1153. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.129>.
12. Fucoidan from *Laminaria japonica* exerts antitumor effects on angiogenesis and micrometastasis in triple-negative breast cancer cells / W.-J. Hsu, M.-H. Lin, T.-C. Kuo [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2020. – Vol. 149. – P. 600–608. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.256>.
13. Characterization of a seafood-flavoring enzymatic hydrolysate from brown alga *Laminaria japonica* / X. Zhang, D. Jiang, D. Li [et al.] // Journal of Food Measurement and Characterization. – 2019. – Vol. 13, № 2. – P. 1185–1194. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00034-6>.
14. The specific use of alginate from: *Laminaria japonica* by *Bacteroides* species determined its modulation of the *Bacteroides* community / C. Ai, P. Jiang, Y. Liu [et al.] // Food and Function. – 2019. – Vol. 10, № 7. – P. 4304–4314. <https://doi.org/10.1039/C9FO00289H>.
15. Prevention and possible mechanism of a purified *Laminaria japonica* polysaccharide on adriamycin-induced acute kidney injury in mice / X.-Y. Li, H.-R. Chen, X.-Q. Zha [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2020. – Vol. 148. – P. 591–600. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.159>.
16. Protective effects of a mixed plant extracts derived from *Astragalus membranaceus* and *Laminaria japonica* on PTU-induced hypothyroidism and liver damages / M. Mohibullah, K. M. I. Bashir, S.-K. Kim [et al.] // Journal of Food Biochemistry. – 2019. – Vol. 43, № 7. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12853>.

17. Antioxidant and functional properties of gelatin hydrolysates obtained from skin of sole and squid / B. Giménez, A. Alemán, P. Montero [et al.] // Food Chemistry. – 2009. – Vol. 114, № 3. – P. 976–983. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.050>.
18. Nam, K. A. Molecular and physical characteristics of squid (*Todarodes pacificus*) skin collagens and biological properties of their enzymatic hydrolysates / K. A. Nam, S. G. You, S. M. Kim // Journal of Food Science. – 2008. – Vol. 73, № 4. – P. C249–C255. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00722.x>.
19. Tabakaeva, O. V. Tissue carotenoid composition of the Far-East bivalve mollusk *Anadara broughtonii* / O. V. Tabakaeva, A. V. Tabakaev // Chemistry of Natural Compounds. – 2015. – Vol. 51, № 6. – P. 1171–1173. <https://doi.org/10.1007/s10600-015-1522-2>.
20. Zhong, Y. Compositional characteristics and antioxidant properties of fresh and processed sea cucumber (*Cucumaria frondosa*) / Y. Zhong, M. A. Khan, F. Shahidi // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2007. – Vol. 55, № 4. – P. 1188–1192. <https://doi.org/10.1021/jf063085h>.
21. Simultaneous double cationic and anionic molecule separation from herring milt hydrolysate and impact on resulting fraction bioactivities / R. Durand, E. Fraboulet, A. Marette [et al.] // Separation and Purification Technology. – 2019. – Vol. 210. – P. 431–441. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.08.017>.
22. Коденцова, В. М. Анализ отечественного и международного опыта использования обогащенных витаминами пищевых продуктов / В. М. Коденцова, О. А. Вржесинская // Вопросы питания. – 2016. – Т. 85, № 2. – С. 31–50.

References

1. Potoroko IYu, Paimulina AV, Uskova DG, Kalinina IV. Scientific and practical aspects of functional food technology. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2018;6(1):49–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/food180106>.
2. Souissi N, Jridi M, Nasri R, Ben Slama R, Njeh M, Nasri M. Effects of the edible cuttlefish gelatin on textural, sensorial and physicochemical quality of octopus sausage. LWT – Food Science and Technology. 2016;65:18–24. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.051>.
3. Kovalev NN, Poznyakova YuM, Pertseva AD, Tun C. The composition and antioxidant enzymatic hydrolyzate of trepang muscle. Food Industry. 2016;(1):52–55. (In Russ.).
4. Severin SE, Solov'eva GA. Praktikum po biokhimii [Biochemistry workshop]. Moscow: Lomonosov Moscow State University; 1989. 509 p. (In Russ.).
5. Bogdanov VD, Sakharova OV, Sakharova TG. Safety studies and biological value of dry concentrate holothuroidea biotesting. Scientific Journal of the Far East State Technical Fisheries University. 2016;37:93–98. (In Russ.).
6. Giménez B, Gómez-Estaca J, Alemán A, Gómez-Guillén MC, Montero MP. Physico-chemical and film forming properties of giant squid (*Dosidicus gigas*) gelatin. Food Hydrocolloids. 2009;23(3):585–592. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.07.003>.
7. Lisitsyn AB, Chernukha IM, Lunina OI. Modern trends in the development of the functional food industry in Russia and abroad. Theory and Practice of Meat Processing. 2018;3(1):29–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-1-29-45>.
8. Lin L, Yang K, Zheng L, Zhao M, Sun W, Zhu Q, et al. Anti-aging effect of sea cucumber (*Cucumaria frondosa*) hydrolysate on fruit flies and D-galactose-induced aging mice. Journal of Functional Foods. 2018;47:11–18. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.05.033>.
9. Sukkhown P, Jangchud K, Lorjaroenphon Y, Pirak T. Flavored-functional protein hydrolysates from enzymatic hydrolysis of dried squid by-products: Effect of drying method. Food Hydrocolloids. 2018;76:103–112. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.01.026>.
10. Zuzgina AA, Kupina NM. Chemical composition and technological characteristics of two Octopoda species from the Japan Sea. Izvestiya TINRO. 2005;142:323–328. (In Russ.).
11. Mansour MB, Balti R, Yacoubi L, Ollivier V, Chaubet F, Maaroufi RM. Primary structure and anticoagulant activity of fucoidan from the sea cucumber *Holothuria polii*. International Journal of Biological Macromolecules. 2019;121:1145–1153. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.129>.
12. Hsu W-J, Lin M-H, Kuo T-C, Chou C-M, Mi F-L, Cheng C-H, et al. Fucoidan from *Laminaria japonica* exerts antitumor effects on angiogenesis and micrometastasis in triple-negative breast cancer cells. International Journal of Biological Macromolecules. 2020;149:600–608. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.256>.
13. Zhang X, Jiang D, Li D, Yu C, Dong X, Qi H. Characterization of a seafood-flavoring enzymatic hydrolysate from brown alga *Laminaria japonica*. Journal of Food Measurement and Characterization. 2019;13(2):1185–1194. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00034-6>.
14. Ai C, Jiang P, Liu Y, Duan M, Sun X, Luo T, et al. The specific use of alginate from: *Laminaria japonica* by *Bacteroides* species determined its modulation of the *Bacteroides* community. Food and Function. 2019;10(7):4304–4314. <https://doi.org/10.1039/C9FO00289H>.
15. Li X-Y, Chen H-R, Zha X-Q, Chen S, Pan L-H, Li Q-M, et al. Prevention and possible mechanism of a purified *Laminaria japonica* polysaccharide on adriamycin-induced acute kidney injury in mice. International Journal of Biological Macromolecules. 2020;148:591–600. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.159>.

16. Mohibbullah M, Bashir KMI, Kim S-K, Hong Y-K, Kim A, Ku S-K. Protective effects of a mixed plant extracts derived from *Astragalus membranaceus* and *Laminaria japonica* on PTU-induced hypothyroidism and liver damages. *Journal of Food Biochemistry*. 2019;43(7). <https://doi.org/10.1111/jfbc.12853>.
17. Giménez B, Alemán A, Montero P, Gómez-Guillén MC. Antioxidant and functional properties of gelatin hydrolysates obtained from skin of sole and squid. *Food Chemistry*. 2009;114(3):976–983. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.10.050>.
18. Nam KA, You SG, Kim SM. Molecular and physical characteristics of squid (*Todarodes pacificus*) skin collagens and biological properties of their enzymatic hydrolysates. *Journal of Food Science*. 2008;73(4):C249–C255. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00722.x>.
19. Tabakaeva OV, Tabakaev AV. Tissue carotenoid composition of the Far-East bivalve mollusk *Anadara broughtonii*. *Chemistry of Natural Compounds*. 2015;51(6):1171–1173. <https://doi.org/10.1007/s10600-015-1522-2>.
20. Zhong Y, Khan MA, Shahidi F. Compositional characteristics and antioxidant properties of fresh and processed sea cucumber (*Cucumaria frondosa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2007;55(4):1188–1192. <https://doi.org/10.1021/jf063085h>.
21. Durand R, Fraboulet E, Marette A, Bazinet L. Simultaneous double cationic and anionic molecule separation from herring milt hydrolysate and impact on resulting fraction bioactivities. *Separation and Purification Technology*. 2019;210:431–441. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.08.017>.
22. Kodentsova VM, Vrzhesinskaya OA. The analysis of domestic and international policy of food fortification with vitamins. *Problems of Nutrition*. 2016;85(2):31–50. (In Russ.).

Сведения об авторах

Богданов Валерий Дмитриевич

д-р техн. наук, профессор кафедры технологии продуктов питания, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет», 690087, Россия, г. Владивосток, ул. Луговая, 52Б, e-mail: bogdanovvd@dgtru.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0913-780X>

Симдянкин Андрей Андреевич

старший преподаватель кафедры холодильной техники, кондиционирования и теплотехники, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет», 690087, Россия, г. Владивосток, ул. Луговая, 52Б, e-mail: And-sim@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7242-5356>

Панкина Анна Валерьевна

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии продуктов питания, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет», 690087, Россия, г. Владивосток, ул. Луговая, 52Б, e-mail: pankina_81_81@mail.ru

Мостовой Вадим Дмитриевич

аспирант кафедры технологии продуктов питания, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет», 690087, Россия, г. Владивосток, ул. Луговая, 52Б, e-mail: vadim_14@inbox.ru

Information about the authors

Valery D. Bogdanov

Dr.Sci.(Eng.), Professor of the Department of Food Technology, Far Eastern State Technical Fisheries University, 52B, Lugovaya Str., Vladivostok, 690087, Russia, e-mail: bogdanovvd@dgtru.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0913-780X>

Andrei A. Simdiankin

Senior Lecturer of the Department of Refrigeration, Air Conditioning and Heating Engineer, Far Eastern State Technical Fisheries University, 52B, Lugovaya Str., Vladivostok, 690087, Russia, e-mail: And-sim@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7242-5356>

Anna V. Pankina

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Food Technology, Far Eastern State Technical Fisheries University, 52B, Lugovaya Str., Vladivostok, 690087, Russia, e-mail: pankina_81_81@mail.ru

Vadim D. Mostovoi

Postgraduate Student of the Department of Food Technology, Far Eastern State Technical Fisheries University, 52B, Lugovaya Str., Vladivostok, 690087, Russia, e-mail: vadim_14@inbox.ru

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-717-725>
УДК 543.51:663.3

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Исследование отношений изотопов углерода, кислорода и водорода этанола фруктовых вин

Л. А. Оганесянц^{ORCID}, А. Л. Панасюк^{ORCID}, Е. И. Кузьмина^{ORCID}, М. Ю. Ганин*^{ORCID}



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

Дата поступления в редакцию: 13.11.2020
Дата принятия в печать: 25.12.2020

*e-mail: labvin@yandex.ru



© Л. А. Оганесянц, А. Л. Панасюк, Е. И. Кузьмина, М. Ю. Ганин, 2020

Аннотация.

Введение. Исследованы изотопные характеристики углерода этанола, содержащегося в винах, полученных из различных плодов и ягод. В работе для выявления фальсифицированных вин предложено использование показателей $\delta^{13}\text{C}$ ‰ изотопов углерода этанола, а также показателей $\delta^{18}\text{O}$ ‰ и δD ‰ изотопов кислорода и водорода этанола. Цель работы – исследование возможности использования дополнительных критериев, характеризующих подлинность столовых фруктовых вин, в качестве которых были выбраны отношения изотопов $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ и D/H, содержащихся в молекулах спиртов различного происхождения.

Объекты и методы исследования. Инструментальной базой, обеспечивающей получение характеристик изотопов элементов молекул этанола, служил масс-спектрометрический комплекс Delta V Advantage, обеспечивающий прецизионный анализ отношений распространённости $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, D/H изотопов. В лабораторных условиях были приготовлены вина из шести видов плодов (яблоки, груши, вишня, черная смородина, слива и арония).

Результаты и их обсуждение. С целью установления изотопных характеристик смеси спиртов фруктовых вин, образующихся при совместном сбраживании фруктовых сахаров и внесённых сахаристых веществ, в сусле или мезгу плодов добавляли три вида сырья – тростниковый сахар, свекловичный сахар и кукурузный глюкозно-фруктозный сироп. Замечены различия в изотопных характеристиках $\delta^{18}\text{O}$ этилового спирта, получаемого при сбраживании сахаров, содержащихся в плодовых соках, и смеси этиловых спиртов, образующихся при сбраживании фруктовых сахаров совместно со свекловичным, кукурузным или тростниковым сахарами.

Выводы. Использование показателя $\delta^{13}\text{C}$ ‰ при анализе столовых фруктовых вин недостаточно для выявления наличия в них внесённого зернового спирта. Перспективно определение изотопных характеристик всех атомов, содержащихся в молекуле этанола, а именно углерода, кислорода и водорода. Внесение сахаристых веществ перед или в процессе брожения фруктовых соков для обеспечения требуемого наброда спирта снижает числовое значение показателя $\delta^{18}\text{O}$ ‰ этанола. Показатель δD ‰ в определенных случаях может служить дополнительным критерием, позволяющим выявить нарушение технологического процесса производства столовых фруктовых вин.

Ключевые слова. Спирт, фруктовые вина, изотопы, углерод, кислород, водород, масс-спектрометрия, фальсификация, ферментация

Для цитирования: Исследование отношений изотопов углерода, кислорода и водорода этанола фруктовых вин / Л. А. Оганесянц, А. Л. Панасюк, Е. И. Кузьмина [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 717–725. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-717-725>.

Original article

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

Isotopes of Carbon, Oxygen, and Hydrogen Ethanol in Fruit Wines

Lev A. Oganesyants^{ORCID}, Alexander L. Panasyuk^{ORCID},
Elena I. Kuzmina^{ORCID}, Mikhail Yu. Ganin*^{ORCID}

Received: November 13, 2020
Accepted: December 25, 2020

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

*e-mail: labvin@yandex.ru



© L.A. Oganesyants, A.L. Panasyuk, E.I. Kuzmina, M.Yu. Ganin, 2020

Abstract.

Introduction. Like any other food product, alcoholic drinks are subject to falsification. The present research featured various methods of analysis that can be applied to control the quality and authenticity of wine production. In case of doubt, experts apply national and interstate standards, the most informative of which are based on the isotopic mass spectrometry principle. Fruit winemaking relies on beet or cane sugar. Researchers have to develop a method to identify the difference between conditionally exogenous alcohols, which are formed during fermentation, and real exogenous alcohols, introduced in the form of rectified ethyl alcohol of grain origin. In order to identify non-grape alcohol, experts measure the ratio of ethanol carbon isotopes in the wine. However, $\delta^{13}\text{C}\%$ alone is not sufficient to analyze fruit wines and other alcohol drinks. Ratios of $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and D/H isotopes can become an extra criterion to test the authenticity of fruit table wines.

Study objects and methods. The mass spectrometric complex Delta V Advantage Thermo Fisher Scientific (USA) provided a precise analysis of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, D/H isotopes. Wine samples were prepared in laboratory conditions from six types of fruits: apples, pears, cherries, black currants, plums, and chokeberries. Apple wine was obtained from fermented wort; other samples were fermented from pulp. Fermentation temperature was $20 \pm 2^\circ\text{C}$, while the yeast race was represented by Vishnyovaya 33.

Results and discussion. In fruit wine production, grain ethanol is the most popular falsification tool: it increases alcohol content instead of sugar, and sometimes even without fermentation process. In this regard, the research focused on carbon, oxygen, and grain alcohols hydrogen isotope characteristics, as well as fruit wines, obtained as a result of technology violation. The fruit wine alcohol mixes developed from joint fermentation of fruit sugars and introduced sugary substances. Cane sugar, beet sugar, and corn glucose and fructose syrup were added to the wort or pulp to establish the isotopic characteristics of the mix. The rate of exogenous alcohol production was 5% by volume.

Conclusion. The analysis of $\delta^{13}\text{C}\%$ indicator failed to detect introduced grain alcohol. The analysis of isotopes of all atoms in the ethanol molecule, namely carbon, oxygen, and hydrogen, proved to be much more effective. The introduction of sugary substances prior to or during fruit juice fermentation provided the required alcohol content. It also reduced the numerical value of $\delta^{18}\text{O}\%$ of ethanol, which makes it significantly different from that of fortified fruit wines obtained by introducing grain alcohol into fermented fruit juice. Thus, the $\delta\text{D}\%$ indicator can serve as an additional criterion in order to identify possible violations of technological process of fruit table wines production.

Keywords. Alcohol, fruit wines, isotopes, carbon, oxygen, hydrogen, mass spectrometry, adulteration, fermentation

For citation: Oganesyants LA, Panasyuk AL, Kuzmina EI, Ganin MYu. Isotopes of Carbon, Oxygen, and Hydrogen Ethanol in Fruit Wines. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(4):717–725. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-717-725>.

Введение

В настоящее время в мире производится широкий ассортимент алкогольных напитков на виноградном и плодовом сырье. Основные виды винодельческой продукции из винограда составляют вина, ликерные вина, игристые вина, винные напитки и спиртные напитки крепостью выше 37,5 %: виноградные водки, бренди и др. Значительное место в ассортименте продукции занимают алкогольные напитки из плодов и ягод. К ним относятся столовые фруктовые вина, крепленые вина, сидры, пуаре, а также фруктовые водки и фруктовые бренди.

Как и любой другой пищевой продукт, все эти напитки подвержены фальсификации. Для контроля за качеством и подлинностью винодельческой продукции используются различные методы анализа [1–10]. Нормируемые показатели определяются в каждой партии продукции. Эти величины устанавливаются в национальных и межгосударственных стандартах вида «общие технические условия» стран-членов Евразийского экономического союза. Однако выполнение требований стандартов данного вида обеспечивают лишь подтверждение отношения продукта к определенному виду, характеризуют его товарные свойства и не могут гарантировать его подлинность.

В случае возникновения сомнений у эксперта он вправе применять национальные и межгосударственные стандарты вида «идентификация».

Наиболее информативными среди них являются разработанные в последние годы стандарты, основанные на применении инструментальных методов анализа. К ним относятся методы, в основу которых заложен принцип изотопной масс-спектрометрии^{1,2,3,4,5}.

Высокую эффективность этот метод проявил при определении подлинности виноградных вин [11–17]. Известно, что наиболее распространенным способом фальсификации данного вида продукции является внесение спиртов не виноградного происхождения

¹ ГОСТ 32710-2014. Продукция алкогольная и сырье для ее производства. Идентификация. Метод определения отношения изотопов $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ спиртов и сахаров в винах и сулах. – М. : Стандартинформ, 2014. – 11 с.

² ГОСТ Р 55460-2013. Продукция алкогольная. Идентификация. Метод определения отношения изотопов $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ диоксида углерода в игристых винах и напитках брожения. – М. : Стандартинформ, 2014. – 11 с.

³ ГОСТ Р 55460-2013. Продукция алкогольная. Идентификация. Метод определения отношения изотопов $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ диоксида углерода в игристых винах и напитках брожения. – М. : Стандартинформ, 2014. – 11 с.

⁴ ГОСТ 32073-2013. Продукты пищевые. Методы идентификации и определения массовой доли синтетических красителей в алкогольной продукции. – М. : Стандартинформ, 2014. – 32 с.

⁵ ГОСТ 32713-2014. Продукция алкогольная и сырье для ее производства. Идентификация. Ферментативный метод определения массовой концентрации D-яблочной кислоты. – М. : Стандартинформ, 2015. – 11 с.

для обеспечения кондиций по этому показателю после разбавления вина водой.

Также практикуется внесение в разбавленное виноградное сусло тростникового и свекловичного сахаров, а также кукурузного глюкозно-фруктозного сиропа с последующим сбраживанием для получения необходимой концентрации спирта. В вине после данных операций появляются экзогенные спирты, что запрещено законодательством. Их наличие можно обнаружить с помощью метода изотопной масс-спектрометрии.

Гораздо сложнее решить задачу, связанную с контролем производства столовых фруктовых вин. Из-за высокой кислотности большинства плодов и ягод их соки перед сбраживанием необходимо разбавлять водой. Поскольку при разбавлении концентрация сахаров в плодном сусле снижается, то для достижения требуемого содержания спирта необходимо внесение в бродящую среду сахаросодержащих веществ. В соответствии с действующими стандартами в плодном виноделии разрешено использование свекловичного или тростникового сахара. Поэтому основной проблемой, стоящей перед исследователями, является разработка способа, выявляющего отличие условно экзогенных спиртов, которые образуются при брожении указанных продуктов, от истинно экзогенных спиртов, вносимых извне в виде ректифицированного этилового спирта из зернового сырья.

Р. Winterova и др. с использованием метода изотопной масс-спектрометрии были определены изотопные характеристики этанола в фруктовых бренди (водках), изготовленных из груш, яблок, черешни, вишни, сливы и абрикоса. Они сравнивались с изотопными характеристиками напитков, полученных из сахарной свеклы, кукурузы, сахарного тростника, зерна, картофеля и синтетического спирта [17]. В работе показано, что изотопные характеристики (D/H) I дистиллятов, полученных из сахарного тростника, кукурузы и из синтетического сырья, значительно выше, чем соответствующие изотопные характеристики фруктовых дистиллятов. С другой стороны, дистилляты, полученные из сахарной свеклы, имели изотопные характеристики (D/H) I ниже, чем фруктовые дистилляты. Установлено, что дистилляты из сахарного тростника и кукурузы имели величину $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ от -13 до -11 ‰. Это значительно ниже, чем во фруктовых дистиллятах. По результатам исследований авторами сделан вывод о том, что отличить фруктовые спирты с использованием изотопных характеристик достаточно сложно из-за наложения показателя $\delta^{13}\text{C}$ в рамках одного числового диапазона для спиртов из различных фруктов. С другой стороны, изотопные параметры позволяют отличить истинно фруктовые спиртные напитки от напитков, содержащих спирты не фруктового происхождения (например, свекловичный, тростниковый или кукурузный).

Для выявления в винодельческой продукции спиртов не виноградного происхождения, получаемых из растительного сырья, достаточно измерения отношения только изотопов углерода этанола, содержащегося в напитке. Это связано с тем, что в большинстве случаев показатель $\delta^{13}\text{C}$ ‰, характеризующий отношение $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ в молекуле спирта, имеет минимальные числовые значения среди спиртов растительного происхождения, входящие в диапазон от -26 до -29 ‰. Зерновые спирты имеют значения данного показателя от -24 до -26 ‰, кукурузный спирт от -12 до -14 ‰, а тростниковый от -10 до -12 ‰. Исключение составляет лишь этанол, полученный из сахарной свеклы, значение показателя $\delta^{13}\text{C}$ ‰ которого совпадает с величинами, характерными для виноградного спирта сусла [15, 18]. Для его выявления используют метод ЯМР, основанный на различиях перераспределения в молекуле образовавшегося в результате брожения этанола атомов дейтерия, содержащегося в сахарах и в воде виноградного сусла [19, 20].

Что касается фруктовых вин и спиртных напитков, то здесь определение одного показателя $\delta^{13}\text{C}$ ‰ является недостаточным. Во-первых, данный показатель для различных фруктов колеблется в заметных пределах и в большинстве случаев совпадает по величинам с зерновым спиртом, использование которого в производстве столовых фруктовых вин и сидров запрещено. Кроме того, во фруктовых винах присутствуют условно экзогенные спирты, образующиеся при сбраживании внесенного до или в процессе брожения свекловичного или тростникового сахара.

Цель работы – исследование возможности использования дополнительных критериев, характеризующих подлинность столовых фруктовых вин, в качестве которых были выбраны отношения изотопов $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ и D/H, содержащихся в молекулах спиртов различного происхождения.

Объекты и методы исследования

В работе использовали масс-спектрометр «IRMS» с элементным анализатором «Delta V Advantage» фирмы «Thermo Fisher Scientific» (США) с техническими характеристиками: диапазон массовых чисел а.е.м., не уже чем $-1-70$; чувствительность (молекул/ион) не более -1200 .

Измерение изотопных характеристик углерода проводили относительно международного образца сравнения VPDB. В качестве международного стандарта принят эталон PDB, представляющий собой изотопный состав углерода карбоната кальция окаменелости *Belemnite* *Americana* позднемелового периода из формации PDB (Южная Каролина, США). Международный стандарт PDB характеризуется однородным изотопным составом. В настоящее время в качестве международного стандарта применяют венский эквивалент PDB – VPDB.

Измерение изотопных характеристик кислорода и водорода проводили относительно международного образца сравнения VSMOW2. VSMOW2 – Венский международный стандарт изотопного состава среднеокеанической воды 2 (Vienna Standard Mean Ocean Water 2).

Полученные отношения изотопов углерода ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), кислорода ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) и водорода (D/H) определяли в ‰ при помощи программного обеспечения масс-спектрометра.

Предварительные исследования отношений изотопов углерода в этаноле, полученном при сбраживании фруктовых соков или мезги без добавления сахаристых веществ, показали, что для каждого плода или ягоды значение показателя $\delta^{13}\text{C}$ ‰ находилось в довольно узком интервале. Черная смородина от $-25,69$ до $-26,48$ ‰; вишня от $-25,52$ до $-26,89$ ‰; арония (черноплодная рябина) от $-25,75$ до $-26,39$ ‰; груша от $-26,98$ до $-27,10$ ‰; слива от $-24,84$ до $-26,65$ ‰; яблоки от $-25,99$ до $-28,59$ ‰. Это, с одной стороны, не позволяет идентифицировать конкретный вид плода по изотопам углерода, хотя такая задача и не стояла. С другой стороны, можно утверждать, что все фруктовые спирты можно объединить, с точки зрения проводимых исследований, под единым понятием «фруктовый этанол». Данный компонент имеет значения показателя $\delta^{13}\text{C}$ ‰, находящиеся в интервале от $-24,84$ до $-28,6$ ‰. По этому показателю

фруктовый этанол заметно отличается от величин, характерных для тростникового и кукурузного этанола, но в большинстве случаев совпадает со значениями, характерными для зернового и свекловичного спиртов.

Дальнейшие исследования, включающие в себя изучение изотопных характеристик элементов этанола (углерод, кислород и водород), проводили на винах, полученных путем подсахаривания фруктового суслу или мезги сахаристыми веществами различной природы.

В лабораторных условиях были приготовлены вина из шести видов плодов (яблоки, груши, вишня, черная смородина, слива и арония). Для получения яблочного вина проводили брожение суслу. Остальное сырье сбраживали на мезге. Брожение проводили при температуре 20 ± 2 °C на расе дрожжей «Вишневая 33».

Результаты и их обсуждение

С целью установления изотопных характеристик смеси спиртов фруктовых вин, образующихся при совместном сбраживании фруктовых сахаров и внесенных сахаристых веществ, в суслу или мезгу плодов добавляли три вида сырья – тростниковый сахар, свекловичный сахар и кукурузный глюкозно-фруктозный сироп. Сахаристые вещества вносили из расчета получения наброда экзогенного спирта 5 ‰. В качестве контроля использовали фруктовые

Таблица 1. Изотопные характеристики смеси спиртов фруктовых вин, полученных с использованием сахаристых веществ

Table 1. Isotopic profile of the fruit wine alcohol mix obtained using sugar substances

Наименование образца	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	$\delta^{18}\text{O}$, ‰	δD , ‰
Яблочный виноматериал (контроль)	-26,54	8,34	-235,85
Яблочный (брожение с тростниковым сахаром)	-22,62	3,28	-229,59
Яблочный (брожение со свекловичным сахаром)	-27,45	3,34	-215,56
Яблочный (брожение с кукурузным сахаром)	-23,40	4,21	-211,03
Грушевый виноматериал (контроль)	-28,02	11,46	-219,48
Грушевый (брожение с тростниковым сахаром)	-21,16	4,00	-208,15
Грушевый (брожение со свекловичным сахаром)	-27,54	4,33	-230,68
Грушевый (брожение с кукурузным сахаром)	-21,38	4,42	-216,81
Вишневый виноматериал (контроль)	-26,72	11,01	-213,19
Вишневый (брожение с тростниковым сахаром)	-20,08	4,87	-199,33
Вишневый (брожение со свекловичным сахаром)	-27,27	5,01	-218,08
Вишневый (брожение с кукурузным сахаром)	-23,89	4,21	-218,14
Смородиновый виноматериал (контроль)	-26,26	12,02	-232,34
Смородиновый (брожение с тростниковым сахаром)	-18,95	5,55	-216,03
Смородиновый (брожение со свекловичным сахаром)	-26,68	4,67	-212,20
Смородиновый (брожение с кукурузным сахаром)	-17,87	5,86	-202,51
Черноплоднорябиновый виноматериал (контроль)	-25,94	5,38	-239,46
Черноплоднорябиновый (брожение с тростниковым сахаром)	-16,05	3,41	-204,75
Черноплоднорябиновый (брожение со свекловичным сахаром)	-25,47	2,58	-227,02
Черноплоднорябиновый (брожение с кукурузным сахаром)	-20,24	3,52	-241,73
Сливовый виноматериал (контроль)	-26,44	6,92	-214,74
Сливовый (брожение с тростниковым сахаром)	-17,67	3,17	-207,22
Сливовый (брожение со свекловичным сахаром)	-26,44	3,76	-214,27
Сливовый (брожение с кукурузным сахаром)	-17,58	4,28	-212,04

Таблица 2. Изотопные характеристики углерода, кислорода и водорода этанола из зернового сырья

Table 2. Isotopic characteristics of carbon, oxygen, and hydrogen of ethanol obtained from grain raw materials

Наименование образца	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	$\delta^{18}\text{O}$, ‰	δD , ‰
Спирт этиловый ректификованный из пищевого сырья (пшеница)	-25,50	12,31	-253,5
Спирт этиловый ректификованный из пищевого сырья (рожь)	-24,80	13,57	-265,5
Спирт этиловый ректификованный из пищевого сырья (пшеница)	-27,07	11,53	-230,9
Спирт этиловый ректификованный из пищевого сырья (ячмень)	-26,75	12,87	-243,0

виноматериалы, приготовленные без добавления сахаристых веществ. Результаты представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, при получении фруктовых виноматериалов с использованием сахаристых веществ различного происхождения происходит изменение изотопных характеристик биофильных элементов. Как и предполагалось, при добавлении в сусло или мезгу сахаров, произведенных из С-4 типа растений (сахарный тростник, кукуруза), происходит заметное изменение изотопных характеристик углерода этанола в сторону увеличения доли «тяжелого» изотопа ^{13}C .

Использование в процессе брожения свекловичного сахара вносит незначительные изменения в изотопные характеристики углерода этанола, по сравнению с контрольными образцами, которые практически не выходят за граничные величины показателей, характерных для фруктовых спиртов.

В то же время величины показателя $\delta^{18}\text{O}$ претерпевают характерные изменения при брожении с внесением экзогенных сахаров. Во всех опытных образцах, независимо от вида сырья, уменьшается доля «тяжелого» изотопа ^{18}O . В некоторых образцах числовое значение данного показателя уменьшается больше, чем в 2 раза.

Отмеченные различия в изотопных характеристиках $\delta^{18}\text{O}$ этилового спирта, получаемого при сбраживании сахаров, содержащихся в плодовых соках, и смеси этиловых спиртов, образующихся при сбраживании фруктовых сахаров совместно со свекловичным, кукурузным или тростниковым сахарами, могут выявить внесение сахаров в процессе производства винопродукции. Это особенно актуально в настоящее время, когда ведущие предприятия расширяют производство «традиционных сидров». Их технология, в отличие от обычных сидров, не позволяет использовать каких-либо сахаросодержащих веществ, кроме свежего яблочного сока. Следует отметить, что использование кукурузного глюкозно-фруктозного сиропа не предусмотрено как при производстве фруктовых вин, так и для всех видов сидров и пуаре (грушевого сидра).

Что касается изотопных характеристик водорода, то здесь не выявлено их устойчивой зависимости от природы вносимых сахаристых веществ. В яблочных и смородиновых виноматериалах, полученных брожением с добавлением сахаристых веществ,

увеличилась доля дейтерия в молекулах спиртов. В виноматериалах из других плодов и ягод какой-либо тенденции не выявлено.

При производстве фруктовых вин часто встречающийся вид фальсификации – добывание зернового этанола. Его используют для повышения содержания спирта взамен внесения сахаров, а иногда и без проведения процесса брожения.

В связи с этим были проведены исследования по изучению изотопных характеристик углерода, кислорода и водорода зерновых спиртов, а также фруктовых вин, полученных с нарушением технологии.

С этой же целью в лабораторных условиях были приготовлены образцы виноматериалов, полученные брожением свежих фруктовых соков, в которые затем добавляли зерновые спирты из расчета увеличения крепости напитка на 5 ‰.

Результаты анализа образцов зерновых спиртов приведены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, изотопные характеристики этанола зерновых спиртов имеют значения, типичные для углеводов растений С3-типа фотосинтеза, к которым относятся пшеница, рожь и ячмень, и входят в диапазон от -27,07 до -24,80 ‰. В данный диапазон укладываются и все виды фруктовых спиртов. В связи с этим показатель $\delta^{13}\text{C}$ ‰ является малоинформативным для установления присутствия внесенных зерновых спиртов во фруктовые вина.

Анализ отношения стабильных изотопов кислорода зернового этанола показал, что значения показателя $\delta^{18}\text{O}$ ‰ для данных продуктов находятся в довольно узком диапазоне, который составил от -11,53 до -13,57 ‰. В этот интервал входят только некоторые фруктовые спирты, в частности грушевый и вишневый.

Однако фруктовые вина должны содержать спирт в объеме от 8 до 15 %. Их можно приготовить, добавляя во фруктовый сок перед или во время брожения свекловичный или тростниковый сахара. Они снижают числовое значение показателя $\delta^{18}\text{O}$ ‰ в готовом продукте. Данные, приведенные в таблице 1, показывают, что по результатам экспериментов отношение изотопов кислорода в этаноле, образующемся при совместном сбраживании фруктовых, свекловичных и тростниковых сахаров, находилось в интервале от -3,17 до -5,86 ‰. Эти данные существенно отличаются от величин, приведенных для зерновых спиртов. Это может

Таблица 3. Значения показателя $\delta^{13}\text{C}$ ‰ этиловых спиртов в образцах фруктовых виноматериалов, полученных с использованием различных технологических приемов

Table 3. Values of $\delta^{13}\text{C}$ ‰ index of ethyl alcohols in samples of fruit wine materials obtained using various technological methods

Наименование образца	$\delta^{13}\text{C}$, ‰				
	контроль	брожение с тростниковым сахаром	брожение со свекловичным сахаром	брожение с кукурузным сахаром	добавление зернового спирта
Яблоки	-26,54	-22,62	-27,45	-23,40	-26,54
Груши	-28,02	-21,16	-27,54	-21,38	-26,91
Черная смородина	-26,26	-18,95	-26,68	-17,87	-25,58
Вишня	-26,72	-20,08	-27,27	-23,89	-26,78
Черноплодная рябина	-25,94	-16,05	-25,47	-20,24	-24,69
Слива	-26,44	-17,67	-26,44	-17,58	-26,49

Таблица 4. Значения показателя $\delta^{18}\text{O}$ ‰ этиловых спиртов в образцах фруктовых виноматериалов, полученных с использованием различных технологических приемов

Table 4. Values of $\delta^{18}\text{O}$ ‰ index of ethyl alcohols in samples of fruit wine materials obtained using various technological methods

Наименование образца	$\delta^{18}\text{O}$, ‰				
	контроль	брожение с тростниковым сахаром	брожение со свекловичным сахаром	брожение с кукурузным сахаром	добавление зернового спирта
Яблоки	8,34	3,28	3,34	4,21	11,45
Груши	11,46	4,00	4,33	4,42	13,13
Черная смородина	12,02	5,55	4,67	5,86	12,50
Вишня	11,01	4,87	5,01	4,21	12,25
Черноплодная рябина	5,38	3,41	2,58	3,52	11,31
Слива	6,92	3,17	3,76	4,28	11,35

Таблица 5. Значения показателя δD ‰ этиловых спиртов в образцах фруктовых виноматериалов, полученных с использованием различных технологических приемов

Table 5. Values of δD ‰ of ethyl alcohols in samples of fruit wine materials obtained using various technological methods

Наименование образца	δD , ‰				
	контроль	брожение с тростниковым сахаром	брожение со свекловичным сахаром	брожение с кукурузным сахаром	добавление зернового спирта
Яблоки	-235,85	-229,59	-215,56	-211,03	-232,49
Груши	-219,48	-208,15	-230,68	-216,81	-225,27
Черная смородина	-232,34	-216,03	-212,20	-202,51	-221,92
Вишня	-213,19	-199,33	-218,08	-218,14	-231,16
Черноплодная рябина	-239,46	-204,75	-227,02	-241,73	-241,77
Слива	-214,74	-207,22	-214,27	-212,04	-224,24

стать одним из критериев, позволяющим выявлять в столовых фруктовых винах наличие зерновых спиртов.

Что касается отношения изотопов водорода зернового этанола, то интервал значений показателя δD ‰ от -265,5 до -230,9 ‰ частично совпадает с величинами, характерными для фруктовых спиртов. При сбраживании свежих фруктовых соков без внесения сахаристых веществ объемная доля образующегося этанола незначительна и составляет 3–5 %. Это связано с относительно невысоким

содержанием нативных сахаров в плодах и ягодах (6–10 %), а также с необходимостью разбавления водой высококислотных соков (смородина, клюква). Поэтому внесение в сброженный фруктовый виноматериал зернового спирта в объеме 5% заметно сдвигает изотопные показатели в сторону диапазонов, характерных для экзогенного этанола (табл. 3–5).

Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

– использование показателя $\delta^{13}\text{C}$ ‰ при анализе столовых фруктовых вин недостаточно для выявления наличия в них внесенного зернового спирта. Перспективно определение изотопных характеристик всех атомов, содержащихся в молекуле этанола, а именно углерода, кислорода и водорода;

– внесение сахаристых веществ перед или в процессе брожения фруктовых соков для обеспечения требуемого наброда спирта снижает числовое значение показателя $\delta^{18}\text{O}$ ‰ этанола. Это делает его отличным от аналогичного показателя крепленых фруктовых вин, полученных путем внесения зернового спирта в сброженный фруктовый сок;

– показатель δD ‰ в определенных случаях может служить дополнительным критерием, позволяющим выявить нарушение технологического процесса производства столовых фруктовых вин.

Критерии авторства

Л. А. Оганесянц – постановка и научное

руководство исследованиями. А. Л. Панасюк и Е. И. Кузьмина – обзор литературы, подготовка образцов к анализам, обработка результатов экспериментальных исследований. М. Ю. Ганин – анализ образцов на изотопном масс-спектрометре.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

L.A. Oganesyants organized and supervised the research. A.L. Panasyuk and E.I. Kuzmina reviewed scientific publications, prepared samples, and processed the experimental research results. M.Yu. Ganin performed the isotope mass spectrometer analysis.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Виноградные вина, проблемы оценки их качества и региональной принадлежности / Ю. Ф. Якуба, А. А. Каунова, З. А. Темердашев [и др.] // *Аналитика и контроль*. – 2014. – Т. 18, № 4. – С. 344–372.
2. Optimization and validation of a new capillary electrophoresis method with conductivity detection for determination of small anions in red wines / Z. Lelova, V. Ivanova-Petropulos, M. Masár [et al.] // *Food Analytical Methods*. – 2018. – Vol. 11, № 5. – P. 1457–1466. <https://doi.org/10.1007/s12161-017-1117-6>.
3. HPLC-DAD methodology for the quantification of organic acids, furans and polyphenols by direct injection of wine samples / V. Pereira, J. S. Câmara, J. Cacho [et al.] // *Journal of Separation Science*. – 2010. – Vol. 33, № 9. – P. 1204–1215. <https://doi.org/10.1002/jssc.200900784>.
4. Regmi, U. Direct determination of organic acids in wine and wine-derived products by Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy and chemometric techniques / U. Regmi, M. Palma, C. G. Barroso // *Analytica Chimica Acta*. – 2012. – Vol. 732. – P. 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.11.009>.
5. Baffi, C. Food traceability using the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratio mass spectrometry / C. Baffi, P. R. Trincherini // *European Food Research and Technology*. – 2016. – Vol. 242, № 9. – P. 1411–1439. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2712-2>.
6. Quantitation of organic acids in wine and grapes by direct infusion electrospray ionization mass spectrometry / F. L. N. Silva, E. M. Schmidt, C. L. Messias [et al.] // *Analytical Methods*. – 2015. – Vol. 7, № 1. – P. 53–62. <https://doi.org/10.1039/c4ay00114a>.
7. Jacobson, D. Untangling the chemistry of port wine aging with the use of GC-FID, multivariate statistics, and network reconstruction / D. Jacobson, A. R. Monforte, A. C. S. Ferreira // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2013. – Vol. 61, № 10. – P. 2513–2521. <https://doi.org/10.1021/jf3046544>.
8. Quantitative analysis by GC-MS/MS of 18 aroma compounds related to oxidative off-flavor in wines / C. M. Mayr, D. L. Capone, K. H. Pardon [et al.] // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2015. – Vol. 63, № 13. – P. 3394–3401. <https://doi.org/10.1021/jf505803u>.
9. Cunha, S. C. Gas chromatography-mass spectrometry assessment of amines in port wine and grape juice after fast chloroformate extraction/derivatization / S. C. Cunha, M. A. Faria, J. O. Fernandes // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2011. – Vol. 59, № 16. – P. 8742–8753. <https://doi.org/10.1021/jf201379x>.
10. Математическое моделирование зависимостей качества столовых вин от физико-химических показателей / Е. В. Кушнерева, Т. И. Гугучкина, М. И. Панкин [и др.] // *Виноделие и виноградарство*. – 2011. – № 4. – С. 18–21.
11. Control of wine vinegar authenticity through $\delta^{18}\text{O}$ analysis / F. Camin, L. Bontempo, M. Perini [et al.] // *Food Control*. – 2013. – Vol. 29, № 1. – P. 107–111. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.055>.
12. Spangenberg, J. E. Carbon isotope compositions of whole wine, wine solid residue, and wine ethanol, determined by EA/IRMS and GC/C/IRMS, can record the vine water status – a comparative reappraisal / J. E. Spangenberg, V. Zufferey // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. – 2019. – Vol. 411, № 10. – P. 2031–2043. <https://doi.org/10.1007/s00216-019-01625-4>.
13. Characterization of wines according the geographical origin by analysis of isotopes and minerals and the influence of harvest on isotope values / S. V. Dutra, L. Adami, A. R. Marcon [et al.] // *Food Chemistry*. – 2013. – Vol. 141, № 3. – P. 2148–2153. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.106>.

14. Cheng, J. Several mineral elements discriminate the origin of wines from three districts in China / J. Cheng, Y. Zhai, D. K. Taylor [et al.] // *International Journal of Food Properties*. – 2015. – Vol. 18, № 7. – P. 1460–1470. <https://doi.org/10.1080/10942912.2014.903415>.
15. Determination of the carbon isotope $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ in ethanol of fruit wines in order to define identification characteristics / L. A. Oganesyants, A. L. Panasyuk, E. I. Kuzmina [et al.] // *Foods and Raw Materials*. – 2016. – Vol. 4, № 1. – P. 141–147. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-141-147>.
16. Christoph, N. 25 Years authentication of wine with stable isotope analysis in the European Union – Review and outlook / N. Christoph, A. Hermann, H. Wachter // *BIO Web of Conferences*. – 2015. – Vol. 5. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20150502020>.
17. Assessment of the authenticity of fruit spirits by gas chromatography and stable isotope ratio analyses / R. Winterová, R. Mikulíková, J. Mazáč [et al.] // *Czech Journal of Food Sciences*. – 2008. – Vol. 26, № 5. – P. 368–375. <https://doi.org/10.17221/1610-cjfs>.
18. Изотопные характеристики этанола вин из российского винограда / Л. А. Оганесянц, А. Л. Панасюк, Е. И. Кузьмина [и др.] // *Виноделие и виноградарство*. – 2015. – № 4. – С. 8–13.
19. Obnaruzhenie obogashcheniya susla, kontsentririvannogo susla, vinogradnogo sakhara i vin s primeneniem yadernogo magnitnogo rezonansa deyteriya (RMN-FINS) [Detection of enrichment of musts, concentrated musts, grape sugar and wines by application of deuterium nuclear magnetic resonance (RMN-FINS)] // *Sbornik mezhdunarodnykh metodov analiza vin i susla* [Collection of international methods for the analysis of wines and must]. – 2017. (In French).
20. Opredelenie raspredeleniya deyteriya v ehtanole v spirtnykh napitkakh vinodel'cheskogo proiskhozhdeniya s pomoshch'yu yadernogo magnitnogo rezonansa deyteriya [Determination of the distribution of deuterium in ethanol in spirit drinks of vitivinicultural origin by application of nuclear magnetic resonance of deuterium] // *Sbornik mezhdunarodnykh metodov analiza vin i susla* [Collection of international methods for the analysis of wines and must]. – 2017. (In French).

References

1. Yakuba YuF, Kaunova AA, Temerdashev ZA, Titarenko VO, Halafjan AA. Grape wines, problems of their quality and regional origin evaluation. *Analytics and Control*. 2014;18(4):344–372. (In Russ.).
2. Lelova Z, Ivanova-Petropulos V, Masár M, Lisjak K, Bodor R. Optimization and validation of a new capillary electrophoresis method with conductivity detection for determination of small anions in red wines. *Food Analytical Methods*. 2018;11(5):1457–1466. <https://doi.org/10.1007/s12161-017-1117-6>.
3. Pereira V, Câmara JS, Cacho J, Marques JC. HPLC-DAD methodology for the quantification of organic acids, furans and polyphenols by direct injection of wine samples. *Journal of Separation Science*. 2010;33(9):1204–1215. <https://doi.org/10.1002/jssc.200900784>.
4. Regmi U, Palma M, Barroso CG. Direct determination of organic acids in wine and wine-derived products by Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy and chemometric techniques. *Analytica Chimica Acta*. 2012;732:137–144. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.11.009>.
5. Baffi C, Trincerini PR. Food traceability using the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratio mass spectrometry. *European Food Research and Technology*. 2016;242(9):1411–1439. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2712-2>.
6. Silva FLN, Schmidt EM, Messias CL, Eberlin MN, Sawaya ACHF. Quantitation of organic acids in wine and grapes by direct infusion electrospray ionization mass spectrometry. *Analytical Methods*. 2015;7(1):53–62. <https://doi.org/10.1039/c4ay00114a>.
7. Jacobson D, Monforte AR, Ferreira ACS. Untangling the chemistry of port wine aging with the use of GC-FID, multivariate statistics, and network reconstruction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013;61(10):2513–2521. <https://doi.org/10.1021/jf3046544>.
8. Mayr CM, Capone DL, Pardon KH, Black CA, Pomeroy D, Francis IL. Quantitative analysis by GC-MS/MS of 18 aroma compounds related to oxidative off-flavor in wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015;63(13):3394–3401. <https://doi.org/10.1021/jf505803u>.
9. Cunha SC, Faria MA, Fernandes JO. Gas chromatography-mass spectrometry assessment of amines in port wine and grape juice after fast chloroformate extraction/derivatization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011;59(16):8742–8753. <https://doi.org/10.1021/jf201379x>.
10. Kushnereva EV, Guguchkina TI, Pankin MI, Lopatina LM. Mathematical modeling of dependences of quality of table wines from physical and chemical indicators. *Winemaking and Viticulture*. 2011;(4):18–21. (In Russ.).
11. Camin F, Bontempo L, Perini M, Tonon A, Breas O, Guillou C, et al. *Food Control*. 2013;29(1):107–111. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.055>.
12. Spangenberg JE, Zufferey V. Carbon isotope compositions of whole wine, wine solid residue, and wine ethanol, determined by EA/IRMS and GC/C/IRMS, can record the vine water status – a comparative reappraisal. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2019;411(10):2031–2043. <https://doi.org/10.1007/s00216-019-01625-4>.
13. Dutra SV, Adami L, Marcon AR, Carnieli GJ, Roani CA, Spinelli FR, et al. Characterization of wines according the geographical origin by analysis of isotopes and minerals and the influence of harvest on isotope values. *Food Chemistry*. 2013;141(3):2148–2153. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.106>.

14. Cheng J, Zhai Y, Taylor DK. Several mineral elements discriminate the origin of wines from three districts in China. *International Journal of Food Properties*. 2015;18(7):1460–1470. <https://doi.org/10.1080/10942912.2014.903415>.
15. Oganesyants LA, Panasyuk AL, Kuzmina EI, Kharlamova LN. Determination of the carbon isotope $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ in ethanol of fruit wines in order to define identification characteristics. *Foods and Raw Materials*. 2016;4(1):141–147. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-141-147>.
16. Christoph N, Hermann A, Wachter H. 25 Years authentication of wine with stable isotope analysis in the European Union – Review and outlook. *BIO Web of Conferences*. 2015;5. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20150502020>.
17. Winterová R, Mikulíková R, Mazáč J, Havelec P. Assessment of the authenticity of fruit spirits by gas chromatography and stable isotope ratio analyses. *Czech Journal of Food Sciences*. 2008;26(5):368–375. <https://doi.org/10.17221/1610-cjfs>.
18. Oganesyants LA, Panasyuk AL, Kuzmina EI, Zyakun AM. Isotopic features of ethanol of the Russian grape wine. *Winemaking and Viticulture*. 2015;(4):8–13. (In Russ.).
19. Obnaruzhenie obogashcheniya susla, kontsentririvannogo susla, vinogradnogo sakhara i vin s primeneniem yadernogo magnitnogo rezonansa deyeriya (RMN-FINS) [Detection of enrichment of musts, concentrated musts, grape sugar and wines by application of deuterium nuclear magnetic resonance (RMN-FINS)]. *Sbornik mezhdunarodnykh metodov analiza vin i susla* [Collection of international methods for the analysis of wines and must]. 2017. (In French).
20. Opredelenie raspredeleniya deyeriya v ehtanole v spirtnykh napitkakh vinodel'cheskogo proiskhozhdeniya s pomoshch'yu yadernogo magnitnogo rezonansa deyeriya [Determination of the distribution of deuterium in ethanol in spirit drinks of vitivinicultural origin by application of nuclear magnetic resonance of deuterium]. *Sbornik mezhdunarodnykh metodov analiza vin i susla* [Collection of international methods for the analysis of wines and must]. 2017. (In French).

Сведения об авторах

Оганесянц Лев Арсенович

д-р техн. наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, 119021, Россия, г. Москва, ул. Россолимо, 7, тел.: +7 (499) 246-67-69, e-mail: vniipbivp@fncps.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8195-4292>

Панасюк Александр Львович

д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, 119021, Россия, г. Москва, ул. Россолимо, 7, тел.: +7 (499) 246-76-38, e-mail: alpanasyuk@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5502-7951>

Кузьмина Елена Ивановна

канд. техн. наук, заведующая лабораторией технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, 119021, Россия, г. Москва, ул. Россолимо, 7, тел.: +7 (499) 246-76-38, e-mail: labvin@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7623-440X>

Ганин Михаил Юрьевич

младший научный сотрудник лаборатории технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, 119021, Россия, г. Москва, ул. Россолимо, 7, тел.: +7 (499) 246-76-38, e-mail: labvin@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0518-1181>

Information about the authors

Lev A. Oganesyants

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Non-Alcoholic and Wine Industry – branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, 7, Rossolimo Str., Moscow, 119021, Russia, phone: +7 (499) 246-67-69, e-mail: vniipbivp@fncps.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8195-4292>

Alexander L. Panasyuk

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Deputy Director for Research, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Non-Alcoholic and Wine Industry – branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, 7, Rossolimo Str., Moscow, 119021, Russia, phone: +7 (499) 246-76-38, e-mail: alpanasyuk@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5502-7951>

Elena I. Kuzmina

Cand.Sci.(Eng.), Head of the Laboratory of Grape and Fruit Wine Technology, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Non-Alcoholic and Wine Industry – branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, 7, Rossolimo Str., Moscow, 119021, Russia, phone: +7 (499) 246-76-38, e-mail: labvin@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7623-440X>

Mikhail Yu. Ganin

Junior Researcher of the Laboratory of Grape and Fruit Wine Technology, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Non-Alcoholic and Wine Industry – branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, 7, Rossolimo Str., Moscow, 119021, Russia, phone: +7 (499) 246-76-38, e-mail: labvin@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0518-1181>

Подбор рабочих параметров для проведения направленного протеолиза казеина с целью получения биопептидов

И. С. Милентьева*^{ORCID}, Н. И. Давыденко^{ORCID}, А. Н. Расщепкин



Дата поступления в редакцию: 16.11.2020
Дата принятия в печать: 25.12.2020

Кемеровский государственный университет^{ORCID},
Кемерово, Россия

*e-mail: irazumnikova@mail.ru



© И. С. Милентьева, Н. И. Давыденко, А. Н. Расщепкин, 2020

Аннотация.

Введение. На сегодняшний день наблюдается значительное ухудшение здоровья населения, связанное с образом жизни. Одним из признаков такого ухудшения является возникновение аллергических реакций на определённые компоненты пищи. Молоко и молочные продукты, благодаря содержанию биологически активных веществ, относятся к функциональным продуктам питания, систематическое употребление которых способствует улучшению здоровья населения. Наличие аллергенов в молоке (сывороточные и молочные белки, в особенности казеин, молочный сахар) может нанести вред людям, имеющим аллергическую реакцию на перечисленные компоненты. Поэтому актуальной задачей является снижение аллергенных свойств казеинов. Цель работы заключается в осуществлении подбора рабочих параметров протеолиза казеина рядом ферментов – эндопептидаз, а именно трипсина, химотрипсина, термолитина, для получения биопептидов из казеина путем варьирования параметров гидролиза.

Объекты и методы исследования. Гидролизаты казеина – биопептиды, исходным сырьем (субстратом) для которых являлся доступный и ценный белок молока – пищевой казеин. В качестве протеаз были использованы следующие ферменты: трипсин, химотрипсин и термолитин. В работе применялись общепринятые методы.

Результаты и их обсуждение. В ходе проведения гидролиза при температуре 37 ± 2 °С и с использованием различных параметров (фермент, соотношение фермент-субстрата, продолжительность гидролиза) было установлено, что рабочие значения активной кислотности (рН) находились от $7,05 \pm 0,2$ до $7,44 \pm 0,2$. Также при увеличении времени протеолиза увеличивается количество свободных аминокислот. Для получения гидролизованых смесей, содержащих пептиды молекулярной массой менее 18 кДа, рационально использовать термолитин при соотношении 1:100 в течение $24,00 \pm 0,05$ ч, химотрипсин и трипсин при соотношении 1:25 в течение $24,00 \pm 0,05$ ч. Для получения гидролизата, содержащего большое количество аминокислот, необходимо использовать при протеолизе химотрипсин при соотношении фермент-субстрат 1:25 в течение 24 ч или термолитин при соотношении 1:100.

Выводы. Полученные гидролизаты казеина, содержащие биопептиды, которые являются гипоаллергенными, в сравнении с исходным казеином, в дальнейшем могут использоваться при изготовлении специализированной молочной продукции для диетического, спортивного и детского питания.

Ключевые слова. Гидролиз, протеолиз, казеин, белки, пептиды, аминокислоты, трипсин, химотрипсин, термолитин, аллергия

Финансирование. Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ (НШ-2694.2020.4).

Для цитирования: Милентьева, И. С. Подбор рабочих параметров для проведения направленного протеолиза казеина с целью получения биопептидов / И. С. Милентьева, Н. И. Давыденко, А. Н. Расщепкин // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 726–735. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-726-735>.

Original article

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

Casein Proteolysis in Bioactive Peptide Production: Optimal Operating Parameters

Irina S. Milentyeva*^{ORCID}, Natalia I. Davydenko^{ORCID}, Aleksandr N. Rasshchepkin

Received: November 16, 2020
Accepted: December 25, 2020

Kemerovo State University^{ORCID}, Kemerovo, Russia

*e-mail: irazumnikova@mail.ru



© I.S. Milentyeva, N.I. Davydenko, A.N. Rasshchepkin, 2020

Abstract.

Introduction. Public health is gradually deteriorating as a result of unhealthy lifestyle and diet, which triggers allergic reaction to certain foods. Milk and dairy products are rich in biologically active substances, which makes them a good dietary supplement for athletes, diabetic patients, etc. However, this popular food contains allergens, for instance, such proteins as α S1-casein, α S2-casein, β -casein, and κ -casein. Therefore, one of the most urgent tasks of modern food science is to reduce the allergenic properties of casein. Heat treatment is an option, but thermal exposure leads to denaturation and produces new antigenic determinants, e.g. epitopes. Biotechnological processing is a more promising method. It is based on the catalytic properties of proteolytic enzymes. Enzymes make it possible to obtain a protein hydrolyzate with amino acids of various molecular weights. The present research provided the optimal working parameters of casein proteolysis by various enzymes (endopeptidases), namely trypsin, chymotrypsin, and thermolysin.

Study objects and methods. Casein hydrolysates are casein-based biopeptides, and casein is an accessible and valuable milk protein. Trypsin, chymotrypsin, and thermolysin were used as proteases. The experiment was based on standard methods.

Results and its discussion. At $47 \pm 2^\circ\text{C}$ and $\text{pH } 7.5 \pm 0.2$, the production of low-molecular-weight components of casein hydrolyzate proved feasible when thermolysin was used at a ratio of 1:100 for 24.00 ± 0.05 h, and chymotrypsin and trypsin – at a ratio of 1:25 for 24.00 ± 0.05 h.

Conclusion. The resulting casein hydrolysates contain biologically active peptides and can be used in formulations of low-allergy functional dairy products in allergy-friendly, sports, and baby diets.

Keywords. Hydrolysis, proteolysis, casein, proteins, peptides, amino acids, trypsin, chymotrypsin, thermolysin, allergy

Funding. This research was part of the grant of the President of the Russian Federation for state support of leading scientific schools (NSH-2694.2020.4).

For citation: Milentyeva IS, Davydenko NI, Rasshechkin AN. Casein Proteolysis in Bioactive Peptide Production: Optimal Operating Parameters. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(4):726–735. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-726-735>.

Введение

Питание является основной жизненной потребностью человека, способной влиять на здоровье организма. В связи со снижением качества питания (недостаточным содержанием витаминов и минералов, избыточным содержанием жиров и углеводов в пище и т. п.) ухудшается состояние здоровья: высок риск развития не только алиментарных заболеваний, но и болезней образа жизни (сахарного диабета, сердечно-сосудистых заболеваний, ожирения и т. п.) [1, 2]. Профилактической мерой данных негативных последствий является систематическое употребление пищевых продуктов, богатых основными нутриентами. Например, систематическое употребление продуктов молочной промышленности, обладающих высокой биологической ценностью из-за содержания незаменимых жирных кислот, аминокислот, витаминов, макроэлементов (кальция) и т. д. [3, 4]. Но не все потребители могут получать пользу от молока и молочных продуктов. Причиной является возникновение аллергии или пищевой непереносимости, заданной генетическими особенностями организма, на компоненты молока [5]. Например, на молочный сахар и/или белки молока.

Коровье молоко содержит 25 видов различных белков, среди которых основным аллергеном является казеин, т. к. на данный кальций-связывающий фосфопротеин приходится 80 % от общего содержания белков [6]. Фракция казеина представлена четырьмя видами белков (рис. 1): α S1-казеин, α S2-казеин, β -казеин и κ -казеин. Причем α S1-казеин является наиболее важным аллергеном [7].

На сегодняшний день нет терапии или лекарственных средств (без побочных эффектов) по устранению аллергии на компоненты молока. Единственный доступный способ – это исключение молочных продуктов из рациона питания. Однако данное решение негативно скажется на здоровье человека, т. к. приведет к дефициту важных питательных веществ, содержащихся в молочных продуктах [7].

С развитием биотехнологии появились новые методы, позволяющие преобразовывать молоко в новые полезные продукты питания путем уменьшения аллергенности их компонентов. Наряду с нагреванием (термической обработкой) можно использовать ферментативный гидролиз и гликилирование [8]. Так как фракции казеина устойчивы к нагреванию, т. е. термостабильны

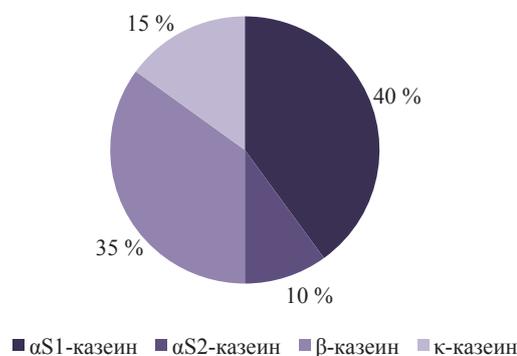


Рисунок 1. Фракции казеина и их содержание от общей массы белка

Figure 1. Casein fractions and their content vs. total protein

при нагревании до 50 °С, но восприимчивы к ферментативной активности, то эффективным методом снижения аллергенности данных соединений является ферментный гидролиз [6].

Под ферментным гидролизом (протеолизом) подразумевается процесс разложения белков на составляющие пептиды и аминокислоты путем воздействия соответствующих ферментов (протеаз или протеолитических ферментов) [9]. При проведении ферментного гидролиза казеина можно получать гипоаллергенные гидролизованные молочные смеси (гидролизаты казеина), содержащие биоактивные пептидные комплексы [10].

Протеолиз имеет ряд закономерностей, связанных с различными факторами (с коллоидными, фазовыми, биохимическими процессами), которые не всегда приводят к получению необходимого продукта. К тому же гидролиз может иметь обратимый характер, когда дезагрегация белка не зашла слишком далеко. Иными словами, для получения биоактивных пептидов необходимо добиться оптимальной степени гидролиза. Для этого следует подобрать эффективные параметры (рН, температура, время) и фермент (соотношение фермент-субстрата). Для проведения ферментного гидролиза в основном используют следующие ферменты:

Экзопептидазы, которые катализируют разрыв концевой пептидной связи. Например, карбокси-пептидазы А и В, аланинаминопептидаза, лейцина-минопептидаза;

Эндопептидазы, которые катализируют разрыв пептидных связей внутри цепи. Например, пепсин, трипсин, химотрипсин, термолизин и эластаза [11].

Для проведения протеолиза можно использовать следующие ферменты:

1) Трипсин – фермент, полученный из поджелудочной железы свиньи. Он легко расщепляет пептидные связи, в образовании которых учувствуют карбоксильные группы лизина или аргинина. Данный фермент осуществляет неглубокий гидролиз белков – расщепляет около одной трети всех пептидных связей [12];

2) Химотрипсин – фермент, полученный из поджелудочной железы свиньи, расщепляющий те связи, которые не расщепляет трипсин. В связи с этим последовательное применение данных ферментов позволяет провести глубокий гидролиз [13];

3) Термолизин – фермент, полученный при метаболизме *Bacillus thermoproteolyticus*, способный расщеплять пептидные связи, образованные остатками лейцина, изолейцина, валина, аланина и фенилаланина [12].

Полученные гидролизаты в дальнейшем можно использовать в качестве компонентов специализированных пищевых продуктов молочной промышленности – функциональных продуктов питания для поддержания здорового состояния

организма, т. е. для спортивного, диетического и детского питания [14].

Цель работы заключается в подборе рабочих параметров для получения гидролизатов казеина – биопептидов, обладающих меньшей аллергенностью, чем исходный белок, путем варьирования параметров гидролиза (соотношения фермент-субстрат, температура, продолжительность и рН гидролиза) при использовании эндопептидаз (трипсина, химотрипсина и термолизина).

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлись гидролизаты казеина – биопептиды. Исходным сырьем (субстратом) для них являлся доступный и ценный белок молока – пищевой казеин (Pronadisa Conda, Испания), соответствующий ГОСТ 31689-2012.

В качестве протеаз были использованы следующие ферменты, выбранные у зарубежных поставщиков в связи с отсутствием на российском рынке данных ферментов в чистом виде: трипсин (Gibco (Thermo Scientific), США), химотрипсин (AppliChem, США) и термолизин (Gibco (Thermo Scientific), США).

Проведение протеолиза осуществляли с помощью статического метода. Методика представлена в работе О. В. Козловой и ее коллег [15]. Раствор казеина (10 мг белка на 1 мл дистиллированной воды) гидролизовали путем добавления в смесь фермента в трех разных соотношениях: 1:25, 1:50, 1:100 [16]. В ходе анализа научной литературы по данной тематике были подобраны оптимальные параметры гидролиза казеина представленными выше ферментами. В результате чего гидролиз протекал при температуре в 37 ± 2 °С [17]. Значение рН смеси регулировали добавлением 0,1 М HCl или NaOH в соответствии с оптимальной рН для каждого фермента. Для трипсина, химотрипсина и термолизина оптимальное значение рН составляет от $7,0 \pm 0,2$ до $8,0 \pm 0,2$ [18].

Оценка степени гидролиза определялась по содержанию общего азота. Методика определения представлена в ГОСТ 23327-98. Установление молекулярной массы компонентов гидролизата осуществлялось с помощью электрофореза по Лэмбли в полиакриламидном геле (ПААГ) [18, 19].

Для гидролизатов, полученных при выбранных рабочих условиях (соотношение фермент-субстрат для каждой протеазы и оптимальная продолжительность гидролиза), осуществлялась оценка аминокислотного состава. Данная проверка выполнялась при помощи ионообменной хроматографии на аминокислотном анализаторе «ARACUS» [20].

Результаты и их обсуждение

Изучение влияния соотношения фермент-субстрат и времени на протекание протеолиза. Оптимальный протеолиз казеина оценивали при

Таблица 1. Основные характеристики гидролизатов казеина, полученных в результате обработки белка протеолитическими ферментами

Table 1. Casein hydrolysates obtained by processing protein with proteolytic enzymes

Показатель	Контроль	Фермент-субстратное соотношение при продолжительности гидролиза, ч								
		1:25			1:50			1:100		
		6,00 ± 0,05	12,00 ± 0,05	24,00 ± 0,05	6,00 ± 0,05	12,00 ± 0,05	24,00 ± 0,05	6,00 ± 0,05	12,00 ± 0,05	24,00 ± 0,05
Трипсин										
Степень протеолиза, %	0	2,80 ± 0,20	4,80 ± 0,30	10,60 ± 0,70	5,50 ± 0,40	9,70 ± 0,70	12,00 ± 0,80	7,60 ± 0,50	12,40 ± 0,90	16,00 ± 1,10
pH	7,50 ± 0,2	7,33 ± 0,2	7,22 ± 0,2	7,15 ± 0,2	7,36 ± 0,2	7,32 ± 0,2	7,27 ± 0,2	7,40 ± 0,2	7,38 ± 0,2	7,26 ± 0,2
Химотрипсин										
Степень протеолиза, %	0	1,70 ± 0,10	5,00 ± 0,40	8,30 ± 0,60	6,00 ± 0,40	10,20 ± 0,70	11,00 ± 0,80	8,80 ± 0,60	10,50 ± 0,70	14,60 ± 1,00
pH	7,50 ± 0,2	7,11 ± 0,2	7,20 ± 0,2	7,05 ± 0,2	7,47 ± 0,2	7,31 ± 0,2	7,22 ± 0,2	7,28 ± 0,2	7,32 ± 0,2	7,28 ± 0,2
Термолизин										
Степень протеолиза, %	0	1,50 ± 0,10	2,60 ± 0,20	6,50 ± 0,40	4,90 ± 0,30	7,00 ± 0,50	12,50 ± 0,90	6,40 ± 0,40	10,50 ± 0,70	14,50 ± 1,00
pH	7,50 ± 0,2	7,44 ± 0,2	7,29 ± 0,2	7,26 ± 0,2	7,41 ± 0,2	7,37 ± 0,2	7,30 ± 0,2	7,42 ± 0,2	7,35 ± 0,2	7,31 ± 0,2

различных соотношениях фермент-субстрата в течение 6, 12 и 24 ч. Результаты серии экспериментов, связанных с подбором оптимального соотношения фермент-субстрата при протеолизе, представлены в таблице 1.

Было определено, что величина pH при протеолизе различными ферментами в течение 6, 12 и 24 ч находится в пределах от 7,05 ± 0,2 до 7,44 ± 0,2, что находится в пределах оптимальной работы ферментов. Следовательно, такие значения являются рабочими.

Анализируя данные из таблицы 1, видно, что при фермент-субстратном соотношении 1:25 выбранных ферментов наблюдается следующая активность гидролиза. При использовании трипсина через 6,00 ± 0,05 ч степень гидролиза была более 2,80 %, через 12,00 ± 0,05 ч – более 5,00 %, через 24,00 ± 0,05 ч – более 11,00 %.

Степень активности гидролиза при применении химотрипсина через 6,00 ± 0,05 ч составила более 1,70 %, через 12,00 ± 0,05 ч – более 5,00 %, а через 24,00 ± 0,05 ч – более 8,30 %. При использовании термолизина степень гидролиза при фермент-субстратном соотношении 1:25 через 6,00 ± 0,05 ч была более 1,50 %, через 12,00 ± 0,05 ч – 2,60 %, а через 24,00 ± 0,05 ч – 6,50 %.

При соотношении фермент-субстрат 1:50 степень активности гидролиза для каждого фермента выглядит следующим образом. Через 6,00 ± 0,05 ч применения трипсина степень гидролиза была более 5,50 %, через 12,00 ± 0,05 ч – 9,70 %, через 24,00 ± 0,05 ч – 12,00 %. Степень активности гидролиза при применении химотрипсина через 6,00 ± 0,05 ч составила более 6,00 %, через 12,00 ± 0,05 ч – 10,20 %, а через 24,00 ± 0,05 ч – 11,00 %. При использовании термолизина выявлено, что степень активности гидролиза стала более 4,90 % через 6,00 ± 0,05 ч, 7,00 % через 12,00 ± 0,05 ч, 6,40 % через 24,00 ± 0,05 ч.

Из таблицы 1 видно, что при использовании выбранных ферментов в соотношении 1:100 наблюдается следующая активность гидролиза. При применении трипсина через 6,00 ± 0,05 ч степень активности гидролиза была более 7,60 %, через 12,00 ± 0,05 ч – 12,40 %, через 24,00 ± 0,05 ч – 16,00 %. Степень активности гидролиза при использовании химотрипсина составила более 8,80 % через 6,00 ± 0,05 ч, через 12,00 ± 0,05 ч – 10,50 %, а через 24,00 ± 0,05 ч – 14,60 %. При соотношении фермент-субстрата 1:100 степень гидролиза при применении термолизина через 6,00 ± 0,05 ч была более 6,40 %, через 12,00 ± 0,05 ч – 10,50 %, а через 24,00 ± 0,05 ч – 14,50 %.

В результате эксперимента по подбору оптимального соотношения фермент-субстрата выявлено, что чем дольше протекает гидролиз, тем выше степень гидролиза. Но, если сравнивать действие ферментов, то при соотношении 1:25 наибольшей активностью при гидролизе, протекающем в течение 6 ч, обладал трипсин, при гидролизе в 12 ч – химотрипсин, при 24 ч – трипсин. При соотношении 1:50 наибольшей активностью при гидролизе, протекающем в течение 6 ч, обладал химотрипсин, при гидролизе в 12 ч – химотрипсин, при 24 ч – термолизин. При соотношении 1:100 наибольшей активностью при гидролизе, протекающем в течение 6 ч, обладал химотрипсин, при гидролизе в 12 ч – трипсин, при 24 ч – трипсин.

Изучение молекулярно-массового распределения образовавшихся пептидов в зависимости от соотношения фермент-субстрат и времени протекания протеолиза. Результаты исследования состава фракций гидролизатов казеина, образовавшихся под действием выбранных ферментов, а именно молекулярно-массовое распределение получившихся пептидов, представлены в таблицах 2–4. Важно, что

нативный казеин с молекулярной массой в 28 кДа являлся контролем.

Из таблицы 2 видно, что в процессе протеолиза оптимальное время, за которое образуется большее количество наименьших фракций (молекулярной массой менее 18 кДа), – 12,00 ± 0,05 ч для соотношения фермент-субстрат 1:25 и 1:50. При

данном времени в соотношении 1:25 в состав гидролизата входят пептиды с молекулярной массой от менее 18,0 до 25,0 кДа, при соотношении 1:50 – от 20,0 до 25,0 кДа, а при 1:100 – от 25,0 до 30,0 кДа. Наибольшее количество низкомолекулярных фракций при 12,00 ± 0,05 ч образуется при соотношении 1:25.

Таблица 2. Молекулярно-массовое распределение фракций гидролизатов казеина, полученных при воздействии трипсина, %
Table 2. Molecular weight distribution of fractions of casein hydrolysates obtained by trypsin exposure, %

Соотношение фермент-субстрат	Продолжительность гидролиза, ч	Показатель				
		Диапазон молекулярных масс, кДа				
		30,0–28,0	28,0–25,0	25,0–20,0	20,0–18,0	Менее 18,0
1:25	6,00 ± 0,05	3,0	4,3	20,9	25,2	46,0
	12,00 ± 0,05	1,2	3,1	19,7	21,2	52,4
	24,00 ± 0,05	2,5	1,9	19,8	22,0	52,4
1:50	6,00 ± 0,05	2,2	41,4	8,5	15,0	16,4
	12,00 ± 0,05	3,0	2,4	43,0	8,5	15,4
	24,00 ± 0,05	2,1	35,0	29,7	12,3	18,4
1:100	6,00 ± 0,05	45,8	8,0	16,1	14,0	2,8
	12,00 ± 0,05	2,9	35,0	8,5	18,6	3,7
	24,00 ± 0,05	22,5	23,8	20,6	19,8	10,0

Таблица 3. Молекулярно-массовое распределение фракций гидролизатов казеина, полученных при воздействии химотрипсина, %

Table 3. Molecular weight distribution of fractions of casein hydrolysates obtained by chymotrypsin exposure, %

Соотношение фермент-субстрат	Продолжительность гидролиза, ч	Показатель				
		Диапазон молекулярных масс, кДа				
		30,0–28,0	28,0–25,0	25,0–20,0	20,0–18,0	Менее 18,0
1:25	6,00 ± 0,05	2,9	2,6	21,4	22,1	51,0
	12,00 ± 0,05	3,2	2,7	19,8	19,0	52,4
	24,00 ± 0,05	2,1	1,9	19,8	18,0	52,5
1:50	6,00 ± 0,05	3,1	41,4	8,6	14,8	16,7
	12,00 ± 0,05	2,6	2,9	44,6	8,6	15,0
	24,00 ± 0,05	2,2	35,6	29,6	12,2	18,0
1:100	6,00 ± 0,05	46,5	7,8	16,4	14,2	2,8
	12,00 ± 0,05	3,4	36,0	8,6	19,0	3,7
	24,00 ± 0,05	22,0	24,5	21,0	19,6	10,3

Таблица 4. Молекулярно-массовое распределение фракций гидролизатов казеина, полученных при воздействии термолизина, %

Table 4. Molecular weight distribution of fractions of casein hydrolysates obtained by thermolysin exposure, %

Соотношение фермент-субстрат	Продолжительность гидролиза, ч	Показатель				
		Диапазон молекулярных масс, кДа				
		30,0–28,0	28,0–25,0	25,0–20,0	20,0–18,0	Менее 18,0
1:25	6,00 ± 0,05	10,9	3,3	46,6	5,6	32,0
	12,00 ± 0,05	12,5	2,5	32,9	9,0	43,1
	24,00 ± 0,05	4,8	23,4	24,6	18,2	29,0
1:50	6,00 ± 0,05	8,0	14,8	38,7	8,8	29,0
	12,00 ± 0,05	8,4	5,9	47,0	4,7	34,0
	24,00 ± 0,05	17,0	3,2	16,3	20,0	43,6
1:100	6,00 ± 0,05	3,5	12,9	11,5	17,0	52,3
	12,00 ± 0,05	11,5	2,6	15,0	7,0	36,9
	24,00 ± 0,05	0,0	13,0	16,8	15,6	54,5

Результаты исследования показывают, что оптимальное время, за которое образуется большее количество наименьших фракций, – 24,00 ± 0,05 ч (табл. 2). Для этого времени при соотношении 1:25, при применении химотрипсина, в состав гидролизата входят пептиды с молекулярной массой от менее 18,0 до 25,0 кДа, при соотношении 1:50 – от 20,0 до 28,0 кДа, а при 1:100 – от 25,0 до 30,0 кДа. Наибольшее количество низкомолекулярных фракции при 24,00 ± 0,05 ч образуется при соотношении фермент-субстрат 1:25.

Анализ таблицы 4 показал, что оптимальное время, за которое образуется большее количество наименьших фракций, – 12,00 ± 0,05 ч. Для такого времени при соотношении 1:25 и 1:50 в состав гидролизата входят пептиды с молекулярной массой менее 18,0, и от 20,0 и 25,0 кДа, а при 1:100 – менее 18 кДа. Наибольшее количество низкомолекулярных фракции при 12,00 ± 0,05 ч образуется при соотношении 1:100.

По результатам распределения видно, что при увеличении продолжительности протеолиза уменьшается содержание пептидов с молекулярной массой 30 кДа и увеличивается количество низкомолекулярных пептидов и аминокислот с молекулярной массой менее 18 кДа. Полученные данные не противоречат ранее изложенной информации, опубликованной отечественными и зарубежными учеными [12, 21–24].

По результатам экспериментов были подобрано оптимальное соотношение фермент-субстрат для каждой протеазы и оптимальная продолжительность гидролиза (табл. 5 и 6).

Таблица 5. Оптимальные параметры гидролиза, подобранные экспериментально на основании степени гидролиза

Table 5. Optimal hydrolysis parameters based on the degree of hydrolysis

Продолжительность гидролиза, ч	Соотношение фермент-субстрат		
	1:25	1:50	1:100
6,00 ± 0,05	трипсин	химотрипсин	химотрипсин
12,00 ± 0,05	химотрипсин	химотрипсин	трипсин
24,00 ± 0,05	трипсин	термолизин	трипсин

Таблица 6. Оптимальные параметры гидролиза, подобранные экспериментально на основании молекулярно-массового распределения

Table 6. Optimal hydrolysis parameters based on molecular weight distribution

Фермент	Соотношение фермент-субстрат	Продолжительность гидролиза, ч
Трипсин	1:25	12,00 ± 0,05
Химотрипсин	1:25	24,00 ± 0,05
Термолизин	1:100	12,00 ± 0,05

Исследование аминокислотного состава полученных гидролизатов. Для гидролизатов, полученных под действием исследуемых ферментов при соблюдении подобранных рабочих параметров, был определен аминокислотный состав. Результаты исследования представлены в таблице 7.

Анализируя данные, представленные в таблице 7, видно, что при увеличении времени протеолиза увеличивается количество свободных аминокислот. Данная зависимость видна на примере использования трипсина (соотношение фермент-субстрат 1:25, при 6, 12 и 24 ч) и химотрипсина (но при 12 и 24 ч), т. к. наибольшее количество свободных аминокислот

Таблица 7. Динамика накопления свободных аминокислот в результате гидролиза казеина трипсином

Table 7. Accumulation of free amino acids as a result of casein hydrolysis by trypsin

Фермент	Трипсин		Химотрипсин			Термолизин	
	Фермент-субстратное соотношение						
	1:25	1:100	1:25	1:50	1:100	1:50	1:100
	Продолжительность ферментативного гидролиза, ч						
Аминокислоты, ммоль/л	6,00 ± 0,05	12,00 ± 0,05	24,00 ± 0,05	12,00 ± 0,05	24,00 ± 0,05	6,00 ± 0,05	24,00 ± 0,05
Trp	0,07	0,15	0,22	0,14	0,24	0,11	0,52
Phe	1,22	1,43	3,02	3,70	2,12	5,06	5,11
Leu	3,65	4,52	6,33	4,75	3,19	10,67	9,23
Ile	0,32	0,42	0,69	0,52	0,46	0,97	0,60
Thr	0,17	0,27	0,30	0,60	0,50	1,78	0,72
Met	0,78	0,92	1,24	2,24	1,42	3,40	2,32
Lys	0,95	1,60	2,11	4,16	1,95	4,73	2,88
Val	0,20	0,34	0,53	0,62	0,41	0,84	3,82
His	2,38	2,59	3,55	3,62	2,02	2,85	3,20
Arg	0,35	0,76	0,85	1,41	1,24	3,45	3,01
Ala	0,50	0,70	0,71	1,65	0,79	1,58	1,58
Ser	0,05	0,09	0,12	0,21	0,21	1,10	0,45
Glu	0,15	0,12	0,79	1,30	1,83	7,85	0,33
Asp	0,03	0,11	0,10	0,05	0,07	1,60	0,74
Cys	0,66	0,79	1,01	1,20	1,06	1,25	1,26
Tyr	3,21	3,18	3,53	5,45	2,84	7,07	7,36
Gly	2,40	2,65	3,48	0,33	0,26	0,95	1,55
Всего	17,09	20,64	28,58	37,32	23,53	66,54	47,68

после протеолиза наблюдается при $24,00 \pm 0,05$ ч. Если выбирать между трипсином и химотрипсином, при одинаковых условиях протекания протеолиза, то наиболее богатым по общему содержанию аминокислот и по содержанию фенилаланина, треонина, метионина, лизина, гистидина, аргинина, аланина, глутаминовой кислоты, цистеина и тирозина является гидролизат, полученный при использовании химотрипсина. Но гидролизат, полученный при использовании трипсина, богат глицином и аспарагиновой кислотой. При сравнении содержания свободных аминокислот, полученных протеолизом при соотношении фермент-субстрат 1:100 в течение 12 ч, видно, что при использовании термолизина общее содержание аминокислот выше, как и содержание фенилаланина, лейцина, изолейцина, метионина, валина, гистидина, аргинина, аспарагиновой кислоты, тирозина и глицина. Но в гидролизате, полученном при использовании трипсина, содержится больше треонина, лизина, серина, глутаминовой кислоты и цистеина.

Так, для детского питания важны следующие незаменимые аминокислоты: триптофан, лизин, фенилаланин, треонин, валин, метионин, лейцин, изолейцин, гистидин и аргинин. Зная при каких параметрах гидролиза можно получить максимальное содержание вышеперечисленных аминокислот, можно создавать функциональные продукты питания, используемые в диетологической коррекции детского питания. Например, для коррекции функциональных расстройств пищеварения (регургитаций, колик, запора) [25–27].

Помимо уменьшения аллергенности и питательной роли продукта, гидролизаты казеина обладают противовоспалительными свойствами, т. е. способны улавливать радикалы и хелатировать металлы, выводя их из организма. Следовательно, гидролизаты казеинов являются функциональными продуктами, способными предотвращать развитие хронических заболеваний (сердечно-сосудистые заболевания, рак и прочие, вызванные окислительным стрессом) [12].

В результате проведенной работы были получены гидролизаты казеина. Для каждого была

определена степень гидролиза и молекулярно-массовое распределение фракций, по которым были установлены оптимальные рабочие параметры протеолиза. В дальнейшем для гидролизатов, полученных с помощью выбранных параметров, был определен аминокислотный состав.

Выводы

В данной работе были проведены исследования по подбору рабочих условий для получения гидролизатов казеина для уменьшения аллергенности молока и молочных продуктов. Исследования показали, что для получения гидролизата, содержащего разнообразное количество аминокислот, необходимо использовать термолизин при соотношении фермент-субстрат 1:50 в течение $24,00 \pm 0,05$ ч. Для получения наиболее гидролизованных смесей, в которых преобладают пептиды молекулярной массой менее 18 кДа, рационально использовать термолизин при соотношении 1:100 в течение $24,00 \pm 0,05$ ч, химотрипсин и трипсин при соотношении 1:25 в течение $24,00 \pm 0,05$ ч. Для получения гидролизата, содержащего большое количество аминокислот, необходимо использовать при протеолизе химотрипсин при соотношении фермент-субстрат 1:25 в течение $24,00 \pm 0,05$ ч или термолизин при соотношении 1:100. Варьируя параметрами протеолиза, можно получать гидролизованные молочные продукты с заданным аминокислотным составом, что важно при производстве функциональных продуктов питания.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в подготовке и написании статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

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. Prosekov, A. Yu. Providing food security in the existing tendencies of population growth and political and economic instability in the world / A. Yu. Prosekov, S. A. Ivanova // Foods and Raw Materials. – 2016. – Vol. 4, № 2. – P. 201–211. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-2-201-211>.
2. Perspective: advancing understanding of population nutrient-health relations via metabolomics and precision phenotypes / S. Andraos, M. Wake, R. Saffery [et al.] // Advances in Nutrition. – 2019. – Vol. 10, № 6. – P. 944–952. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz045>.
3. Antioxidant properties of milk and dairy products: a comprehensive review of the current knowledge / I. T. Khan, M. Nadeem, M. Imran [et al.] // Lipids in Health and Disease. – 2019. – Vol. 18, № 1. <https://doi.org/10.1186/s12944-019-0969-8>.
4. Dairy fats and cardiovascular disease: Do we really need to be concerned? / R. Lordan, A. Tsoupras, B. Mitra [et al.] // Foods. – 2018. – Vol. 7, № 3. <https://doi.org/10.3390/foods7030029>.

5. Genes and eating preferences, their roles in personalized nutrition / A. Vesnina, A. Prosekov, O. Kozlova [et al.] // *Genes*. – 2020. – Vol. 11, № 4. <https://doi.org/10.3390/genes11040357>.
6. Molecular approaches for diagnosis, therapy and prevention of cow's milk allergy / B. Linhart, R. Freidl, O. Elisyutina [et al.] // *Nutrients*. – 2019. – Vol. 11, № 7. <https://doi.org/10.3390/nu11071492>.
7. Cow's milk allergy: From allergens to new forms of diagnosis, therapy and prevention / H. Hochwallner, U. Schulmeister, I. Swoboda [et al.] // *Methods*. – 2014. – Vol. 66, № 1. – P. 22–33. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2013.08.005>.
8. Production of hypoallergenic milk from DNA-free beta-lactoglobulin (BLG) gene knockout cow using zinc-finger nucleases mRNA / Z. Sun, M. Wang, S. Han [et al.] // *Scientific Reports*. – 2018. – Vol. 8, № 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32024-x>.
9. Nongonierma, A. B. Enhancing bioactive peptide release and identification using targeted enzymatic hydrolysis of milk proteins / A. B. Nongonierma, R. J. FitzGerald // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. – 2018 – Vol. 410, № 15. – P. 3407–3423. <https://doi.org/10.1007/s00216-017-0793-9>.
10. Nano-biosensing platforms for detection of cow's milk allergens: An overview / M. Nehra, M. Lettieri, N. Dilbaghi [et al.] // *Sensors*. – 2019. – Vol. 20, № 1. <https://doi.org/10.3390/s20010032>.
11. Rawlings, N. D. Origins of peptidases / N. D. Rawlings, A. Bateman // *Biochimie*. – 2019. – Vol. 166. – P. 4–18. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2019.07.026>.
12. Anti-inflammatory and antioxidant properties of casein hydrolysate produced using high hydrostatic pressure combined with proteolytic enzymes / F. Bamdad, S. H. Shin, J.-W. Suh [et al.] // *Molecules*. – 2017. – Vol. 22, № 4. <https://doi.org/10.3390/molecules22040609>.
13. Ферментативная обработка как инструмент придания функциональных свойств белкам молочной сыворотки / Е. Ю. Агаркова, А. Г. Кручинин, К. А. Рязанцева [и др.] // *Аграрно-пищевые инновации*. – 2019. – Т. 8, № 4. – С. 81–88. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2019-8-81-88>.
14. Снижение аллергенных свойств белков молока. Технологические подходы / В. П. Курченко, Т. Н. Головач, В. И. Круглик [и др.] // *Молочная промышленность*. – 2012. – № 4. – С. 73–75.
15. Пат. 2415943С1 Российская Федерация, МПК С12Р21/06, С07К7/08. Биологически активный пептид, полученный из молочного белка / Козлова О. В., Разумникова И. С., Бабич О. О. [и др.]; заявитель и патентообладатель Козлова О. В., Разумникова И. С., Бабич О. О. [и др.]. – № 2010105589/10; заявл. 16.02.2010; опубл. 10.04.2011; Бюл. № 10. – 5 с.
16. Курбанова, М. Г. Исследование влияния фермент-субстратного соотношения на процесс гидролиза сывороточных белков / М. Г. Курбанова, К. А. Шемякова // *Вестник современных исследований*. – 2017. – Т. 11, № 8–1. – С. 38–40.
17. Закономерности гидролиза сывороточных белков экзо- и эндопротеазами / Т. Н. Головач, Н. В. Гавриленко, Н. К. Жабанос [и др.] // *Труды Белорусского государственного университета. Серия: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем*. – 2008. – Т. 3, № 1. – С. 85–98.
18. ОФС.1.2.1.0023.15. Электрофорез в полиакриламидном геле [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pharmascoroeia.ru/ofs-1-2-1-0023-15-elektroforez-v-poliakrilamidnom-gele/>. – Дата обращения 03.11.2020.
19. Comparison of the allergenicity and immunogenicity of camel and cow's milk – A study in brown Norway rats / N. Z. Maryniak, E. B. Hansen, A.-S. R. Ballegaard [et al.] // *Nutrients*. – 2018. – Vol. 10, № 12. <https://doi.org/10.3390/nu10121903>.
20. Курбанова, М. Г. Направленный гидролиз белков молока / М. Г. Курбанова, О. О. Бабич, А. Ю. Просеков // *Молочная промышленность*. – 2010. – № 10. – С. 73–75.
21. Modulation of milk allergenicity by baking milk in foods: A proteomic investigation / S. L. Bavaro, E. De Angelis, S. Barni [et al.] // *Nutrients*. – 2019. – Vol. 11, № 7. <https://doi.org/10.3390/nu11071536>.
22. Azdad, O. Reduction of the allergenicity of cow's milk α -lactalbumin under heat-treatment and enzymatic hydrolysis in Moroccan population / O. Azdad, N. Mejrhit, L. Aarab // *European Annals of Allergy and Clinical Immunology*. – 2018. – Vol. 50, № 4. – P. 177–183. <https://doi.org/10.23822/EurAnnACI.1764-1489.60>.
23. Агаркова, Е. Ю. Ферментативная конверсия как способ получения биологически активных пептидов / Е. Ю. Агаркова, А. Г. Курчинин // *Вестник мурманского государственного технического университета*. – 2018. – Т. 21, № 3. – С. 412–419. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2018-21-3-412-419>.
24. Кручинин, А. Г. Использование протеолиза белков молока при разработке молочных продуктов со сниженной аллергенностью / А. Г. Кручинин, К. А. Рязанцева, Е. Ю. Агаркова // *Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова*. – 2015. – № 1. – С. 289–291.
25. Яйленко, А. А. Роль макро- и микронутриентов в профилактике и коррекции когнитивных расстройств у детей / А. А. Яйленко // *Вестник Смоленской государственной медицинской академии*. – 2020. – Т. 19, № 1. – С. 216–226.
26. Protein digestion of baby foods: Study approaches and implications for infant health / J. Gan, G. M. Bornhorst, B. M. Henrick [et al.] // *Molecular Nutrition and Food Research*. – 2018. – Vol. 62, № 1. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201700231>.
27. Identification and quantification of phenolic compounds of Western Siberia *Astragalus danicus* in different regions / O. Babich, A. Prosekov, A. Zaushintsena [et al.] // *Heliyon*. – 2019. – Vol. 5, № 8. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02245>.

References

1. Prosekov AYu, Ivanova SA. Providing food security in the existing tendencies of population growth and political and economic instability in the world. *Foods and Raw Materials*. 2016;4(2):201–211. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-2-201-211>.
2. Andraos S, Wake M, Saffery R, Burgner D, Kussmann M, O'Sullivan J. Perspective: advancing understanding of population nutrient-health relations via metabolomics and precision phenotypes. *Advances in Nutrition*. 2019;10(6):944–952. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz045>.
3. Khan IT, Nadeem M, Imran M, Ullah R, Ajmal M, Jaspal MH. Antioxidant properties of milk and dairy products: a comprehensive review of the current knowledge. *Lipids in Health and Disease*. 2019;18(1). <https://doi.org/10.1186/s12944-019-0969-8>.
4. Lordan R, Tsoupras A, Mitra B, Zabetakis I. Dairy fats and cardiovascular disease: Do we really need to be concerned? *Foods*. 2018;7(3). <https://doi.org/10.3390/foods7030029>.
5. 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>.
6. Linhart B, Freidl R, Elisyutina O, Khaïtov M, Karaulov A, Valenta R. Molecular approaches for diagnosis, therapy and prevention of cow's milk allergy. *Nutrients*. 2019;11(7). <https://doi.org/10.3390/nu11071492>.
7. Hochwallner H, Schulmeister U, Swoboda I, Spitzauer S, Valenta R. Cow's milk allergy: From allergens to new forms of diagnosis, therapy and prevention. *Methods*. 201;66(1):22–33. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2013.08.005>.
8. Sun Z, Wang M, Han S, Ma S, Zou Z, Ding F, et al. Production of hypoallergenic milk from DNA-free beta-lactoglobulin (BLG) gene knockout cow using zinc-finger nucleases mRNA. *Scientific Reports*. 2018;8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32024-x>.
9. Nongonierma AB, FitzGerald RJ. Enhancing bioactive peptide release and identification using targeted enzymatic hydrolysis of milk proteins. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2018;410(15):3407–3423. <https://doi.org/10.1007/s00216-017-0793-9>.
10. Nehra M, Lettieri M, Dilbaghi N, Kumar S, Marrazza G. Nano-biosensing platforms for detection of cow's milk allergens: An overview. *Sensors*. 2019;20(1). <https://doi.org/10.3390/s20010032>.
11. Rawlings ND, Bateman A. Origins of peptidases. *Biochimie*. 2019;166:4–18. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2019.07.026>.
12. Bamdad F, Shin SH, Suh J-W, Nimalaratne C, Sunwoo H. Anti-inflammatory and antioxidant properties of casein hydrolysate produced using high hydrostatic pressure combined with proteolytic enzymes. *Molecules*. 2017;22(4). <https://doi.org/10.3390/molecules22040609>.
13. Agarkova EYu, Kruchinin AG, Ryazantzeva KA, Pryanichnikova NS. Enzymatic processing as a tool of giving functional properties to proteins of milk serum. *Agrarian-and-Food Innovations*. 2019;8(4):81–88. (In Russ.). <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2019-8-81-88>.
14. Kurchenko VP, Golovach TN, Kruglik VI, Haritonov VD, Agarkova EYu. Lowering of allergenic properties of milk proteins. *Technological approaches. Dairy Industry*. 2012;(4):73–75. (In Russ.).
15. Kozlova OV, Razumnikova IS, Babich OO, Prosekov AYu, Kurbanova MG. Biologically active peptide prepared of lactic protein. *Russia patent RU 2415943C1*. 2011.
16. Kurbanova MG, Shevyakova KA. Investigation of the influence of the enzyme-substrate relation on the process of hydrolysis of serum proteins. *Vestnik sovremennykh issledovaniy [Bulletin of Contemporary Research]*. 2017;11(8–1):38–40. (In Russ.).
17. Golovach TN, Gavrilenko NV, Zhabanos NK, Kurchenko VP. Regularities of hydrolysis of whey proteins with exo- and endoproteases. *Proceedings of the Belarusian State University. Series of Physiological, Biochemical and Molecular Biology Sciences*. 2008;3(1):85–98. (In Russ.).
18. OFS.1.2.1.0023.15. Ehlektroforez v poliakrilamidnom gele [Polyacrylamide gel electrophoresis] [Internet]. [cited 2020 Nov 03]. Available from: <https://pharmacopoeia.ru/ofs-1-2-1-0023-15-elektroforez-v-poliakrilamidnom-gele/>.
19. Maryniak NZ, Hansen EB, Ballegaard A-SR, Sancho AI, Bøgh KL. Comparison of the allergenicity and immunogenicity of camel and cow's milk – A study in brown Norway rats. *Nutrients*. 2018;10(12). <https://doi.org/10.3390/nu10121903>.
20. Kurbanova MG, Babich OO, Prosekov AYu. Directed hydrolysis of milk proteins. *Dairy Industry*. 2010;(10):73–75. (In Russ.).
21. Bavaro SL, De Angelis E, Barni S, Pilolli R, Mori F, Novembre EM, et al. Modulation of milk allergenicity by baking milk in foods: A proteomic investigation. *Nutrients*. 2019;11(7). <https://doi.org/10.3390/nu11071536>.
22. Azdad O, Mejrhit N, Aarab L. Reduction of the allergenicity of cow's milk α -lactalbumin under heat-treatment and enzymatic hydrolysis in Moroccan population. *European Annals of Allergy and Clinical Immunology*. 2018;50(4):177–183. <https://doi.org/10.23822/EurAnnACI.1764-1489.60>.

23. Agarkova EYu, Kruchinin AG. Enzymatic conversion as a method of producing biologically active peptides. Vestnik of MSTU. 2018;21(3):412–419. (In Russ.). <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2018-21-3-412-419>.
24. Kruchinin AG, Ryazantseva KA, Agarkova EYu. Use of milk protein proteolysis in development of dairy products with reduced allergenicity. International scientific-practical conference dedicated to the memory of Vasily Matveevich Gorbатов. 2015;(1):289–291. (In Russ.).
25. Yaylenko AA. Role of macro- and micronutrients in the prevention and correction of cognitive disorders in children. Vestnik of the Smolensk State Medical Academy. 2020;19(1):216–226. (In Russ.).
26. Gan J, Bornhorst GM, Henrick BM, German JB. Protein digestion of baby foods: Study approaches and implications for infant health. Molecular Nutrition and Food Research. 2018;62(1). <https://doi.org/10.1002/mnfr.201700231>.
27. Babich O, Prosekov A, Zaushintsena A, Sukhikh A, Dyshlyuk L, Ivanova S. Identification and quantification of phenolic compounds of Western Siberia *Astragalus danicus* in different regions. Heliyon. 2019;5(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02245>.

Сведения об авторах

Милентьева Ирина Сергеевна

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры бионано-технологии, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-74, e-mail: irazumnikova@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3536-562X>

Давыденко Наталия Ивановна

д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры технологии и организации общественного питания, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-56, e-mail: nat1861@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2479-8750>

Расщепкин Александр Николаевич

д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры теплохладотехники, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

Information about the authors

Irina S. Milentyeva

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Bionanotechnology, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-74, e-mail: irazumnikova@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3536-562X>

Natalia I. Davydenko

Dr.Sci.(Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Catering Technology and Organization, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-56, e-mail: nat1861@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2479-8750>

Aleksandr N. Rasshchepkin

Dr.Sci.(Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Heat and Refrigerating Engineering, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-736-748>
УДК 664.69:005.6

Оригинальная статья
<http://fppt.ru>

Разработка системы управления безопасностью процесса производства макаронных изделий



О. Ф. Фазуллина*^{ORCID}, С. О. Смирнов^{ORCID}

Дата поступления в редакцию: 09.11.2020
Дата принятия в печать: 25.12.2020

ФИЦ питания и биотехнологии^{ORCID}, Измайлово, Россия

*e-mail: olfazullina@yandex.ru



© О. Ф. Фазуллина, С. О. Смирнов, 2020

Аннотация.

Введение. Разработка и внедрение в процесс производства системы менеджмента безопасности пищевой продукции (СМБПП) будет способствовать выпуску безопасной продукции надлежащего качества с соблюдением действующих законодательных и нормативных требований. Цель исследования – формулировка требований к системе менеджмента качества и безопасности для макаронных изделий, производимых из цельнозерновой полбяной муки и овощных порошков.

Объекты и методы исследования. Предприятие, выпускающее макаронную продукцию на основе цельнозерновой полбяной муки, технологический процесс производства макаронных изделий с овощными порошками, элементы СМБПП.

Результаты и их обсуждение. Для разработки, внедрения и сопровождения СМБПП составлены: описание продукции и блок-схема технологического процесса. Определены потенциально возможные опасности физического, химического, биологического вида, а также критические процессы, характерные для производства макаронных изделий. Проведена оценка рисков с учетом степени вероятности их реализации в процессе производства и тяжести возможных последствий. Выявлен перечень недопустимых рисков и определены критические контрольные точки (ККТ). Установлены их критические пределы. Выявлены шесть ККТ на этапах: замес и прессование, сушка, стабилизация. Представлен план ХАССП с описанием контролируемых параметров, их критических пределов, систем мониторинга и корректирующих мероприятий.

Выводы. Результатами внедрения на предприятии системы управления безопасностью производства макаронных изделий на базе принципов ХАССП являются: сокращение времени на ответные меры при возникновении возможных проблем, повышение ответственности персонала, снижение потерь и затрат при отказах и возвратах вследствие улучшения качества продукции, новый потенциал для выхода на рынок, повышение доверия со стороны потребителей и партнеров по бизнесу. Достижение запланированных предприятием результатов происходит результативно и эффективно.

Ключевые слова. Качество, безопасность, критические контрольные точки, опасный фактор, риски, макаронные изделия

Финансирование. Исследование выполнено в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук (тема № 0529-2019-0065 «Разработка и оценка эффективности новых инновационных пищевых концентратов и продуктов диетического профилактического питания для спецконтингентов») Российской академии наук (РАН)^{ORCID}.

Для цитирования: Фазуллина, О. Ф. Разработка системы управления безопасностью процесса производства макаронных изделий / О. Ф. Фазуллина, С. О. Смирнов // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 736–748. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-736-748>.

Original article

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

New Safety Management System for Pasta Production

Oliya F. Fazullina*^{ORCID}, Stanislav O. Smirnov^{ORCID}

Received: November 09, 2020
Accepted: December 25, 2020

Federal Research Centre of Nutrition and Biotechnology^{ORCID},
Izmailovo, Russia

*e-mail: olfazullina@yandex.ru



© O.F. Fazullina, S.O. Smirnov, 2020

Abstract.

Introduction. New food safety management systems (FSMS) can contribute to safe production of high quality products that meet the current legal and regulatory standards. The research objective was to develop requirements for a new FSMS, which would make it possible to produce quality pasta made from whole-grain flour and vegetable powders.

Study objects and methods. The research featured a whole-grain pasta factory, a technological process of vegetable pasta production, and various elements of FSMS.

Results and discussion. The article introduces product description and process flow chart for successful development, implementation, and maintenance of a new FSMS of pasta production. It describes potential physical, chemical, and biological hazards, as well as critical processes. The hazard analysis included probability level and severity of consequences. The study revealed the related unacceptable risks and critical control points, as well as their critical limits. Six critical control points were identified at the stages of kneading, pressing, drying, and stabilization. The paper contains a Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) plan with a full description of the controlled parameters, their critical limits, monitoring systems, and corrective actions.

Conclusion. The new HACCP-based safety management system reduces the response time and increases the responsibility of personnel. It reduces possible losses in case of failures or returns as it improves the product quality. The developed FSMS gives new market options and increases the loyalty of consumers and business partners. As a result, the company becomes more efficient in achieving its goals.

Keywords. Quality, safety, critical control points, hazard, risks, pasta

Funding. The study was supported by the Fundamental Scientific Research Program of the State Academies of Sciences, topic No. 0529-2019-0065 “Development and evaluation of the effectiveness of new innovative food concentrates and dietary preventive nutrition products for special contingents” (Russian Academy of Sciences (RAS) ^{ROR}).

For citation: Fazullina OF, Smirnov SO. New Safety Management System for Pasta Production. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(4):736–748. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-736-748>.

Введение

Требования Технического регламента Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» предписывают всем предприятиям, выпускающим пищевую продукцию, в том числе макаронную, обеспечивать требуемые показатели безопасности продукции на этапах ее производства (изготовления), хранения, транспортирования и реализации. Для выполнения требований ТР ТС предприятия должны проводить комплекс мероприятий, обеспечивающих разработку, внедрение и сопровождение определенных процедур, базирующихся на принципах ХАССП. Это система идентификации факторов, влияющих на безопасность продукции. Такая система является эффективным инструментом для обеспечения гарантии безопасности продукции для потребителей [1–4].

При внедрении на предприятии СМБПП, основанной на принципах ХАССП или иной системы менеджмента качества, исследуются и анализируются не только собственные продукция и технологический процесс производства, но и смежные этапы всей последовательности создания продукции [5–8].

В случае несоблюдения действующих для пищевых предприятий требований ТР ТС для должностных лиц (руководство предприятия), юридических и физических лиц определены меры административной ответственности. В соответствии со статьей 14.43 «Кодекса Российской Федерации об административных нарушениях» № 195-ФЗ это может быть денежное взыскание (административный штраф) либо временное прекращение деятельности на срок до 90 суток с изъятием в пользу государства предметов административного нарушения¹.

¹ ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевых продуктов». – 2011. – 242 с.

Для обеспечения устойчивости бизнеса на рынке и дальнейшего развития изготовители обязаны выпускать продукцию с высокими показателями качества и безопасности, отвечающими как потребностям потребителей, так и требованиям законодательства. Пищевая продукция должна быть произведена в соответствии с положениями системы менеджмента безопасности, базирующейся на принципах ХАССП^{2,3} [9–12].

Внедрение и сопровождение СМБПП при производстве макаронных изделий повышает качество и безопасность продукции, снижает процент брака, повышает доверие потребителей, партнеров по бизнесу, сетевых ритейлеров, контролирующих органов. Применение СМБПП обеспечивает соблюдение законодательных и нормативных требований при производстве, транспортировке, хранении, реализации и потреблении продукции. Это, в свою очередь, повышает продажи и стабильность производителя [2, 9, 13, 14]. Как следствие, укрепляются позиции предприятия на рынке и имидж торговой марки безопасных продуктов питания [5, 6, 8, 13].

Одними из важных показателей качества жизни населения во всех странах мира являются качество и безопасность пищевых продуктов [15–19]. Утвержденная Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года предполагает разработку и внедрение

² ГОСТ Р ИСО 22000-2019. Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Требования к организациям, участвующим в цепи создания пищевой продукции. – М. : Стандартинформ, 2019. – 34 с.

³ ГОСТ Р 51705.1-2001. Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования. – М. : Стандартинформ, 2019. – 12 с.

Таблица 1. Описание выпускаемой продукции

Table 1. Product description

Вид продукции	Макаронные изделия, обогащенные пищевыми волокнами
Соответствие продукции документации	ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». ГОСТ 54656-2011 «Изделия макаронные с обогащающими добавками. Общие технические условия»
Применяемые компоненты	Мука полбяная цельнозерновая по ТУ 9293-014-89751414-11. Мука гречневая по ТУ 9293-002-43175543-03. Порошки листьев сельдерея или брокколи по ГОСТ 32065-2013. Порошок яичный по ГОСТ 30363-2013. Вода питьевая по СанПиН 2.1.4.1074
Характеристики продукта, учитываемые при оценке его безопасности для потребителей	Влажность продукта ≤ 13 %. Исключение: для Крайнего Севера или труднодоступных районов, а также доставляемых морским транспортом ≤ 11 %. Кислотность ≤ 4 град. Металлопримеси ≤ 3 мг на 1 кг продукта. При размере отдельных частиц $\leq 0,3$ мм в наибольшем линейном измерении. Зараженность и загрязненность вредителями хлебных запасов не допускается. Токсичные элементы: ртуть $\leq 0,02$ мг/кг, мышьяк $\leq 0,2$ мг/кг, свинец $\leq 0,5$ мг/кг, кадмий $\leq 0,1$ мг/кг. Микотоксины: афлатоксин В ₁ $\leq 0,005$ мг/кг, зеараленон $\leq 0,2$ мг/кг, Т-2 токсин $\leq 0,1$ мг/кг, дезоксиниваленон $\leq 0,7$ мг/кг, охратоксин А $\leq 0,005$ мг/кг. Радионуклиды: цезий-137 ≤ 50 Бк/кг, стронций-90 ≤ 30 Бк/кг. Пестициды. Гексахлорциклогексан (α, β, ϕ изомеры) $\leq 0,5$ мг/кг. Группа ДДТ (включая его аналоги и метаболиты) $\leq 0,02$ мг/кг. Гексахлорбензол $\leq 0,01$ мг/кг. Ртутьорганические пестициды не допускаются. 2,4-Д кислота, ее соли, эфиры не допускаются. Бензапирен не допускается. Микробиологические показатели: КМАФАнМ $\leq 5 \times 10^4$ КОЕ/г. БГКП (колиформы) не допускаются в 0,01 г. <i>V. cereus</i> не допускается в 0,1 г. Патогенные, в том числе, сальмонеллы не допускаются в 25 г. Дрожжи и плесени (сумма) ≤ 100 КОЕ/г
Способ использования продукта	Отваривание в кипящей воде перед употреблением в течение 8 мин
Для кого предназначен продукт	Общая группа населения (продукт массового потребления, изготовленный с применением традиционной технологии для потребления основными группами населения)
Упаковка продукта	Потребительская упаковка – пачка из комбинированного материала по ТР ТС 005/2011. Транспортная упаковка продукции по ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 005/2011
Условия хранения готовой продукции	В защищенных от дождя и снега помещениях с соблюдением режима относительной влажности воздуха ≤ 70 % и температуры ≤ 30 °С. Складские помещения должны иметь хорошую вентиляцию, быть чистыми, сухими, без признаков наличия вредителей. Не допускается совместное хранение с товарами со специфическими запахами
Транспортирование готовой продукции	В крытых транспортных средствах всех видов, отвечающих правилам перевозки грузов и обеспечивающих сохранность и безопасность продукции
Сроки хранения	24 месяца
Маркировка продукта	Согласно ТР ТС 022/2011: наименование продукта; наименование и местонахождение изготовителя; наименование организации, принимающей претензии от потребителей; масса нетто; товарный знак; состав продукта; пищевая и энергетическая ценность; информация о пищевом веществе, которым обогащены макаронные изделия (пищевые волокна), дата изготовления; срок хранения; способ приготовления; документ, в соответствии с которым изготовлен и может быть идентифицирован продукт; подтверждение соответствия нанесением единого знака обращения «ЕАС»
Особый контроль при транспортировке продукции	Транспортные средства должны быть чистыми, не иметь посторонних запахов, без признаков заражения и/или загрязнения вредителями хлебных запасов. Короба из гофрированного картона с продуктом укладываются не более, чем в шесть рядов

системы менеджмента качества пищевой продукции в целях обеспечения надлежащего качества на всех стадиях цикла создания продукции⁴. Внедрение актуальных систем управления показателями качества и безопасности пищевых продуктов и используемого сырья на всех участках производственной цепочки создает конкурентные преимущества для отечественных предприятий на рынке и реальные

⁴ Распоряжение правительства Российской Федерации от 29.06.2016 года № 1364-р «Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года». – 2016.

возможности импортозамещения ввозимых в страну социально значимых продовольственных товаров [13, 14, 20–22].

Макаронные изделия являются одними из наиболее популярных продуктов питания населения и относятся к товарам повседневного спроса [13–15, 23]. В настоящее время в торговой сети представлен огромный выбор макаронных изделий различных видов. Конкуренция в этом сегменте рынка достаточно высока. Потребители выбирают товар не только, исходя из ценовых показателей, но и обращают внимание на критерии качества и безопасности [12–15].

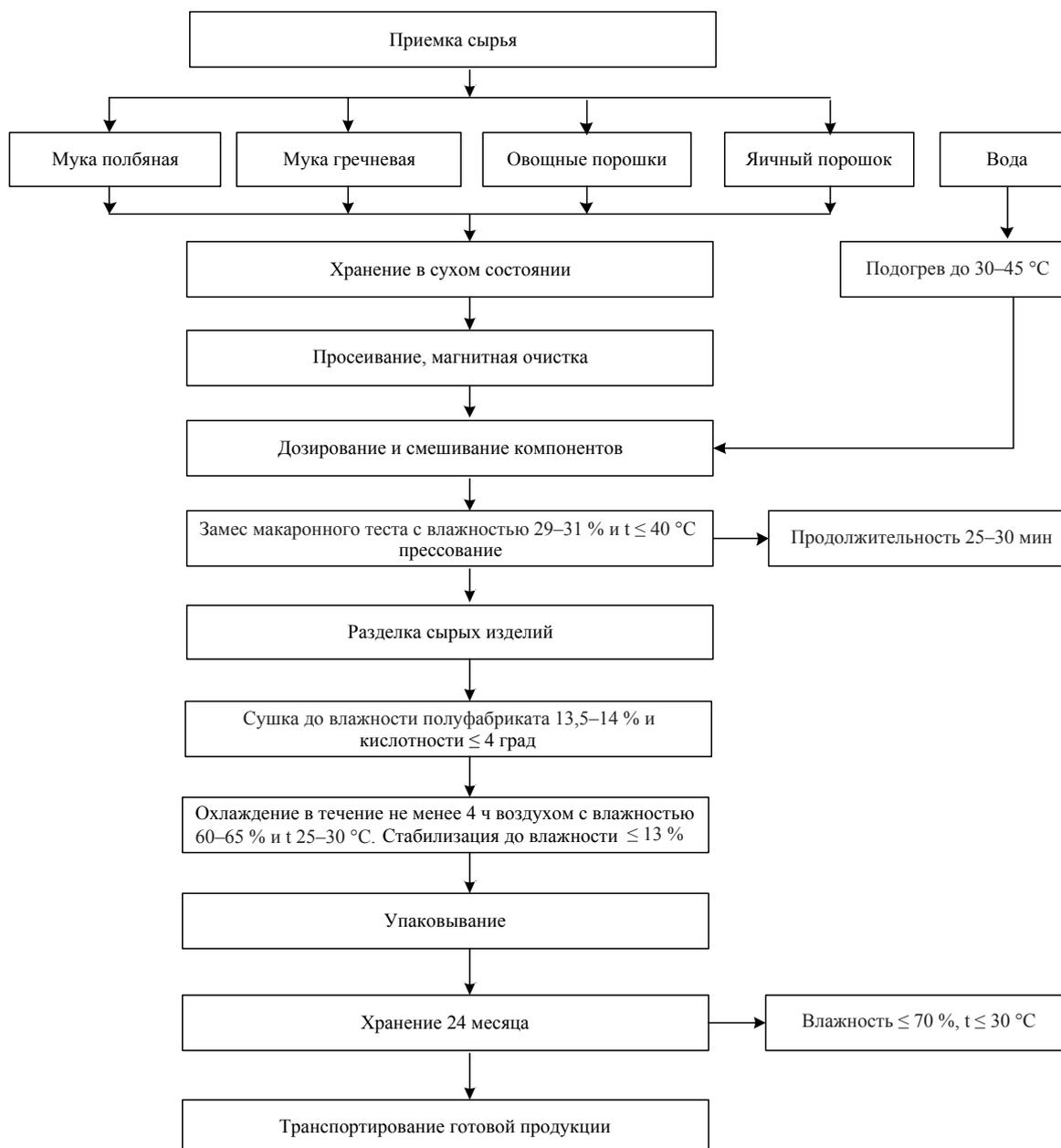


Рисунок 1. Блок-схема производства макаронных изделий на основе полбяной муки

Figure 1. Process flow chart for whole-grain pasta production line

Безопасность пищевой продукции связана с потенциальными опасностями при употреблении ее потребителями [3, 4, 24, 25]. Ввиду того, что опасности могут возникнуть на любой из стадий создания, необходимо введение мер по обеспечению контроля на всех этапах жизненного цикла продукции. Безопасность обеспечивается совместными усилиями всех участников в цепи производства и потребления пищевых продуктов [1, 5, 11, 26].

Цель исследования – формулировка требований к системе менеджмента качества и безопасности для макаронных изделий, производимых из муки цельнозерновой полбы и овощных порошков.

Объекты и методы исследования

Объекты исследований: предприятие-изготовитель (Калужская область); макаронные изделия из муки цельнозерновой полбы с добавлением овощных компонентов в форме порошков, процесс производства макаронных изделий, элементы СМБПП.

Исследования проводили согласно ГОСТ Р 51705.4-2001 и ГОСТ Р ИСО 22000-2019. Поиск критических контрольных точек с потенциальным влиянием на безопасность макаронных изделий выполнен методом «Дерево принятия решения». Оценка установленных рисков для всех

Таблица 2. Критерии оценок тяжести последствий и вероятности возникновения опасности

Table 2. Criteria for severity of consequences and potential hazards

Тяжесть возможных последствий		
Возможные последствия для здоровья потребителя	Степень тяжести последствий	Оценка
Легкое недомогание	Легкая	1 балл
Заболевание, приводящее к временной нетрудоспособности (до недели)	Средняя	2 балла
Тяжелое заболевание госпитализация, угроза инвалидизации	Тяжелая	3 балла
Смертельный случай	Критическая	4 балла
Степень вероятности возникновения опасности		
Периодичность возникновения	Степень вероятности	Оценка
От одного раза в течение десяти лет	Практически отсутствует	1 балл
Один раз в год	Незначительная	2 балла
Один раз в месяц	Значительная	3 балла
Один раз в смену	Высокая	4 балла

потенциальных опасностей, учитывающая степени вероятности реализации опасности и тяжести возможных последствий, проведена с применением метода анализа рисков по диаграмме с осями «вероятность реализации опасного фактора» – «тяжесть последствий» (ГОСТ Р 51705.4-2001).

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных ранее исследований по теме НИР разработаны рецептуры макаронных изделий, обогащенных пищевыми волокнами, из муки цельнозерновой полбы, гречихи, порошков листьев сельдерея или брокколи, яичного порошка, воды [23, 27]. Разработанные изделия соответствуют требованиям ГОСТ 54656-2011. Содержание пищевых волокон в разработанных макаронных изделиях, в зависимости от используемой рецептуры, составляет 11,7–12,5 г на 100 г сухих изделий (при условии содержания не менее 6 % согласно ТР ТС 022/2011) [23, 27]. При внедрении в производство нового продукта необходимо разработать комплекс мероприятий, обеспечивающих их безопасность.

В Российской Федерации СМБПП разрабатывается, базируясь на стандарты ГОСТ Р 51705.1-2001 и ГОСТ Р ИСО 22000-2019.

Для решения задач разработки, внедрения и сопровождения СМБПП, основанной на принципах ХАССП, была назначена группа ХАССП (координатор, технический секретарь, консультанты).

Исходной информацией для разработки СМБПП являются: информация о продукте и информация о производстве.

Описание продукции (макаронные изделия из муки цельнозерновой полбы с добавлением

гречневой муки, овощных порошков) представлено в таблице 1.

Описание производства обогащенных пищевыми волокнами макаронных изделий на основе цельнозерновой полбяной муки содержит: комплект технологической документации (технологические инструкции, блок-схемы производственных процессов, схемы действующего производственного контроля с указанием контролируемых параметров и периодичности контроля), план производственных помещений с обозначением технологического оборудования, план складских помещений, обозначение движения производственных потоков сырья, полуфабрикатов, готовой продукции, персонала. А также расположение пунктов мойки и санитарной обработки оборудования. На рисунке 1 представлена блок-схема производства макаронных изделий.

Группа ХАССП проверяет описание продукции и производства на соответствие реальному состоянию. Внутренние проверки на предприятии осуществляют сразу после внедрения разработанной системы и далее по графику: не реже одного раза в год. В случае обнаружения новых или неучтенных ранее опасных факторов и рисков проводятся внеплановые проверки. Результаты проверок документируются.

Используя данные исходной информации (информация о продукте, информация о производстве), приступили к анализу всех видов опасностей, которые потенциально могут возникнуть в процессе производства макаронных изделий.

Система менеджмента качества и безопасности пищевой продукции на базе принципов ХАССП исследует и оценивает биологические (в том числе микробиологические), химические, физические и качественные виды опасностей. Возможные риски в процессе производства макаронных изделий оценивали по всем исследуемым опасным факторам. В первую очередь учитывали возможные виды опасных факторов, присущие производству макаронных изделий [13–15, 27].

Степень вероятности реализации исследуемых опасных факторов группа экспертов ХАССП оценивала четырьмя допустимыми вариантами оценки: 1 – практически отсутствует, 2 – незначительная вероятность, 3 – вероятность значительная, 4 – вероятность высокая.

При проведении оценки тяжести возможных последствий в случае реализации опасности приняты также четыре допустимых варианта оценки: 1 – легкая степень, 2 – степень средней тяжести, 3 – тяжелая степень, 4 – степень критическая.

Для получения результатов экспертной оценки степени вероятности реализации исследуемого опасного фактора и тяжести его возможных последствий использовали информацию из всех

Таблица 3. Анализ и оценка рисков

Table 3. Hazard analysis

Вид опасности	Тяжесть возможных последствий	Степень вероятности возникновения	Оценка опасности	Вероятный источник, причины и условия возникновения
Биологическая (микробиологическая)				
Гетероферментативные молочнокислые бактерии <i>Bacillus cereus</i>	4	3	12	Сырье, тесто. Несоблюдение технологических режимов формовки изделий, сушки (влажность, температура, время операции, сроки хранения теста между этапами). Нарушение гигиены, условий и сроков хранения
Дрожжи рода <i>Candida</i>	3	3	9	Сырье, воздух, оборудование, персонал, упаковка. Неудовлетворительное качество сырья, нарушение технологического процесса замеса, сушки, формовки.
Плесневые грибы родов <i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Rhizopus</i>	3	3	9	Нарушение режимов хранения. Благоприятные для роста условия окружающей среды (температура, влажность)
Токсины Афлатоксин В ₁ , зеараленон, Т-2 токсин, дезоксиниваленол, охратоксин А	4	3	12	Сырье, вода. Нарушение технологических режимов, условий хранения
Химическая				
Токсичные элементы	4	2	8	Сырье, вода Неудовлетворительное качество сырья
Пестициды	4	2	8	
Радионуклиды	4	2	8	
Физическая				
Металлические включения	4	3	12	Сырье, коррозия, износ, отказ оборудования
Неметаллические включения: – стекло – пластмасса – органические включения – смазочные материалы оборудования	4 3 3 3	3 2 2 2	12 6 6 6	Сырье, упаковочная тара Нарушение ТУ и ТИ Отходы жизнедеятельности птиц, грызунов, насекомых, нарушения санитарных правил персоналом Продукты износа оборудования, остатки смазки

доступных источников, производственный опыт и профессиональные знания экспертов, основываясь на критериях оценок (табл. 2).

Анализ рисков проводили для того, чтобы определить какими опасными факторами и в какой мере предстоит управлять для обеспечения безопасности макаронных изделий. Были установлены биологические (микробиологические), химические и физические факторы, которые потенциально могут повлиять на безопасность макаронных изделий, а также критические процессы. Умножением значения оценки тяжести возможных последствий от реализации опасного фактора на значение оценки вероятности его реализации получили оценку исследуемых рисков. Анализ и оценка рисков представлены в таблице 3.

Анализ рисков от качества сырья, состояния оборудования, производственного помещения и персонала проводили по всем этапам технологического процесса (рис. 1) методом анализа рисков по диаграмме (рис. 2).



Рисунок 2. Диаграмма анализа рисков

Figure 2. Hazard analysis scheme

Таблица 4. Анализ выявленных опасных факторов, определяющих безопасность макаронных изделий

Table 4. Hazard analysis: factors that determine the safety of pasta products

Этапы технологического процесса	Потенциально возможная опасность (на этом этапе возникает, усиливается, управляется)	Обоснование возможной опасности	Значительна ли потенциально возможная опасность?	Предотвращение опасных факторов (предупредительные меры)
Приемка и хранение компонентов: мука полбяная и гречневая, порошки брокколи и сельдерея, яичный порошок	Химические факторы: токсичные элементы, микотоксины, пестициды, радионуклиды Микробиологические факторы: КМАФАнМ, БГКП, <i>B. cereus</i> , <i>S. aureus</i> , дрожжи и плесени Физические факторы: нитки, пластик, стекло, металл	Могут присутствовать в исходном сырье, воде	Да	Входной контроль сырья и воды для замеса теста по программе производственного контроля Аудит поставщиков Контроль персонала Входной контроль сырья и воды для замеса теста Контроль санитарного состояния предприятия График уборки помещений, мойки, дезинфекции инвентаря и оборудования Соблюдение режимов хранения Гигиена персонала Визуальный контроль Просеивание с использованием металлодетекторов и магнитных уловителей
		Из зараженного сырья, воды, при несоблюдении правил транспортирования компонентов, при нарушении санитарных правил при переработке Развитие микроорганизмов при нарушении режимов хранения (температура, влажность, длительность) или правил транспортирования Могут попасть при нарушении целостности упаковки	Да	
Дозирование и смешивание компонентов	Физические факторы: посторонние примеси Масса вносимых компонентов рецептуры	Могут попасть из поврежденных поверхностей, из-за коррозии, износа или отказа оборудования, нарушений технологической инструкции персоналом	Да	Организация технического обслуживания и ремонта технологического оборудования Соблюдение ТИ Контроль однородности партий компонентов. Инструктаж персонала Отладка оборудования
		Несоблюдение персоналом технологических инструкций, отказ оборудования	Да	
Замес макаронного теста, прессование изделий	Биологическая	Применение зараженного сырья и/или компонентов, результат обсеменения из окружающей среды, от используемого оборудования, от персонала	Да	Контроль входной и производственный ППК в отношении надлежащего содержания мойки и дезинфекции оборудования, помещения, гигиены персонала Персонал, помещения и оборудования в плане ремонта и содержания контролируются ППК и ПОПМ Соблюдение технологических параметров Контроль
	Химическая	Следы моющих и дезинфицирующих средств, несоблюдение инструкций по правильной мойке/дезинфекции	Да	
	Физическая	Могут попасть посторонние твердые включения от персонала, оборудования, окружающей среды	Да	
	Влажность макаронного теста	Из-за несоблюдения установленных в ТИ режимов и параметров замеса и прессования	Да	
Сушка изделий	Массовая доля влаги, температура	Из-за несоблюдения установленных в ТИ режимов и параметров сушки	Да	Контроль технологических параметров (температуры, относительной влажности, скорости движения сушильного воздуха, времени)
Охлаждение изделий	Массовая доля влаги, температура	Из-за несоблюдения установленных в ТИ режимов и параметров охлаждения	Да	Контроль технологических параметров
Стабилизация	Массовая доля влаги, температура	Из-за несоблюдения технологических режимов и параметров стабилизации	Да	Контроль температуры, относительной влажности

Критические контрольные точки (ККТ) и контрольные точки (КТ) идентифицировали поэтапно, согласно технологической схеме производства, с использованием метода «Дерево принятия решения» со следующими вопросами.

- определены ли контрольные или предупреждающие меры для данной опасности?
- этот этап исключает или снижает вероятность возникновения опасности до приемлемого уровня?
- может ли опасный фактор реализоваться на следующих этапах?
- это последний этап, направленный на исключение

или снижение вероятности возникновения опасности до приемлемого уровня?

Если на рассматриваемом этапе технологического процесса выявлялся опасный фактор, вероятность реализации которого должна быть предотвращена либо снижена до приемлемого уровня, то этап принимали как ККТ.

Определены контролируемые параметры и их предельные значения для каждой из выявленных ККТ. Физический опасный фактор (наличие металлических и неметаллических примесей) не допускается в пищевом продукте. Критические

Таблица 5. Определение ККТ и КТ, влияющих на безопасность макаронных изделий

Table 5. Critical control points in pasta production

Наименование компонента или этапа	Идентифицированный опасный фактор	1. Определены ли контрольные или предупреждающие меры для данной опасности?	2. Этот этап исключает или снижает вероятность возникновения опасности до приемлемого уровня?	3. Может ли опасный фактор реализоваться на следующих этапах?	4. Это последний этап, направленный на исключение или снижение вероятности возникновения опасности до приемлемого уровня?	ККТ/ КТ, меры предупреждения
Компоненты						
Мука полбяная, гречневая, яичный и овощные порошки	Биологическая	Да	–	Да	Нет	КТ, ПОПМ
	Химическая	Да	–	Да	Нет	КТ, ПОПМ
	Физическая	Да	–	Да	Да	КТ, ПОПМ
Вода из централизованного источника водоснабжения	Биологическая	Да	–	Да	Да	КТ, ПОПМ
	Химическая	Да	–	Да	Да	КТ, ПОПМ
	Физическая	Да	–	Да	Да	КТ, ПОПМ
Этап						
Дозирование компонентов	Физическая	Да	Да	–	–	КТ, ПОПМ
Смешивание компонентов	Физическая	Да	Да	–	–	КТ, ПОПМ
Замес и прессование	Биологическая	Да	Да	Да	Нет	ККТ 1
	Химическая	Да	Да	–	–	КТ, ППК, ПОПМ
	Физическая	Да	Да	Да	Нет	ККТ 2
Сушка изделий	Биологическая	Да	Нет	Да	Нет	ККТ 3
	Физическая	Да	Нет	Да	Нет	ККТ 4
Охлаждение полуфабриката	Биологическая	Да	Нет	Да	Нет	КТ, ПОПМ
	Физическая	Да	Нет	Да	Нет	КТ, ПОПМ
Стабилизация изделий	Биологическая	Да	Да	Да	Нет	ККТ 5
	Физическая	Да	Да	Да	Нет	ККТ 6
Упаковывание	Биологическая	Да	Нет	Да	Нет	КТ, ПОПМ
	Физическая	Да	Нет	Да	Нет	КТ, ПОПМ

значения биологического фактора (микроорганизмы и их токсины) заданы, согласно ТР ТС 021/2011 и Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю).

Для управления выявленными опасностями, потенциально возникающими при производстве макаронных изделий из цельнозерновой полбяной муки с добавлением овощных порошков, предусмотрены следующие документы.

Программа обязательных предварительных мероприятий (ПОПМ), регламентирующая:

- контроль качества сырья, воды, вспомогательных материалов, упаковки, правил их хранения и транспортирования;
- контроль функционирования задействованного технологического оборудования, обеспечение его доступности для процедур очистки, технического и/или профилактического обслуживания.

Программа производственного контроля (ППК), регламентирующая:

- контроль соблюдения и надлежащего исполнения санитарных правил;
- санитарно-противоэпидемические профилактические мероприятия.

Производственная программа предусматривает перечень действий, которые в обязательном порядке проводятся на всех этапах технологического процесса производства макаронных изделий. Обязательны проведение мониторинга этапов, определение корректирующих действий при их необходимости, назначение ответственных исполнителей.

После выявления и анализа значимых опасностей и их источников определили меры по предотвращению их влияния.

Результаты проведенного исследования опасных факторов, определяющих безопасность макаронных изделий, приведены в таблице 4.

По результатам выполненного анализа опасных факторов процесса производства макаронных изделий определили ККТ. Применение последовательности вопросов по методу «Дерево принятия решения» позволяет точно идентифицировать рассматриваемый этап как ККТ или КТ. Результаты представлены в таблице 5.

Выявлены шесть ККТ на этапах замеса макаронного теста, прессования, сушки и стабилизации. После определения ККТ была решена следующая задача: определение критически пределов ККТ, при достижении которых велика вероятность,

Таблица 6. План управления опасностями (план ХАССП) при производстве макаронных изделий

Table 6. HACCP plan for pasta production

Этап № ККТ	Вид опасности	Критические пределы	Мониторинг			Документы для регистрации	Корректирующие действия		
			Процедура	Кратность	Ответственный		Процедура	Ответственный	
Замес и прессование	1	Развитие микроорганизмов порчи	Содержание микроорганизмов выше предельно допустимых уровней (ТР ТС 021/2011)	Лабораторный анализ	Каждая партия	Гл. технолог	Журналы, протоколы исследований	Соблюдение ТИ, увеличение кратности контроля	Зав. лабораторией
	2	Наличие посторонних включений	Не допускается (ТР ТС 021/2011)	Контроль сит и магнитов	Трижды в смену	Гл. технолог	Журналы, учета просеивания и схода сит	Наладка оборудования	Гл. технолог
Сушка изделий	3	Развитие микроорганизмов порчи	Содержание микроорганизмов выше предельно допустимых уровней (ТР ТС 021/2011)	Лабораторный анализ	Каждая партия	Гл. технолог	Журналы, протоколы исследований	Соблюдение ТИ, увеличение кратности контроля	Зав. лабораторией
	4	Брак	Влажность полуфабриката 13,5–14 %, кислотность не более 4 град.	Контроль влажности, кислотности Проверка соблюдения режимов сушки	Каждая партия	Гл. технолог	Журналы, протоколы исследований	Выявление причин и их устранение Соблюдение ТИ	Гл. технолог
Стабилизация изделий	5	Развитие микроорганизмов порчи	Содержание микроорганизмов выше предельно допустимых уровней (ТР ТС 021/2011)	Лабораторный анализ	Каждая партия	Гл. технолог	Журналы, протоколы исследований	Соблюдение ТИ, увеличение кратности контроля	Зав. лабораторией
	6	Брак	Влажность изделий ≤ 13 %, кислотность не более 4 град.	Контроль влажности, кислотности Проверка соблюдения технологических режимов	Каждая партия	Гл. технолог	Журналы, протоколы исследований	Выявление причин и их устранение Соблюдение ТИ	Гл. технолог

что продукция не будет безопасной для здоровья потребителей. Для каждой выявленной ККТ определены корректирующие действия в случае нарушения заданных критических пределов, система мониторинга для проведения плановых наблюдений и измерений, необходимых для своевременной фиксации случаев приближения значений к критическим и применения протокола предупредительных и/или корректирующих мероприятий. Разработаны процедуры проверок, позволяющие убедиться в эффективности системы обеспечения безопасности производственного процесса. В таблице 6 представлен план ХАССП для производства макаронных изделий из муки цельнозерновой полбяной с добавками.

Факт того, что план ХАССП для макаронных изделий адекватно отражает опасные факторы и выполняется в полном объеме, подтверждается результатами внутреннего аудита предприятия. Аудит проводится один раз в год по утвержденному плану. В случаях обнаружения неучтенных ранее опасных факторов и рисков или вновь выявленных предусмотрен внеплановый аудит.

Выводы

Применение на производстве системы менеджмента безопасности пищевой продукции на базе принципов ХАССП способствует выпуску безопасной продукции надлежащего качества с соблюдением действующих требований. В целях

снижения рисков при производстве следует руководствоваться ТР ТС 021/2011.

При производстве разработанных обогащенных пищевыми волокнами макаронных изделий на основе цельнозерновой полбяной муки компоненты должны соответствовать требованиям к сырью по ГОСТ 54656-2011. Порядок и периодичность контроля содержания в муке (цельнозерновая полбяная, гречневая) токсичных элементов, микотоксинов, радионуклидов, пестицидов и вредных примесей изготовитель устанавливает в программе производственного контроля. Дополнительное сырье (порошки брокколи, листьев сельдерея, яичный порошок) проходит входной контроль на соответствие сопроводительным документам и технической документации. Вода для замеса макаронного теста должна быть прозрачной, не содержать органических примесей, без посторонних вкуса и запаха, соответствовать требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01.

В результате проведенных исследований разработаны процедуры обеспечения безопасности для производства обогащенных пищевыми волокнами макаронных изделий на основе цельнозерновой полбяной муки, основанные на принципах ХАССП. Выявлены опасные факторы, определены ККТ, разработан план ХАССП с указанием контролируемых параметров, их критических пределов, системы мониторинга и корректирующие действия.

Результатами внедрения на предприятие системы управления безопасностью на базе принципов ХАССП являются: сокращение времени на ответные меры при возникновении возможных проблем,

повышение ответственности персонала, снижение потерь и затрат при отказах и возвратах вследствие улучшения качества продукции, новый потенциал для выхода на рынок, повышение доверия со стороны потребителей и партнеров по бизнесу. Достижение запланированных предприятием результатов происходит результативно и эффективно.

Критерии авторства

Все авторы внесли равный вклад в исследование и несут равную ответственность за информацию, опубликованную в статье.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Авторы выражают благодарность д-р техн. наук, профессору Виктору Францевичу Добровольскому за помощь в проведении исследований.

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.

Acknowledgments

The authors are grateful to Professor Viktor F. Dobrovolsky, Doctor of Technical Sciences, for his assistance.

Список литературы

1. Hazard analysis critical control point // Food and drink – good manufacturing practice: A guide to its responsible management. – The Institute of Food Science and Technology, 2018. – P. 17–29. <https://doi.org/10.1002/9781119388494.ch3>.
2. Толстова, Е. Г. Система ХАССП как методологическая основа обеспечения безопасности продуктов питания / Е. Г. Толстова // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2014. – Т. 29, № 1. – С. 130–133.
3. Trafialek, J. The risk analysis of metallic foreign bodies in food products / J. Trafialek, S. Kaczmarek, W. Kolanowski // Journal of Food Quality. – 2016. – Vol. 39, № 4. – P. 398–407. <https://doi.org/10.1111/jfq.12193>.
4. Industrial and artisanal fresh filled pasta: Quality evaluation / S. M. Marotta, F. Giarratana, G. Raffaele [et al.] // Journal of Food Processing and Preservation. – 2018. – Vol. 42, № 1. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13340>.
5. Implementation of ISO 22000 as a food safety management tools in wheat milling industry / M. M. El-Bayoumi, Y. A. Heikal, S. M. Abo-El-Fetoh [et al.] // World Journal of Dairy and Food Sciences. – 2013. – Vol. 8, № 1. – P. 27–37.
6. Role of Food Safety Management Systems in safe food production: A review / A. Panghal, N. Chhikara, N. Sindhu [et al.] // Journal of Food Safety. – 2018. – Vol. 38, № 4. <https://doi.org/10.1111/jfs.12464>.
7. Microbiological quality and safety of cheeses belonging to “Traditional Agri – Food Products” (T.A.P.) produced in Southern Italy / A. Dambrosio, F. Ioanna, M. M. Storelli [et al.] // Journal of Food Safety. – 2018. – Vol. 38, № 6. <https://doi.org/10.1111/jfs.12539>.
8. Schaarschmidt, S. The fate of mycotoxins during the processing of wheat for human consumption / S. Schaarschmidt, C. Faul-Hassek // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2018. – Vol. 17, № 3. – P. 556–593. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12338>.
9. Трофимова, Н. Б. Разработка программного продукта для автоматизации учета несоответствий и нарушений критических пределов на производстве / Н. Б. Трофимова, Е. О. Ермолаева, И. Е. Трофимов // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 1. – С. 167–175. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-167-175>.

10. Бабийчук, О. Л. Совершенствование системы контроля на основе анализа рисков и критических контрольных точек / О. Л. Бабийчук, Н. Ю. Выговтова, В. О. Капитонова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2013. – № 1. – С. 120–126.
11. Liu, Z. Food safety governance in China: From supervision to coregulation / Z. Liu, A. N. Mutukumira, H. Chen // Food Science and Nutrition. – 2019. – Vol. 7, № 12. – P. 4127–4139. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1281>.
12. Luo, J. Evolutionary dynamics of health food safety regulatory information disclosure from the perspective of consumer participation / J. Luo, T. Chen, J. Wang // Food Science and Nutrition. – 2019. – Vol. 7, № 12. – P. 3958–3968. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1257>.
13. The system of pasta production safety management based on the HACCP / N. Konik, S. Bogatyrev, R. Ahmerov [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. – Vol. 9, № 6. – P. 1297–1302.
14. Разработка мероприятий по обеспечению безопасности производства макаронных изделий / Д. Р. Аптрахимов, М. Р. Мардар, Ф. Х. Смольникова [и др.] // АПК России. – 2016. – Т. 23, № 2. – С. 453–458.
15. Prediction of commercial spaghetti quality based on sensory and physicochemical data / M. Pestorić, J. Mastilović, L. Pezo [et al.] // Journal of Food Processing and Preservation. – 2019. – Vol. 43, № 11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14172>.
16. A comprehensive food safety short course (FSSC) improves food safety knowledge, behaviors, attitudes, and skills of Ukrainian participants / D. E. Oruc, S. Pokharel, R. C. Anantheswaran [et al.] // Journal of Food Science Education. – 2020. – Vol. 19, № 4. – P. 263–277. <https://doi.org/10.1111/1541-4329.12208>.
17. Development, dissemination, and assessment of a food safety systems management curriculum for agribusiness students in Armenia / S. Pokharel, J. E. Marcy, A. M. Neilan [et al.] // Journal of Food Science Education. – 2017. – Vol. 16, № 4. – P. 107–117. <https://doi.org/10.1111/1541-4329.12122>.
18. Evaluation of prerequisite programs implementation and hygiene practices at social food services through audits and microbiological surveillance / R. Garayoa, N. Yáñez, M. Díez-Leturia [et al.] // Journal of Food Science. – 2016. – Vol. 81, № 4. – P. M921–M927. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13258>.
19. Has, S. M. C. An assessment on pre-and post-food hygiene training on food safety's Kap level among food handlers in Kuala Terengganu and Kuala Nerus / S. M. C. Has, S. N. A. Jaafar, T. Z. T. Chilek // Malaysian Applied Biology. – 2018. – Vol. 47, № 4. – P. 61–69.
20. Барышникова, Н. И. Разработка системы управления безопасностью на основе принципов ХАССП при производстве хлеба из пшеничной муки / Н. И. Барышникова, И. Ю. Резниченко, Е. С. Вайскрובה // Техника и технология пищевых производств. – 2017. – Т. 47, № 4. – С. 115–122. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2017-4-115-122>.
21. Разработка системы ХАССП при производстве мучных смесей на основе квиноа для создания безглютеновых продуктов питания / Т. В. Щеколдина, П. И. Кудинов, О. Л. Вершинина [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2018. – Т. 365–366, № 5–6. – С. 100–106.
22. The development of an integrated management system to ensure the quality stability and food safety / I. V. Surkov, V. M. Kantere, K. Ya. Motovilov [et al.] // Foods and Raw Materials. – 2015. – Vol. 3, № 1. – P. 111–119. <https://doi.org/10.12737/11245>.
23. Фазуллина, О. Ф. Макароны повышенной пищевой ценности с использованием полбы / О. Ф. Фазуллина, С. О. Смирнов // Ползуновский вестник. – 2019. – № 3. – С. 13–18. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2019.03.003>.
24. Predictive model for growth of *Bacillus cereus* at temperatures applicable to cooling of cooked pasta / V. K. Juneja, C. E. Golden, A. Mishra [et al.] // Journal of Food Science. – 2019. – Vol. 84, № 4. – P. 590–598. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14448>.
25. Production of safer food by understanding risk factors for *L. monocytogenes* occurrence and persistence in food processing environments / A. Alvarez-Ordóñez, D. Leong, K. Hunt [et al.] // Journal of Food Safety. – 2018. – Vol. 38, № 6. <https://doi.org/10.1111/jfs.12516>.
26. Manning, L. The evolution and cultural framing of food safety management systems – where from and where next? / L. Manning, P. A. Luning, C. A. Wallace // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2019. – Vol. 18, № 6. – P. 1770–1792. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12484>.
27. Фазуллина, О. Ф. Исследование показателей качества макаронных изделий из полбы / О. Ф. Фазуллина, С. О. Смирнов, А. А. Королев // Вестник КрасГАУ. – 2020. – Т. 154, № 1. – С. 126–131. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-1-126-131>.

References

1. Hazard analysis critical control point. Food and drink – good manufacturing practice: A guide to its responsible management. The Institute of Food Science and Technology; 2018. pp. 17–29. <https://doi.org/10.1002/9781119388494.ch3>.
2. Tolstova EG. HACCP system as a methodological basis to provide foodstuff safety. Vestnik Bashkir State Agrarian University. 2014;29(1):130–133. (In Russ.).

3. Trafialek J, Kaczmarek S, Kolanowski W. The risk analysis of metallic foreign bodies in food products. *Journal of Food Quality*. 2016;39(4):398–407. <https://doi.org/10.1111/jfq.12193>.
4. Marotta SM, Giarratana F, Raffaele G, Muscolino D, Giuffrida A, Panebianco A, et al. Industrial and artisanal fresh filled pasta: Quality evaluation. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2018;42(1). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13340>.
5. El-Bayoumi MM, Heikal YA, Abo-El-Fetoh SM, Abdel-Razik MM. Implementation of ISO 22000 as a food safety management tools in wheat milling industry. *World Journal of Dairy and Food Sciences*. 2013;8(1):27–37.
6. Panghal A, Chhikara N, Sindhu N, Jaglan S. Role of Food Safety Management Systems in safe food production: A review. *Journal of Food Safety*. 2018;38(4). <https://doi.org/10.1111/jfs.12464>.
7. Dambrosio A, Ioanna F, Storelli MM, Castiglia D, Giannico F, Colonna MA, et al. Microbiological quality and safety of cheeses belonging to “Traditional Agri – Food Products” (T.A.P.) produced in Southern Italy. *Journal of Food Safety*. 2018;38(6). <https://doi.org/10.1111/jfs.12539>.
8. Schaarschmidt S, Faulh-Hassek C. The fate of mycotoxins during the processing of wheat for human consumption. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2018;17(3):556–593. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12338>.
9. Trofimova NB, Ermolaeva EO, Trofimov IE. Development of a software product for the automation of hazard analysis and critical control points in food production. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(1):167–175. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-167-175>.
10. Babychuk OL, Vytovtova NYu, Kapitonova VO. Improvement the control system based on hazard analysis and critical control points. *Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2013;(1):120–126. (In Russ.).
11. Liu Z, Mutukumira AN, Chen H. Food safety governance in China: From supervision to coregulation. *Food Science and Nutrition*. 2019;7(12):4127–4139. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1281>.
12. Luo J, Chen T, Wang J. Evolutionary dynamics of health food safety regulatory information disclosure from the perspective of consumer participation. *Food Science and Nutrition*. 2019;7(12):3958–3968. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1257>.
13. Konik N, Bogatyrev S, Ahmerov R, Shutowa O, Sinitsa V. The system of pasta production safety management based on the HACCP. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018;9(6):1297–1302.
14. Aprakhimov DR, Mardar MR, Smolnikova FH, Vaiskrobova ES. Activities for operational safety of pasta production. *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2016;23(2):453–458. (In Russ.).
15. Pestorić M, Mastilović J, Pezo L, Belović M, Škrobot D, Šimurina O, et al. Prediction of commercial spaghetti quality based on sensory and physicochemical data. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2019;43(11). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14172>.
16. Oruc DE, Pokharel S, Anantheswaran RC, Bucknavage MW, Gourama H, Shanina O, et al. A comprehensive food safety short course (FSSC) improves food safety knowledge, behaviors, attitudes, and skills of Ukrainian participants. *Journal of Food Science Education*. 2020;19(4):263–277. <https://doi.org/10.1111/1541-4329.12208>.
17. Pokharel S, Marcy JE, Neilan AM, Cutter CN. Development, dissemination, and assessment of a food safety systems management curriculum for agribusiness students in Armenia. *Journal of Food Science Education*. 2017;16(4):107–117. <https://doi.org/10.1111/1541-4329.12122>.
18. Garayoa R, Yáñez N, Díez-Leturia M, Bes-Rastrollo M, Vitas AI. Evaluation of prerequisite programs implementation and hygiene practices at social food services through audits and microbiological surveillance. *Journal of Food Science*. 2016;81(4):M921–M927. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13258>.
19. Has SMC, Jaafar SNA, Chitek TZZ. An assessment on pre-and post-food hygiene training on food safety’s Kap level among food handlers in Kuala Terengganu and Kuala Nerus. *Malaysian Applied Biology*. 2018;47(4):61–69.
20. Baryshnikova NI, Reznichenko IYu, Vayskrobova ES. Development of the safety management system based on hazard analysis and critical control points approach at wheat bread production. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2017;47(4):115–122. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2017-4-115-122>.
21. Shchekoldina TV, Kudinov PI, Verzhinina OL, Khristenko AG. Development of HACCP system for production flour mixes based on quinoa for gluten-free food products. *News of institutes of higher education. Food Technology*. 2018;365–366(5–6):100–106. (In Russ.).
22. Surkov IV, Kantere VM, Motovilov KYa, Renzyaeva TV. The development of an integrated management system to ensure the quality stability and food safety. *Foods and Raw Materials*. 2015;3(1):111–119. <https://doi.org/10.12737/11245>.
23. Fazullina OF, Smirnov SO. Makaronnye izdeliya povyshennoy pishchevoy tsennosti s ispol'zovaniem polby [Pasta with increased nutritional value using spelled]. *Polzunovsky Vestnik*. 2019;(3):13–18. (In Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2019.03.003>.
24. Juneja VK, Golden CE, Mishra A, Harrison MA, Mohr TB. Predictive model for growth of *Bacillus cereus* at temperatures applicable to cooling of cooked pasta. *Journal of Food Science*. 2019;84(4):590–598. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14448>.
25. Alvarez-Ordóñez A, Leong D, Hunt K, Scollard J, Butler F, Jordan K. Production of safer food by understanding risk factors for *L. monocytogenes* occurrence and persistence in food processing environments. *Journal of Food Safety*. 2018;38(6). <https://doi.org/10.1111/jfs.12516>.
26. Manning L, Luning PA, Wallace CA. The evolution and cultural framing of food safety management systems – where from and where next? *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019;18(6):1770–1792. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12484>.

27. Fazullina OF, Smirnov SO, Korolev AA. The research of quality indicators of pasta from spelt. Bulletin of KSAU. 2020;154(1):126–131. (In Russ.). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-1-126-131>.

Сведения об авторах

Фазуллина Олия Фанавиевна

канд. техн. наук, старший научный сотрудник отдела пищевых концентратов и оборудования, Научно-исследовательский институт пищевого концентратной промышленности и специальной пищевой технологии – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», 142718, Россия, поселок Измайлово, 22, тел.: +7 (495) 383-16-92, e-mail: olfazullina@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5963-3692>

Смирнов Станислав Олегович

канд. техн. наук, заместитель директора по научной работе, Научно-исследовательский институт пищевого концентратной промышленности и специальной пищевой технологии – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», 142718, Россия, поселок Измайлово, 22, тел.: +7 (495) 549-38-20, e-mail: sts_76@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8073-1238>

Information about the authors

Oliya F. Fazullina

Cand.Sci.(Eng.), Senior Researcher of the Department of Technology of Food Concentrates and Equipment, Scientific Research Institute of Food-Concentrate Industry and Special Food Technology – a branch Federal Research Centre of Nutrition and Biotechnology, 22, Izmailovo settlement, 142718, Russia, phone: +7 (495) 383-16-92, e-mail: olfazullina@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5963-3692>

Stanislav O. Smirnov

Cand.Sci.(Eng.), Deputy Director for Scientific Work, Scientific Research Institute of Food-Concentrate Industry and Special Food Technology – a branch Federal Research Centre of Nutrition and Biotechnology, 22, Izmailovo settlement, 142718, Russia, phone: +7 (495) 549-38-20, e-mail: sts_76@dk.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8073-1238>

О коррекции углеводного состава сырья для микробной трансформации консорциумами микроорганизмов

В. В. Кондратенко^{ORCID}, Н. Е. Посокина*^{ORCID}, О. Ю. Лялина^{ORCID},
А. Ю. Колоколова^{ORCID}, С. В. Глазков



Дата поступления в редакцию: 02.11.2020
Дата принятия в печать: 25.12.2020

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

*e-mail: Labtech45@yandex.ru



© В. В. Кондратенко, Н. Е. Посокина, О. Ю. Лялина, А. Ю. Колоколова, С. В. Глазков, 2020

Аннотация.

Введение. Использование консорциумов чистых культур молочнокислых микроорганизмов может стать хорошей альтернативой дикого (спонтанного) ферментирования капусты за счёт создания условий для синергетического взаимодействия видов микроорганизмов друг с другом. В этом случае процесс ферментирования становится управляемым путём корректирования углеводного состава субстрата. Цель исследования – разработка аналитического подхода к определению минимально необходимой степени изменения нативного углеводного состава субстрата для обеспечения синергизма молочнокислых микроорганизмов рода *Lactobacillus* видов *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum* и *Lactobacillus brevis* в парных консорциумах в процессе направленного ферментирования белокочанной капусты сорта «Слава».

Объекты и методы исследования. Процесс ферментирования проводили с использованием штаммов молочнокислых микроорганизмов *L. casei* ВКМ 536, *L. plantarum* ВКМ В-578, *L. brevis* ВКМ В-1309 и их парных консорциумов. Исходное растительное сырьё подвергали измельчению и удалению эпифитной микрофлоры для создания оптимальных условий для развития целевой молочнокислой микрофлоры.

Результаты и их обсуждение. Изучена динамика сбраживания углеводной составляющей белокочанной капусты штаммами молочнокислых микроорганизмов и их парными консорциумами в процессе направленного ферментирования. Разработаны математические модели, адекватно описывающие динамику сбраживания глюкозы и фруктозы в процессе ферментирования. Определены динамики типа взаимодействия молочнокислых микроорганизмов в парных консорциумах. Разработан подход к определению минимально необходимой степени изменения нативного углеводного состава субстрата для обеспечения синергизма молочнокислых микроорганизмов в парных консорциумах.

Выводы. Для всех трёх парных консорциумов молочнокислых микроорганизмов определено необходимое количество дополнительно вносимой углеводной составляющей. Установлено, что для квашения белокочанной капусты сорта «Слава» целесообразно использовать консорциум *L. brevis* + *L. plantarum* с добавлением к субстрату фруктозы в количестве не менее 3,65 г/100 г. Разработанный подход может быть использован при совершенствовании существующих и создании новых промышленных технологий производства ферментированной продукции из растительного сырья.

Ключевые слова. Ферментация, белокочанная капуста, молочнокислые микроорганизмы, консорциумы, модельная среда, сбраживание углеводов

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 её биополимерных комплексов для разработки технологий управляемого ферментирования и производства некрахмальных гидроколлоидов».

Для цитирования: О коррекции углеводного состава сырья для микробной трансформации консорциумами микроорганизмов / В. В. Кондратенко, Н. Е. Посокина, О. Ю. Лялина [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>.

Original article

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

Correction of the Carbohydrate Composition of Raw Materials for Microbial Transformation Based on Microbial Consortia

Vladimir V. Kondratenko^{ORCID}, Natalia E. Posokina*^{ORCID}, Ol'ga Yu. Lyalina^{ORCID},
Anastasiya Yu. Kolokolova^{ORCID}, Sergey V. Glazkov

Received: November 02, 2020

Accepted: December 25, 2020

*e-mail: Labtech45@yandex.ru



© V.V. Kondratenko, N.E. Posokina, O.Yu. Lyalina, A.Yu. Kolokolova, S.V. Glazkov, 2020

Abstract.

Introduction. Fermentative processing of plant raw materials is traditionally carried out using native (epiphytic) microflora, which is located on the surface and represented by lactic acid microorganisms. During this process, the carbohydrates in the raw material are metabolized into lactic acid. This process does not always result in optimal product quality as the raw material often lacks carbohydrates, the optimal conditions for the development of the target microflora are hard to achieve, the microflora might be inhibited by contaminants, etc. Lactic acid microbial consortia can act as a good alternative to spontaneous fermentation of cabbage as this method creates good conditions for the microbial synergistic interaction. Such fermentation process can be controlled by adjusting the carbohydrate composition of the substrate. The research objective was to develop an analytical approach to determine the minimum required degree of change in the native carbohydrate composition of substrate that would ensure the synergy of lactic acid microorganisms.

Study objects and methods. The fermentation process was performed using white cabbage of Slava variety and such strains of lactic acid microorganisms as *Lactobacillus casei* VCM 536, *Lactobacillus plantarum* VCM B-578, and *Lactobacillus brevis* VCM B-1309, as well as their paired consortia. The raw material was subjected to grinding, and the epiphytic microflora was removed to create optimal conditions for the development of the lactic acid microflora.

Results and discussion. The study made it possible to define the dynamics of carbohydrate fermentation in white cabbage by various strains of lactic bacteria and their paired consortia during processing. Mathematical models helped to describe the dynamics of glucose and fructose fermentation. The experiment also demonstrated the changes that occurred in the interaction within the paired consortia during fermentation. The paper introduces a new approach to determining the minimum required degree of change in the native carbohydrate composition required to ensure synergy of lactic acid microorganisms in paired consortia.

Conclusion. The research defined the necessary amounts of carbohydrate needed to shift the integral factor of mutual influence towards sustainable synergy for three paired consortia. Consortium *L. brevis* + *L. plantarum* + 3.65 g/100 g of fructose proved to be the optimal variant for industrial production of sauerkraut from white cabbage of Slava variety. The developed approach can improve the existing industrial technologies of fermentation and create new ones.

Keywords. Fermentation, white cabbage, lactic acid microorganisms, consortia, model medium, carbohydrate digestion

Funding. The work was performed on the premises of the Russian Research Institute of Canning Technology (VNIITeK)^{ROR} as part of research project No. 0585-2019-000913-C03 “Improving the biotechnological bases for plant tissue and its biopolymer complexes transformation in order to develop new technologies for controlled fermentation and production of non-starch hydrocolloids”.

For citation: 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>.

Введение

Капуста – один из самых распространённых культивируемых видов овощных растений. Площадь посадок данной культуры в России занимает около 30 % от всего объема площадей, занятых овощными культурами. При этом капуста традиционно является одним из главных овощей в структуре питания населения в России: на капустные культуры приходится практически 30 % всего потребления. Несомненным преимуществом данного вида овощей является тот факт, что его использование возможно как в свежем, так и в переработанном виде. Например, после замораживания или прохождения процесса ферментирования (квашения) [1–3].

В России распространение данной овощной культуры объясняется разнообразным химическим составом, обуславливающим её технологические, вкусовые, диетические и лечебные качества, возможностью выращивания в различных природно-

климатических зонах. В состав белокочанной капусты входят 2,5 % белка до 6–7 % сахаров, около 1,2 % минеральных веществ, незаменимые аминокислоты, такие как триптофан, метилметионин, лизин и тирозин. Содержание витамина С может достигать до 62 мг в 100 г свежего сырья [4]. Углеводы белокочанной капусты представлены глюкозой и фруктозой. В минеральном составе преобладает калий, благоприятно влияющий на водный и жировой обмен в организме.

Для ферментирования (квашения) используют белокочанную капусту поздних и среднепоздних сортов, содержащих максимальное количество сахаров (не менее 40 г/кг сырья). Основными признаками пригодности свежей белокочанной капусты для квашения являются: химический состав, плотность и масса кочанов, отсутствие интенсивного зеленого окрашивания у листьев и глубина вхождения кочерыги [3–6]. От качества исходного

сырья зависит качество готовой продукции. Одним из основных качественных показателей сырья является содержание сахаров, поскольку наличие достаточного количества нутриентов делает возможным комфортное «размножение» молочнокислых микроорганизмов. При этом в продукте происходит накопление органических кислот, которые в определённом количестве не только препятствуют развитию микроорганизмов порчи, но и вносят свою лепту в формирование органолептических показателей конечного продукта [3].

На поверхности капусты присутствует нативная (эпифитная) микрофлора, представленная молочнокислыми микроорганизмами. Под их воздействием содержащиеся в сырье простые углеводы метаболизируются в молочную кислоту [7–9]. Так традиционно производят ферментированную (квашеную) капусту. Однако данный процесс не всегда приводит к получению продукта желаемого качества. Причиной этого может быть недостаток углеводов в сырье, отсутствие оптимальных условий для развития целевой микрофлоры, а также присутствие ряда ингибирующих микрофлору контаминантов и др. Поэтому использование консорциумов чистых культур молочнокислых микроорганизмов может выступать в качестве альтернативы дикого (спонтанного) ферментирования за счёт создания условий для синергетического взаимодействия микроорганизмов друг с другом [10]. В этом случае процесс ферментирования становится управляемым путём корректирования углеводного состава субстрата.

Применение различных штаммов молочнокислых микроорганизмов позволяет достичь быстрого накопления молочной кислоты, снижения pH. Это ведет к ингибированию роста, развитию патогенной микрофлоры и к созданию оптимальных условий для протекания процесса [11–13].

Для комфортного размножения молочнокислых бактерий необходимо наличие в исходном сырье белков, небелковых азотистых соединений и минеральных солей: калиевых, кальциевых, магниевых, фосфорных и пр. Углеводы овощей используются молочнокислыми микроорганизмами в качестве источника энергии. Многие виды молочнокислых бактерий успешно развиваются в самых разных температурных условиях. Вплоть до 1–2 °C выше нуля [14, 15].

Применение чистых культур молочнокислых бактерий (или стартерных активаторов) и их консорциумов позволяет интенсифицировать процессы ферментирования при условии соблюдения оптимальных условий проведения процесса. Направленное использование биохимической активности микроорганизмов приводит к максимальному накоплению обладающей консервирующим действием молочной кислоты за

короткий временной промежуток. Это исключает возможность развития микроорганизмов порчи, а также позволяет минимизировать производственные потери, получая хороший вкус, аромат и текстуру, уменьшая время созревания ферментированной продукции [16–18].

Зная какие виды микроорганизмов участвуют в процессе, закономерности их развития, динамику взаимного влияния, а также влияние состава культуральной среды (главным образом её углеводной составляющей), можно управлять данным процессом, т. е. создавать технологии управляемого ферментирования растительного сырья. В итоге можно получить продукты с заданными свойствами с минимизацией потерь.

Целью исследования стала разработка аналитического подхода к определению минимально необходимой степени изменения нативного углеводного состава субстрата для обеспечения синергизма молочнокислых микроорганизмов рода *Lactobacillus* видов *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum* и *Lactobacillus brevis* в парных консорциумах в процессе направленного ферментирования белокочанной капусты сорта «Слава».

Объекты и методы исследования

Изготовление модельных сред. Модельная среда изготовлена на базе белокочанной капусты среднепозднего срока созревания сорта «Слава», выращенной на опытном поле ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК). Кочаны отбирали по размерам, соответствующим среднесортным, а именно диаметр – около 20 см, вес – 3 кг, текстура (консистенция) – плотная, трещиностойкая. Модельную среду готовили следующим образом: с кочанов удаляли сухие, вялые, повреждённые покровные листья, затем кочаны тщательно промывали под проточной водой, далее закладывали в устройство для разделения кочана и удаления кочерыжки «HGW» («Kronen GmbH»). Подготовленные сегменты отправляли в машину для шинкования капусты «SN 100» («Kronen GmbH»), где шинковали полосками толщиной 3–5 мм. Подготовленную капусту бланшировали в варочном котле с паровой рубашкой при непрерывном перемешивании в течение 3 мин при температуре 98–100 °C. Бланшированную капусту откидывали на сита из нержавеющей стали, охлаждали проточной водой в течение 1–2 мин. Затем капусту гомогенизировали на измельчителе растительного сырья «Robot coupe» R-6 (Франция). Для подготовки средней пробы измельчённую массу переносили в ёмкости из нержавеющей стали объёмом 20 л, вносили сухой NaCl (промышленного производства) в количестве 1,5 % (от массы капусты)

и тщательно перемешивали до полного растворения соли. Затем подготовленную массу расфасовывали в предварительно стерилизованные банки объёмом 100 мл, укупоривали крышками «Твист-Офф» и отправляли на стерилизацию с целью устранения посторонней микрофлоры. Стерилизацию проводили при 100 °С в лабораторном вертикальном автоклаве (ООО ПКФ «Промсервис», г. Пенза) в течение 20 мин при противодавлении 1 бар. После охлаждения подготовленные образцы хранили в темном месте (без доступа солнечного света) при температуре 20–23 °С и влажности воздуха не выше 75 %.

Подготовка к микробиологическим анализам. В качестве стартовых культур использовали микроорганизмы рода *Lactobacillus* видов *Lactobacillus plantarum* MT (получен из штамма ВКМ В-578), *Lactobacillus brevis* M8 (получен из штамма ВКМ В-1309), *Lactobacillus casei* 536/17 (получен из штамма ВКМ В 536) и их парные консорциумы. Исходные штаммы получены из официальной коллекции микроорганизмов ФГУП ГосНИИгенетика и идентифицированы в соответствии с Bergey's manual of determinative bacteriology¹. Процедура ведения культуры включала несколько этапов: восстановление лиофилизированной культуры, создание и хранение запасов рабочей культуры, восполнение запасов рабочей культуры, подготовка культуры для целевого использования, контроль видовых и паспортных свойств.

Приготовление питательных сред. Питательные среды (culture medium), использованные в исследованиях, представляли собой жидкие (liquid medium) и агаризованные питательные среды (solid medium) MRS, предоставленные фирмой HiMedia. Готовые питательные среды представляли собой мелкодисперсный порошок желтого цвета.

Получение MRS агара. Навеску готовой питательной среды *Lactobacillus* MRS Agar M641 взвешивали на весах фирмы «GH620S» (Германия) в количестве 67,15 г с точностью ± 0,01 г. Затем ее растворяли в 1000 см³ дистиллированной воды, подготовленной на дистилляторе WD-1008 (Корея), при постоянном перемешивании и кипячении на водяной бане «UT-4305» в течение 3 мин до полного растворения частиц. Полученные среды фильтровали через ватно-марлевый фильтр, разливали с применением серологической пипетки по 300 см³ в колбы и стерилизовали в автоклаве «MLS-3781L» (Япония) при 1,1 атм (121 °С) в течение 15 мин. Готовая среда представляла собой прозрачный раствор коричневого цвета. рН готовой питательной среды составляла 6,5 (определяли на рН-метре «Иномер Итан» (Россия)).

Скошенный агар MRS готовили также. Однако раствор разливали не в колбы, а в пробирки по 5 см³;

после стерилизации полученные пробирки наклоняли под углом 30° до полного застывания.

Для получения бульона MRS навеску готовой среды *Lactobacillus* MRS Broth M369 в количестве 67,15 г растворяли в 1000 см³ дистиллированной воды, дальнейшие действия проводили аналогично приготовлению среды MRS агар.

Процедура ведения культуры. Восстановление лиофилизированной культуры микроорганизмов (referece strain) и получение контрольного (эталонного) исходного штамма (referece stock). Оттянутый конец ампулы с лиофилизированной культурой нагревали над пламенем горелки. Влажным концом стерильного ватного тампона прикасались к нагретой части, в результате чего появлялись трещины. Конец ампулы накрывали хорошо отжатой трехслойной марлевой салфеткой, смоченной 70 %-ным этиловым спиртом, и обламывали пинцетом.

Вскрытую с помощью салфетки ампулу оставляли накрытой той же салфеткой в течение 1–2 мин. Затем ее аккуратно удаляли и вместе с остатками стекла погружали в 70 % раствор этилового спирта. С целью регидратации в ампулу вносили 0,5 мл питательного бульона. Затем содержимое ампулы перемешивали, переносили стерильным шприцем в пробирку с питательным бульоном и инкубировали в термостате «ТСО-1/20-СПУ» (Россия). Дальнейшее термостатирование и инкубацию проводили в данном термостате при 30 ± 1 °С в течение 72–120 ч. После инкубации полученную суспензию микроорганизмов высевали петлёй на скошенный агар MRS. Посевы инкубировали при температуре 30 °С в течение 72–120 ч.

Создание запасов рабочей культуры (working culture). Полученную рабочую культуру использовали для подготовки стартеров культур. Одну из пробирок с культурой, предназначенной для восполнения рабочих запасов, маркировали и хранили отдельно.

Восполнение запасов рабочей культуры и подготовку стартовой культуры производили аналогично методу получения рабочей культуры. Восполнение запасов рабочей культуры проводили в конце третьего, шестого и девятого месяца с момента вскрытия ампулы.

Инокуляция. Модельные системы представляли собой среды, инокулированные монокультурами или консорциумами изучаемых микроорганизмов. Получение модельной системы проводили следующим образом: одну из подготовленных стартовых культур (в случае консорциумов – сочетание двух стартовых культур в равных долях) вносили в заранее приготовленную модельную среду из расчёта 1 % инокулята от массы модельной среды.

Культивирование. В течение первых трех суток проводили активную фазу ферментирования в термостате при температуре +23–25 °С, затем

¹ Bergey, D. H. Bergey's manual of determinative bacteriology. Ninth edition / D. H. Bergey, J. G. Holt. – Baltimore : Williams and Wilkins, 1994. – 787 p.

образцы выдерживали весь период исследований (в течение 90 суток) при температуре от –1 до +4 °С.

Определения количества молочнокислых микроорганизмов. Определение скорости культивирования микроорганизмов проводили путем выборочного контроля количества микроорганизмов на 0, 1, 3, 10, 30, 60, 90 сутки культивирования. Отбор и микробиологический анализ образцов проводили в трёх повторностях по следующей схеме. Для каждого образца готовили 7 последовательных десятикратных разведений. Каждое из полученных разведений объёмом по 1 см³ высевали в две параллельные чашки Петри диаметром 90 мм и заливали заранее подготовленным агаром MRS, температура агара не превышала 45 °С. Посевы равномерно распределяли по поверхности чашки Петри и оставляли до полного застывания агара. Посевы инкубировали при температуре 30 °С в течение 72–120 ч.

Химические анализы. Исследование динамики изменения содержания сахаров проводили методом ВЭЖХ на жидкостном хроматографе с рефрактометрическим детектором Perkin Elmer Series 200, колонка – Agilent Zorbax Carbohydrate 4,6×250 мм, подвижная фаза – «ацетонитрил:вода» 75:25, скорость потока 1 см³/мин в изократическом режиме. Идентификацию глюкозы и фруктозы проводили по абсолютному времени удерживания в образцах через сравнение со временем удерживания в градуировочных растворах. Расчёт концентрации проводили методом внешнего стандарта.

Статистический анализ. Математическая обработка данных включала отсев статистических выбросов, нахождения функциональных зависимостей, адекватно описывающих поведение системы в процессе ферментирования. Сравнительный анализ зависимостей проводили в Microsoft Excel и SYSTAT TableCurve 2D. Все эксперименты проводили в трёх повторностях.

Результаты и их обсуждение

Анализ результатов экспериментальных данных

показывает, что в процессе ферментирования модельной среды имеет место некоторое монотонное нелинейное уменьшение массовых долей глюкозы и фруктозы во всех исследованных вариантах: при культивировании как монокультур, так и их парных консорциумов (табл. 1).

В отдельные периоды времени были отмечены единичные флуктуации значений исследуемых показателей относительно общей динамики. Однако, принимая во внимание величины погрешности эксперимента и неинтерпретируемость таких отклонений, есть основание считать их статистическими выбросами.

Для адекватного оперирования экспериментальными данными было получено математическое описание – модели – анализируемых динамик, представленное для всех вариантов с монокультурами функцией вида:

$$y_{js} = a_{js} \cdot (1 - \exp(-b_{js} \cdot x)) \quad (1)$$

где x – продолжительность ферментирования, сутки; a_{js} и b_{js} – расчётные коэффициенты для j -ой культуры.

Аналогично математическое описание (модели) динамики экспериментальных данных для вариантов с консорциумами представлено функцией вида:

$$y_{cs} = a_{cs} \cdot (1 - \exp(-b_{cs} \cdot x)) \quad (2)$$

где a_{cs} и b_{cs} – расчётные коэффициенты для консорциума.

Показатели и статистические характеристики моделей динамики массовых долей глюкозы и фруктозы в процессе ферментирования для всех исследованных вариантов представлены в таблице 2.

Преимущества использования консорциумов микроорганизмов вместо монокультур в процессе микробной трансформации целевого субстрата могут быть определены исключительно по наличию, выраженности и стабильности в течение всего периода обработки синергизма между видами

Таблица 1. Динамика массовых долей глюкозы и фруктозы в процессе ферментирования (г/100 г)

Table 1. Dynamics of mass fractions of glucose and fructose during fermentation (g/100 g)

Монокультура или консорциум		Продолжительность ферментирования, сутки							
		0	1	2	3	10	30	60	90
<i>L. casei</i>	глюкоза	2,26 ± 1,02	1,97 ± 0,38	1,45 ± 0,64	1,60 ± 1,14	1,87 ± 0,64	0,99 ± 0,64	1,80 ± 1,4	1,22 ± 0,89
	фруктоза	2,04 ± 1,02	1,43 ± 0,38	1,12 ± 0,64	0,64 ± 1,14	0,89 ± 0,64	0,34 ± 0,64	1,26 ± 1,4	0,45 ± 0,89
<i>L. brevis</i>	глюкоза	2,26 ± 1,02	2,03 ± 0,38	1,51 ± 0,64	1,82 ± 1,14	2,03 ± 0,64	1,41 ± 0,64	1,65 ± 1,4	1,10 ± 0,89
	фруктоза	2,04 ± 1,02	1,41 ± 0,38	1,08 ± 0,64	0,93 ± 1,14	1,10 ± 0,64	0,44 ± 0,64	1,09 ± 1,4	0,46 ± 0,89
<i>L. plantarum</i>	глюкоза	2,26 ± 1,02	1,96 ± 0,38	1,93 ± 0,64	1,79 ± 1,14	1,74 ± 0,64	1,26 ± 0,64	1,79 ± 1,4	0,97 ± 0,89
	фруктоза	2,04 ± 1,02	1,38 ± 0,38	1,39 ± 0,64	0,95 ± 1,14	0,99 ± 0,64	0,38 ± 0,64	1,15 ± 1,4	0,39 ± 0,89
<i>L. brevis</i> + <i>L. casei</i>	глюкоза	2,26 ± 1,02	1,85 ± 0,38	1,68 ± 0,64	1,57 ± 1,14	2,03 ± 0,64	1,40 ± 0,64	1,71 ± 1,4	1,57 ± 0,89
	фруктоза	2,04 ± 1,02	1,43 ± 0,38	1,24 ± 0,64	1,10 ± 1,14	1,35 ± 0,64	0,46 ± 0,64	0,87 ± 1,4	0,36 ± 0,89
<i>L. brevis</i> + <i>L. plantarum</i>	глюкоза	2,26 ± 1,02	1,90 ± 0,38	1,76 ± 0,64	1,65 ± 1,14	1,88 ± 0,64	1,37 ± 0,64	1,75 ± 1,4	2,77 ± 0,89
	фруктоза	2,04 ± 1,02	1,41 ± 0,38	1,32 ± 0,64	0,97 ± 1,14	1,15 ± 0,64	0,42 ± 0,64	0,93 ± 1,4	0,33 ± 0,89
<i>L. casei</i> + <i>L. plantarum</i>	глюкоза	2,26 ± 1,02	2,03 ± 0,38	1,67 ± 0,64	2,04 ± 1,14	1,91 ± 0,64	1,24 ± 0,64	1,56 ± 1,4	3,02 ± 0,89
	фруктоза	2,04 ± 1,02	1,45 ± 0,38	1,28 ± 0,64	1,07 ± 0,64	1,16 ± 0,64	0,39 ± 0,64	1,25 ± 1,4	0,35 ± 0,89

Таблица 2. Показатели и статистические характеристики моделей динамики массовых долей глюкозы и фруктозы в процессе ферментирования

Table 2. Indicators and statistical characteristics of dynamic models of mass fractions of glucose and fructose during fermentation

Монокультура или консорциум	Сахара	Коэффициенты	Значение	α для коэффициентов (по критерию Стьюдента)	α для модели (по критерию Фишера)	R^2
<i>L. casei</i>	фруктоза	a	1,6591	$\leq 0,00001$	$\leq 0,00010$	0,9834
		b	0,4807	$\leq 0,00115$		
	глюкоза	a	1,1490	$\leq 0,00037$	$\leq 0,00231$	
		b	0,3875	$\leq 0,01948$		
<i>L. brevis</i>	фруктоза	a	1,5815	$\leq 0,00000$	$\leq 0,00001$	0,9958
		b	0,4523	$\leq 0,00007$		
	глюкоза	a	1,0069	$\leq 0,00163$	$\leq 0,05820$	
		b	0,2013	$\leq 0,07363$		
<i>L. plantarum</i>	фруктоза	a	1,6516	$\leq 0,00005$	$\leq 0,00034$	0,9702
		b	0,3402	$\leq 0,00315$		
	глюкоза	a	1,1966	$\leq 0,00050$	$\leq 0,00204$	
		b	0,0832	$\leq 0,04878$		
<i>L. brevis + L. casei</i>	фруктоза	a	1,6205	$\leq 0,00002$	$\leq 0,00012$	0,9823
		b	0,3396	$\leq 0,00114$		
	глюкоза	a	0,8503	$\leq 0,00003$	$\leq 0,00008$	
		b	0,5949	$\leq 0,00058$		
<i>L. brevis + L. plantarum</i>	фруктоза	a	1,6608	$\leq 0,00002$	$\leq 0,00012$	0,9824
		b	0,3436	$\leq 0,00115$		
	глюкоза	a	0,8803	$\leq 0,00013$	$\leq 0,00034$	
		b	0,4329	$\leq 0,00182$		
<i>L. casei + L. plantarum</i>	фруктоза	a	1,6636	$\leq 0,00001$	$\leq 0,00004$	0,9892
		b	0,3210	$\leq 0,00047$		
	глюкоза	a	0,8648	$\leq 0,00356$	$\leq 0,01382$	
		b	0,4596	$\leq 0,08915$		

микроорганизмов, входящих в консорциум. Однако абсолютные величины массовых долей углеводов в тот или иной момент процесса являются интегральными (результатирующими) показателями, формируемыми предшествующим моменту ферментативным процессом. В этой связи наиболее адекватным показателем, позволяющим в дальнейшем определять тип взаимного влияния микроорганизмов в консорциуме, является динамика скорости сбраживания, отражающая «снимок» процесса в любой дискретный момент времени.

В соответствии с физическим смыслом искомого показателя, математическое описание скорости сбраживания представляют собой производные от (1) и (2):

$$y'_{js} = a_{js} \cdot b_{js} \cdot \exp(-b_{js} \cdot x) \quad (3)$$

$$y'_{cs} = a_{cs} \cdot b_{cs} \cdot \exp(-b_{cs} \cdot x) \quad (4)$$

Для получения полной картины условий функционирования микроорганизмов в составе консорциума необходимо определить удельную скорость сбраживания углеводов, приходящуюся на одну элементарную единицу учёта концентрации микроорганизмов в среде (колониобразующую единицу). Для этого на основе массива

экспериментальных данных по кинетике нарастания целевой микрофлоры в процессе ферментирования для всех вариантов исследований (монокультур и их парных консорциумов) были получены математические описания:

$$y_{jk} = \exp\left(\frac{a_{jk} + c_{jk} \cdot x + e_{jk} \cdot x^2}{1 + b_{jk} \cdot x + d_{jk} \cdot x^2}\right) \quad (5)$$

$$y_{ck} = \exp\left(\frac{a_{ck} + c_{ck} \cdot x + e_{ck} \cdot x^2}{1 + b_{ck} \cdot x + d_{ck} \cdot x^2}\right) \quad (6)$$

где x – продолжительность ферментирования сутки; a_{jk} , b_{jk} , c_{jk} , d_{jk} – расчётные коэффициенты для j -ой культуры; a_{ck} , b_{ck} , c_{ck} , d_{ck} – расчётные коэффициенты для консорциума.

Таким образом, математическое описание удельной скорости сбраживания углеводов в процессе ферментирования имеет вид:

– для j -го микроорганизма

$$v_{jud} = \frac{y'_{js}}{y_{jk}} = \frac{a_{js} \cdot b_{js} \cdot \exp(-b_{js} \cdot x)}{\exp\left(\frac{a_{jk} + c_{jk} \cdot x + e_{jk} \cdot x^2}{1 + b_{jk} \cdot x + d_{jk} \cdot x^2}\right)} \quad (7)$$

– для «усреднённого» микроорганизма консорциума

$$v_{cud} = \frac{y'_{cs}}{y_{ck}} = \frac{a_{cs} \cdot b_{cs} \cdot \exp(-b_{cs} \cdot x)}{\exp\left(\frac{a_{ck} + c_{ck} \cdot x + e_{ck} \cdot x^2}{1 + b_{ck} \cdot x + d_{ck} \cdot x^2}\right)} \quad (8)$$

Имеют место три вида взаимодействия микроорганизмов в консорциумах: синергизм, аддитивное взаимодействие и антагонизм. При синергизме результат взаимодействия микроорганизмов в консорциуме превосходит таковой, если бы микроорганизмы в консорциуме никак не влияли друг на друга. При аддитивном взаимодействии результативность консорциума равна простой сумме результативностей входящих в него монокультур. При антагонизме, вследствие взаимного угнетения микроорганизмов видов, входящих в консорциум, результативность последнего всегда хуже таковой для аддитивного взаимодействия.

Таким образом, для определения типа взаимодействия микроорганизмов в консорциумах в динамике процесса ферментирования необходимо определить аддитивную удельную скорость сбраживания углеводов на основании ранее полученных зависимостей:

$$v_{adud} = \frac{\sum_{j=1}^n v_{jud} \cdot y_{jk}}{\sum_{j=1}^n y_{jk}} = \frac{\sum_{j=1}^n y'_{js}}{\sum_{j=1}^n y_{jk}} = \frac{\sum_{j=1}^n a_{js} \cdot b_{js} \cdot \exp(-b_{js} \cdot x)}{\sum_{j=1}^n \exp\left(\frac{a_{jk} + c_{jk} \cdot x + e_{jk} \cdot x^2}{1 + b_{jk} \cdot x + d_{jk} \cdot x^2}\right)} \quad (9)$$

На основании математического описания зависимостей (8) и (9) получаем возможность определения типа взаимодействия культур молочнокислых микроорганизмов в консорциумах.

Искомый показатель – фактора взаимного влияния k – удобно представить в логарифмической форме:

$$k = \lg\left(\frac{v_{cud}}{v_{adud}}\right) \quad (10)$$

В этом случае положительные k значения будут соответствовать синергизму; отрицательные – антагонизму; близкие к нулю – аддитивному взаимодействию, т. е. сосуществованию без взаимного влияния.

Рассмотрим динамики активности каждого из исследованных консорциумов.

Консорциум L. casei + L. plantarum. На рисунке 1 представлены зависимости удельной скорости сбраживания глюкозы и фруктозы от продолжительности ферментирования для монокультур *L. casei* и *L. plantarum*, их парного консорциума и случая аддитивного взаимодействия (additive). Для удобства восприятия данных удельная скорость сбраживания представлена в виде десятичного логарифма.

Анализ полученных зависимостей показал, что в процессе сбраживания глюкозы консорциумом *L. casei + L. plantarum* основную роль играет *L. plantarum*. *L. casei* выступает в качестве ингибитора процесса и не даёт первой культуре раскрыть свой потенциал. Активная фаза сбраживания глюкозы длится 30 суток, затем наступает плавное затухание процесса.

В случае с фруктозой можно сделать подобный вывод. Но после активной фазы сбраживания, длящейся до 10–12 суток, процесс постепенно замедляется. При этом скорость сбраживания фруктозы значительно превышает скорость сбраживания глюкозы.

В силу существенности различия в интенсивности сбраживания глюкозы и фруктозы в рамках одного

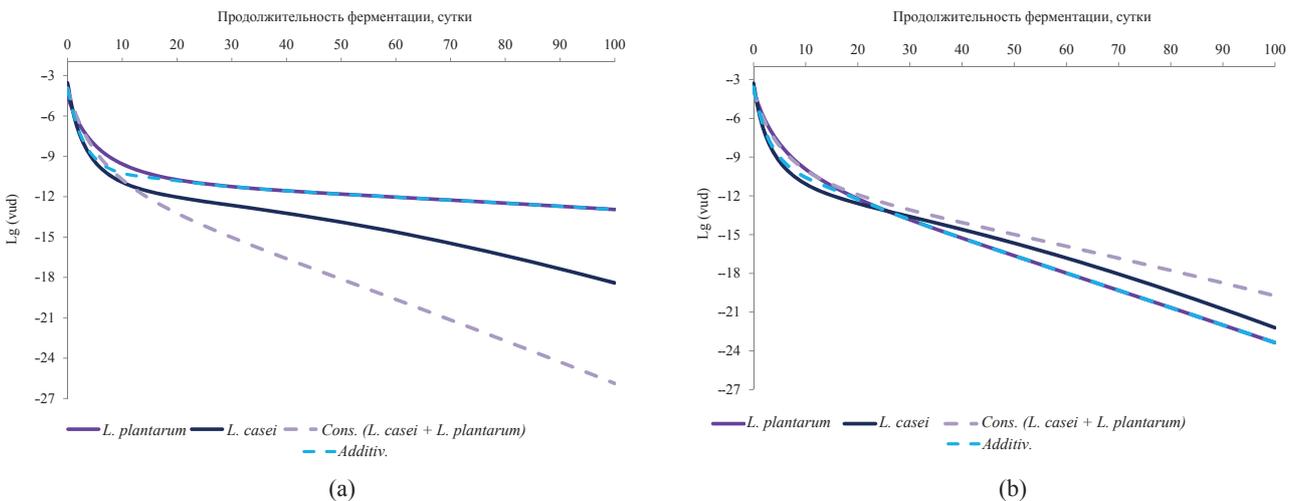


Рисунок 1. Влияние продолжительности ферментирования на скорость сбраживания глюкозы (а) и фруктозы (б) монокультурами *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum* и их консорциумом

Figure 1. Effect of fermentation time on the rate of glucose (a) and fructose (b) fermentation by monocultures of *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*, and their consortium

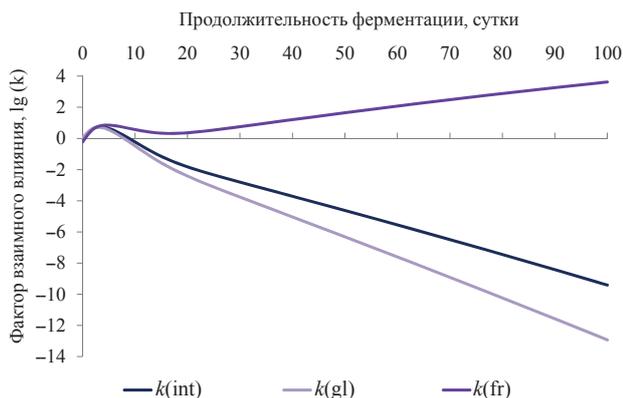


Рисунок 2. Динамика интегрального $k(int)$ и частных $k(gl)$ и $k(fr)$ факторов взаимного влияния микроорганизмов в консорциуме *Lactobacillus casei* + *Lactobacillus plantarum* в процессе сбраживания глюкозы и фруктозы

Figure 2. Dynamics of integral $k(int)$ and partial $k(gl)$ and $k(fr)$ factors of mutual influence of microorganisms in consortium *Lactobacillus casei* + *Lactobacillus plantarum* during glucose and fructose fermentation

и того же консорциума, наряду с оценкой частных факторов взаимного влияния микроорганизмов в консорциуме по сбраживанию глюкозы и фруктозы, целесообразно определить динамику и интегрального фактора взаимного влияния $k(int)$, рассчитанного как аддитивный вариант, учитывающий вклад каждого из частных факторов:

$$k(int) = \frac{k(fr) \cdot f_{fr}(\tau) + k(gl) \cdot f_{gl}(\tau)}{f_{fr}(\tau) + f_{gl}(\tau)} \quad (11)$$

где $k(fr)$ и $k(gl)$ – частные факторы взаимного влияния по сбраживанию фруктозы и глюкозы соответственно; $f_{fr}(\tau)$ и $f_{gl}(\tau)$ – математические описания динамики сбраживания фруктозы и глюкозы соответственно.

Зависимости интегрального и частных факторов взаимного влияния микроорганизмов в консорциуме *L. casei* + *L. plantarum* в процессе сбраживания глюкозы и фруктозы представлены на рисунке 2.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод об антагонистическом взаимодействии микроорганизмов в данном консорциуме по сбраживанию глюкозы, начиная с 8 суток. По фруктозе – синергическое взаимодействие с первых суток ферментирования в течение всего дальнейшего процесса. Несмотря на синергизм сбраживания фруктозы, динамика интегрального фактора взаимного влияния в течение всего процесса ферментирования показывает совокупное антагонистическое взаимодействие благодаря доминанте сбраживания глюкозы в общем процессе.

Факт устойчивого во времени синергического взаимодействия культур в консорциуме по одному из углеводов предполагает наличие потенциала смещения динамики интегрального фактора

взаимного влияния в сторону синергизма, увеличивая долю углевода, обуславливающего синергизм сбраживания. В данном случае фруктозы.

Если создать условия, при которых, сохраняя динамику частных факторов взаимного влияния, создаются условия, когда $k(int)$ в течение всего процесса ферментирования будет принимать значения, соответствующие синергизму взаимодействия (т. е., > 0), тогда справедливо:

$$\frac{k(fr) \cdot \omega_{fr}^* + k(gl) \cdot \omega_{gl}^*}{\omega_{fr}^* + \omega_{gl}^*} > 0 \quad (12)$$

где ω_{fr}^* и ω_{gl}^* – начальные массовые доли фруктозы и глюкозы в субстрате, г/100 г.

В этом случае, решая неравенство, находим требуемое граничное условие:

$$z = \frac{\omega_{fr}^*}{\omega_{gl}^*} > -\frac{k(gl)}{k(fr)} \quad (13)$$

где z – соотношение начальных массовых долей фруктозы и глюкозы в субстрате.

Тогда несложно рассчитать требуемое количество фруктозы $\omega_{fr(ad)}$, на которое необходимо скорректировать её начальную массовую долю в субстрате:

$$\omega_{fr(ad)} = z \cdot \omega_{gl} - \omega_{fr} \quad (14)$$

где ω_{fr} и ω_{gl} – начальные массовые доли фруктозы и глюкозы в субстрате, г/100 г.

В случае, когда синергизм отмечен для глюкозы, а антагонизм для фруктозы, расчёты остаются справедливыми. Но необходимо поменять в них углеводы местами. В случае, когда по обоим углеводам отмечен устойчивый антагонизм, подобное определение проводить не имеет смысла.

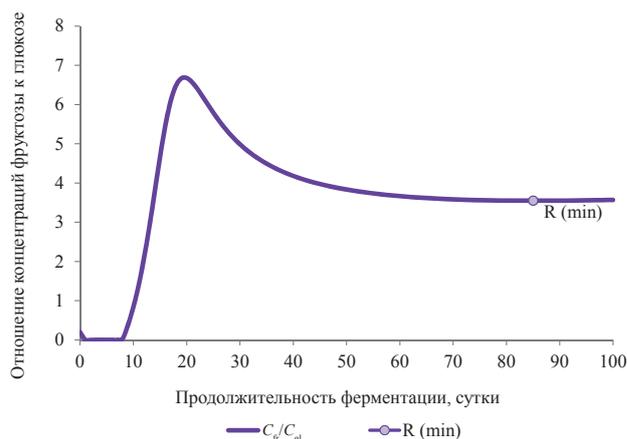


Рисунок 3. Динамика требуемого отношения концентраций фруктозы к глюкозе для смещения интегрального фактора взаимного влияния в консорциуме *Lactobacillus casei* + *Lactobacillus plantarum* в зону синергизма

Figure 3. Dynamics of the ratio of fructose vs. glucose required to shift the integral factor of mutual influence in consortium *Lactobacillus casei* + *Lactobacillus plantarum* into the synergistic zone

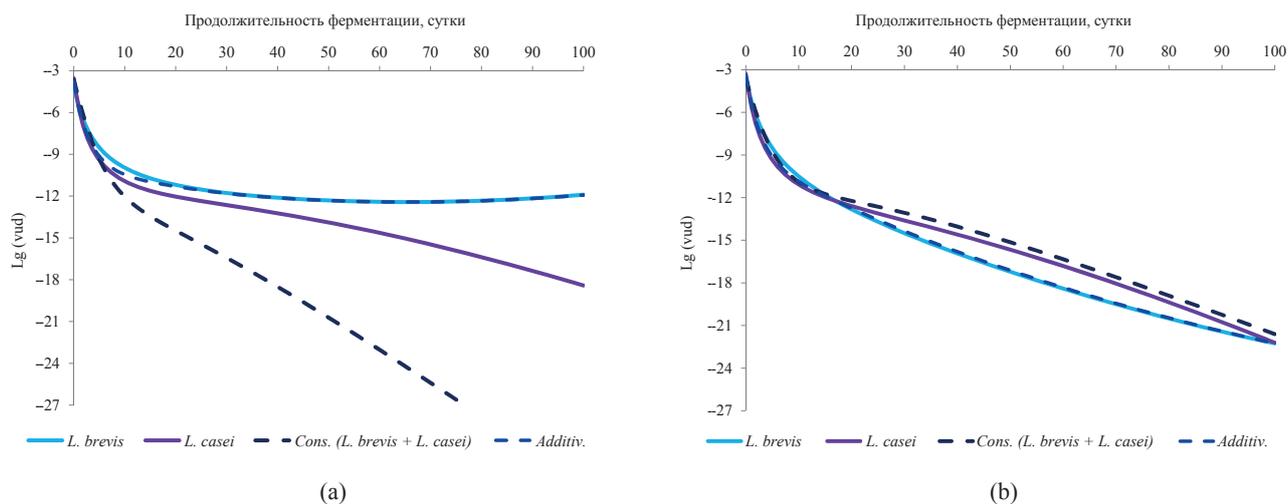


Рисунок 4. Влияние продолжительности ферментирования на скорость сбраживания глюкозы (а) и фруктозы (б) монокультурами *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus casei* и их консорциумом

Figure 4. Effect of fermentation time on the rate of glucose (a) and fructose (b) fermentation by monocultures of *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus casei*, and their consortium

Анализ динамики требуемой величины z в процессе ферментирования показал, что имеет место выраженная нелинейность (рис. 3).

В этом случае целесообразно определить её локальный минимум в интервале продолжительности ферментирования, соответствующем относительно устоявшемуся процессу R (min), и принять это значение за искомое ($z = R(\min)$).

При этом соответствующее R (min) значение продолжительности ферментирования в силу принятого постулата физического смысла не имеет.

В результате комплексного анализа результатов экспериментальных данных и моделирования установлено, что для обеспечения интегрального синергизма микроорганизмов в консорциуме в процессе ферментирования необходимо, чтобы начальное соотношение фруктозы и глюкозы в субстрате было не менее 3,546. Это соответствует требуемому увеличению массовой доли фруктозы в субстрате на 5,98 г/100 г.

Консорциум *L. brevis* + *L. casei*. На рисунке 4 представлены зависимости удельной скорости сбраживания глюкозы и фруктозы от продолжительности ферментирования для монокультур *L. brevis* и *L. casei*, их парного консорциума и случая аддитивного взаимодействия.

Оценивая полученные данные по сбраживанию глюкозы, можно сделать вывод, что в процессе сбраживания основную роль играет *L. brevis*. При этом *L. casei* оказывает ингибирующее влияние на *L. brevis*. Активная фаза сбраживания глюкозы длится 50 суток. Затем идёт плавное затухание процесса.

В случае с фруктозой можем сделать аналогичный вывод. Однако после активной фазы сбраживания, длящейся до 10–12 суток, процесс замедляется. При этом скорость сбраживания фруктозы значительно превышает скорость сбраживания глюкозы.

По характеру отношения удельной скорости сбраживания углеводов данным консорциумом к удельной скорости сбраживания, рассчитанной из учёта аддитивного взаимодействия отдельных участников консорциума друг с другом, определим характер взаимодействия *L. brevis* и *L. casei* при их совместном культивировании.

Зависимости факторов взаимного влияния от продолжительности ферментирования представлены на рисунке 5.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод об антагонистическом взаимодействии микроорганизмов в консорциуме в отношении сбраживания глюкозы, начиная с 5 суток процесса.

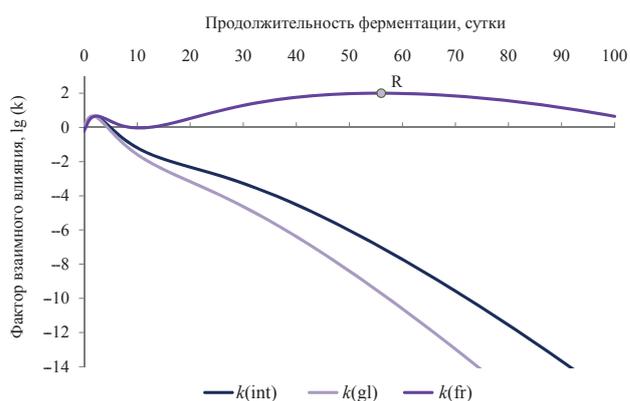


Рисунок 5. Динамика интегрального $k(\text{int})$ и частных $k(\text{gl})$ и $k(\text{fr})$ факторов взаимного влияния микроорганизмов в консорциуме *Lactobacillus brevis* + *Lactobacillus casei* в процессе сбраживания глюкозы и фруктозы

Figure 5. Dynamics of the integral $k(\text{int})$ and partial $k(\text{gl})$ and $k(\text{fr})$ factors of the mutual influence of microorganisms in consortium *Lactobacillus brevis* + *Lactobacillus casei* during glucose and fructose fermentation

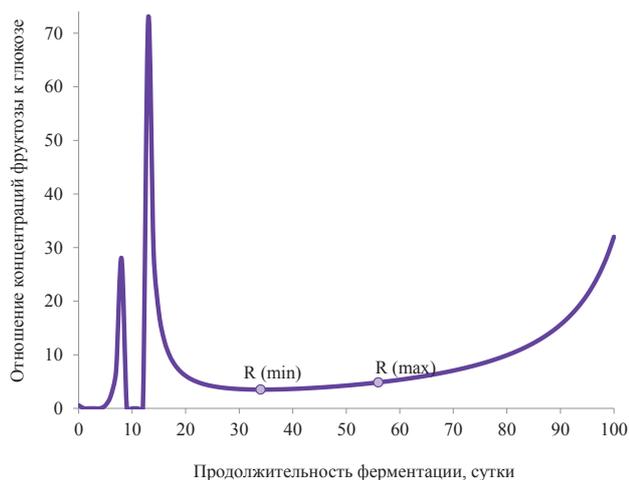


Рисунок 6. Динамика требуемого отношения концентраций фруктозы к глюкозе для смещения интегрального фактора взаимного влияния в консорциуме *Lactobacillus brevis* + *Lactobacillus casei* в зону синергизма

Figure 6. Dynamics of the ratio of fructose vs. glucose required to shift the integral factor of mutual influence in consortium *Lactobacillus brevis* + *Lactobacillus casei* into the synergistic zone

В отношении сбраживания фруктозы устойчивый синергизм имеет место, начиная с 13–14 суток. Так же как и в случае с консорциумом *L. casei* + *L. plantarum*, в течение всего процесса ферментирования имеет место совокупное антагонистическое взаимодействие монокультур в консорциуме. Это происходит благодаря доминанте сбраживания глюкозы в общем процессе.

Анализ динамики требуемой величины z в процессе ферментирования показал выраженную её нелинейность (рис. 6). В этом случае в качестве области относительно устоявшегося процесса условно

можно принять интервал периода ферментирования от 20 до 80 суток, когда кривая динамики имеет пологий вид. Тогда локальный минимум данного интервала – R (min) – соответствует значению 3,5. Для обеспечения устойчивого синергизма по интегральному фактору взаимного влияния начальная массовая доля фруктозы в субстрате должна быть минимум в 3,5 раза больше, чем начальная массовая доза глюкозы. При этом гарантированный синергизм будет возможен исключительно на том интервале продолжительности ферментирования, которому соответствует синергизм частного фактора взаимного влияния по сбраживанию фруктозы, т. е. с 13–14 суток от начала ферментирования.

Таким образом, для обеспечения интегрального синергизма микроорганизмов в консорциуме в процессе ферментирования необходимо увеличение массовой доли фруктозы в субстрате на 5,87 г/100 г.

Консорциум *L. brevis* + *L. plantarum*. На рисунке 7 представлены зависимости удельной скорости сбраживания глюкозы и фруктозы от продолжительности ферментирования для монокультур *L. brevis* и *L. plantarum*, их парного консорциума и случая аддитивного взаимодействия.

Оценивая полученные данные по сбраживанию глюкозы, можно сделать вывод, что в процессе сбраживания основную роль играет *L. plantarum*. При этом *L. brevis* оказывает ингибирующее влияние на *L. plantarum* и не даёт *L. plantarum* раскрыть свой потенциал. Активная фаза сбраживания глюкозы длится 40–50 суток. Затем идёт плавное затухание процесса.

В случае с фруктозой можем сделать подобный вывод. Но после активной фазы сбраживания, длящейся до 10–12 суток, процесс постепенно замедляется. При этом скорость сбраживания

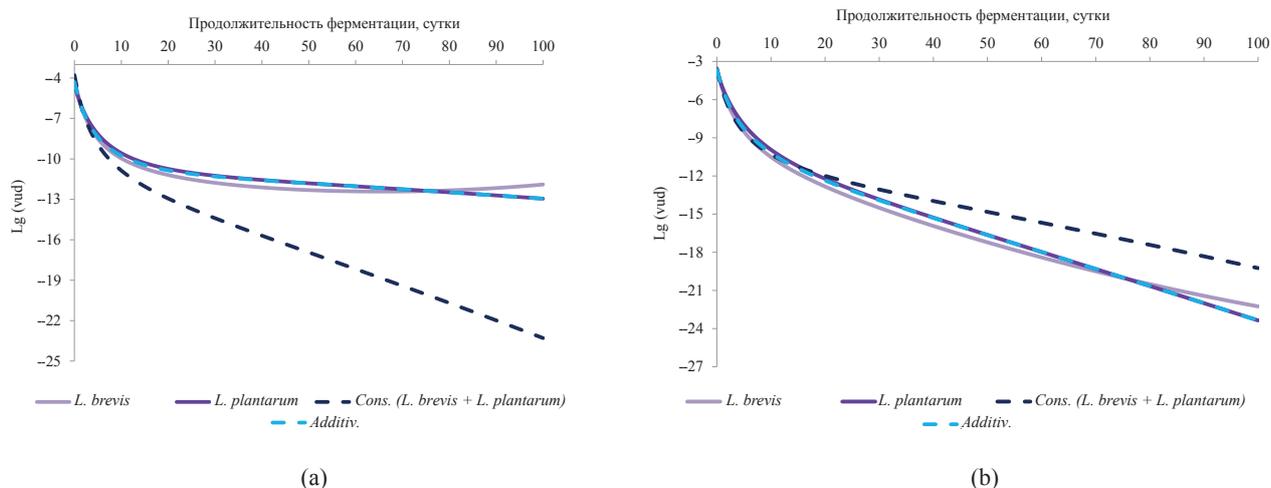


Рисунок 7. Влияние продолжительности ферментирования на скорость сбраживания глюкозы (а) и фруктозы (б) монокультурами *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus plantarum* и их консорциумом

Figure 7. Effect of fermentation time on the rate of glucose (a) and fructose (b) fermentation by monocultures of *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus plantarum*, and their consortium

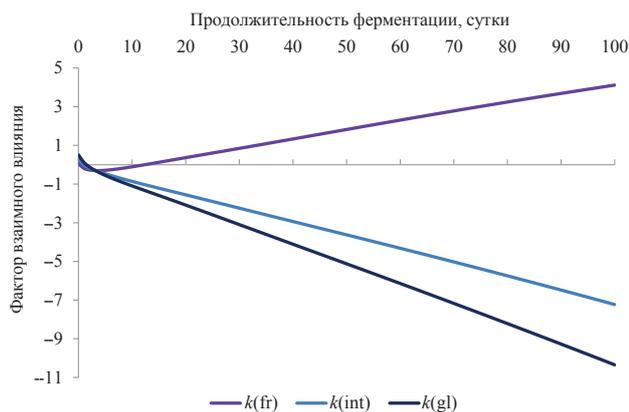


Рисунок 8. Динамика интегрального $k(int)$ и частных $k(gl)$ и $k(fr)$ факторов взаимного влияния микроорганизмов в консорциуме *Lactobacillus brevis* + *Lactobacillus plantarum* в процессе сбраживания глюкозы и фруктозы

Figur 8. Dynamics of integral $k(int)$ and partial $k(gl)$ and $k(fr)$ factors of the mutual influence of microorganisms in consortium *Lactobacillus brevis* + *Lactobacillus plantarum* during glucose and fructose fermentation

глюкозы значительно превышает скорость сбраживания фруктозы.

По характеру отношения удельной скорости сбраживания углеводов консорциумов к удельной скорости сбраживания, рассчитанной из учёта аддитивного взаимодействия отдельных участников консорциума друг с другом, определим характер взаимодействия *L. brevis* и *L. plantarum* при совместном культивировании.

Зависимости факторов взаимного влияния от продолжительности ферментирования представлены на рисунке 8.

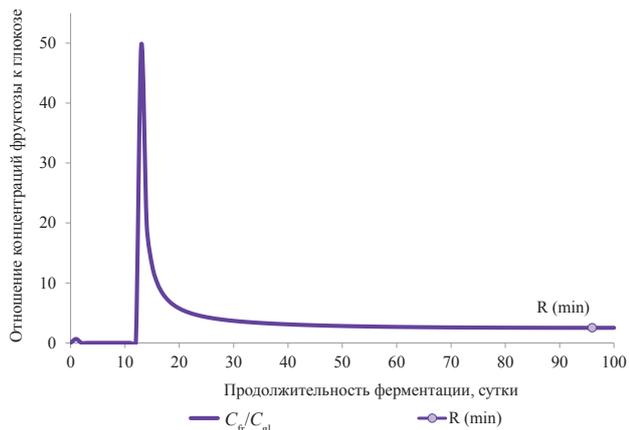


Рисунок 9. Динамика требуемого отношения концентраций фруктозы к глюкозе для смещения интегрального фактора взаимного влияния в консорциуме *Lactobacillus brevis* + *Lactobacillus plantarum* в зону синергизма

Figure 9. Dynamics of the ratio of fructose vs. glucose required to shift the integral factor of mutual influence in consortium *Lactobacillus brevis* + *Lactobacillus plantarum* into the synergistic zone

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод об антагонистическом взаимодействии в отношении сбраживания глюкозы, начиная со 2 суток, а по фруктозе – о выраженном синергизме с 13 суток ферментирования. При этом в течение всего процесса ферментирования имеет место совокупное антагонистическое взаимодействие монокультур. Это происходит благодаря доминанте сбраживания глюкозы в общем процессе.

Анализ динамики требуемой величины z в процессе ферментирования показал её нелинейность (рис. 9). Начиная с 20 суток ферментирования, исследуемая динамика переходит в очень пологую область относительно устоявшегося процесса с локальным минимумом $R (min)$, соответствующим значению 2,515. Для обеспечения устойчивого синергизма по интегральному фактору взаимного влияния начальная массовая доля фруктозы в субстрате должна быть в 2,515 раза больше, чем начальная массовая доза глюкозы. При этом гарантированный синергизм будет возможен исключительно на интервале продолжительности ферментирования, которому соответствует синергизм частного фактора взаимного влияния по сбраживанию фруктозы, т. е. с 13 суток от начала ферментирования.

Для обеспечения интегрального синергизма микроорганизмов в консорциуме в процессе ферментирования необходимо увеличение массовой доли фруктозы в субстрате на 3,65 г/100 г.

Таким образом, следствием совокупного анализа результатов проведённых исследований является наиболее оптимальным для проведения процесса микробной трансформации субстрата на основе белокачанной капусты сорта «Слава» консорциум молочнокислых микроорганизмов *L. brevis* + *L. plantarum*. Для активации его синергического потенциала необходимо скорректировать углеводный состав субстрата добавлением фруктозы в количестве 3,65 г/100 г.

Представленный подход к определению необходимой степени изменения углеводного состава субстрата для обеспечения синергизма молочнокислых микроорганизмов в парных консорциумах в процессе ферментирования растительного сырья позволяет получать однозначные заключения о приемлемости того или иного исследуемого консорциума и необходимой степени коррекции углеводного состава.

Выводы

По результатам исследований получены экспериментальные данные по интенсивности сбраживания глюкозы и фруктозы в процессе ферментирования монокультурами молочнокислых микроорганизмов и их парными консорциумами. Впервые исследования поставлены на модельных средах.

Был разработан аналитический подход к определению необходимой степени изменения углеводного состава субстрата для обеспечения синергизма молочнокислых микроорганизмов в парных консорциумах в процессе ферментирования растительного сырья. Данный подход может быть использован при совершенствовании существующих и создании новых промышленных технологий производства ферментированной продукции из растительного сырья.

В процессе исследований были выявлены неоднозначности: наличие фруктозы приводит к синергическому типу взаимодействия молочнокислых микроорганизмов в парных консорциумах, а глюкозы – к антагонистическому. Поэтому необходимо создать условия для смещения интегрального вида взаимодействия в сторону синергизма. Для этого имеет смысл дополнительно вносить фруктозу в процессе ферментирования.

В случае консорциума *L. casei* + *L. plantarum* в процессе ферментирования основную роль играет *L. plantarum*, а *L. casei* является ингибитором процесса. В случае консорциума *L. brevis* + *L. casei* основную роль играет *L. brevis*, тогда как *L. casei* выступает в качестве ингибитора процесса ферментирования. В случае консорциума *L. brevis* + *L. plantarum* основную роль играет *L. plantarum*, а *L. brevis* ингибирует процесс ферментирования.

Для любого из трёх исследованных парных консорциумов, в сочетании с дополнительно вносимой фруктозой, можно достичь синергизма. Этот факт имеет большое значение, т. к. не ограничивает производителя в выборе штаммов молочнокислых микроорганизмов для консорциумов, равно как и сортов белокочанной капусты по содержанию глюкозы и фруктозы. Тем не менее, для квашения белокочанной капусты сорта «Слава» наиболее целесообразно использовать консорциум *L. brevis* + *L. plantarum* с добавлением к субстрату фруктозы в количестве не менее 3,65 г/100 г.

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. Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71385784/>. – Дата обращения: 02.10.2020.
2. Guizani, N. Fermentation / N. Guizani, A. Mothershaw // Handbook of food science, technology and engineering. Volume 2 / Y. H. Hui, J. D. Culbertson. – Boca Raton : CRC Press, 2006. – P. 63.
3. Синха, Н. К. Настольная книга производителя и переработчика плодоовощной продукции / Н. К. Синха. – СПб. : Профессия, 2014. – 896 с.
4. Белокурова, Е. С. Биотехнология продуктов растительного происхождения / Е. С. Белокурова, О. Б. Иванченко. – СПб. : Лань, 2019. – 232 с.
5. Saravacos, G. Design of food processes and food processing plants / G. Saravacos, A. E. Kostaropoulos // Handbook of food processing equipment / G. Saravacos, A. E. Kostaropoulos. – Cham : Springer, 2016. – P. 1–50. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25020-5_1.
6. Научно-обоснованные подходы к процессу ферментации овощей и преимущества использования бактериальных заквасочных культур / Н. Е. Посокина, О. Ю. Лялина, А. И. Захарова [и др.] // Овощи России. – 2018. – Т. 43, № 5. – С. 77–80. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-5-77-80>.
7. Caplice, E. Food fermentations: role of microorganisms in food production and preservation / E. Caplice, G. F. Fitzgerald // International Journal of Food Microbiology. – 1999. – Vol. 50, № 1–2. – P. 131–149. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(99\)00082-3](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(99)00082-3).
8. Bhalla, T. C. Yeasts and traditional fermented foods and beverages / T. C. Bhalla, Savitri // Yeast diversity in human welfare / T. Satyanarayana, G. Kunze. – Singapore : Springer, 2017. – P. 53–82. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2621-8_3.
9. Paramithiotis, S. Lactic acid fermentation of fruits and vegetables / S. Paramithiotis. – Boca Raton : CRC Press, 2017. – 312 p. <https://doi.org/10.1201/9781315370378>.
10. Guizani, N. Chapter 9. Fermentation as a method for food preservation / N. Guizani, A. Mothershaw // Handbook of food preservation / M. S. Rahman. – Boca Raton : CRC Press, 2007. <https://doi.org/10.1201/9781420017373>.
11. Detection of bacteriocins produced by *Lactobacillus plantarum* strains isolated from different foods / A. Atrih, N. Rekhif, M. Michel [et al.] // Microbios. – 1993. – Vol. 75, № 303. – P. 117–123.

12. Harris, L. J. Characterization of two nisin-producing *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* strains isolated from a commercial sauerkraut fermentation / L. J. Harris, H. P. Fleming, T. R. Klaenhammer // Applied and Environmental Microbiology. – 1992. – Vol. 58, № 5. – P. 1477–1483. <https://doi.org/10.1128/aem.58.5.1477-1483.1992>.
13. Hutkins, R. W. Microbiology and technology of fermented foods / R. W. Hutkins. – Wiley-Blackwell, 2006. – 473 p.
14. McFeeters, R. F. Fermentation microorganisms and flavor changes in fermented foods / R. F. McFeeters // Journal of Food Science. – 2004. – Vol. 69, № 1. – P. FMS35–FMS37.
15. Salminen, S. Lactic acid bacteria: microbiological and functional aspects. 3rd edition / S. Salminen, A. von Wright, A. Ouwehand. – Boca Raton : CRC Press, 2004. – 656 p. <https://doi.org/10.1201/9780824752033>.
16. The continuing story of class IIa bacteriocins / D. Drider, G. Fimland, Y. Hechard [et al.] // Microbiology and Molecular Biology Reviews. – 2006. – Vol. 70, № 2. – P. 564–582. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00016-05>.
17. Leroy, F. Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry / F. Leroy, L. De Vuyst // Trends in Food Science and Technology. – 2004. – Vol. 15, № 2. – P. 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.004>.
18. Gokulan, K. Metabolic pathways. Production of secondary metabolites of bacteria / K. Gokulan, S. Khare, C. Cerniglia // Encyclopedia of food microbiology. Second Edition / C. A. Batt, M. L. Tortorello. – Academic Press, 2014. – P. 561–569. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00203-2>.

References

1. Rekomendatsii po ratsional'nyim normam potrebleniya pishchevykh produktov, otvechayushchikh sovremennym trebovaniyam zdorovogo pitaniya [Recommended rational norms of food consumption that meet modern requirements for a healthy diet] [Internet]. [cited 2020 Oct 02]. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71385784/>.
2. Guizani N, Mothershaw A. Fermentation. In: Hui YH, Culbertson JD, editors. Handbook of food science, technology and engineering. Volume 2. Boca Raton: CRC Press; 2006. pp. 63.
3. Sinkha NK. Nastol'naya kniga proizvoditelya i pererabotchika plodoovoshchnoy produktsii [Handbook of the producer and processor of fruit and vegetable products]. St. Petersburg: Professiya; 2014. 896 p. (In Russ.).
4. Belokurova ES, Ivanchenko OB. Biotekhnologiya produktov rastitel'nogo proiskhozhdeniya [Biotechnology of plant products]. St. Petersburg: Lan'; 2019. 232 p. (In Russ.).
5. Saravacos G, Kostaropoulos AE. Design of food processes and food processing plants. In: Saravacos G, Kostaropoulos AE, editors. Handbook of food processing equipment. Cham: Springer; 2016. pp. 1–50. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25020-5_1.
6. Posokina NE, Lyalina OYu, Zakharova AI, Shishlova ES, Tereshonok VI. Scientifically-based approaches to the process vegetable fermentation and advantages use of bacterial starter cultures. Vegetable Crops of Russia. 2018;43(5):77–80. (In Russ.). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-5-77-80>.
7. Caplice E, Fitzgerald GF. Food fermentations: Role of microorganisms in food production and preservation. International Journal of Food Microbiology. 1999;50(1–2):131–149. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(99\)00082-3](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(99)00082-3).
8. Bhalla TC, Savitri. Yeasts and traditional fermented foods and beverages. In: Satyanarayana T, Kunze G, editors. Yeast diversity in human welfare. Singapore: Springer; 2017. pp. 53–82. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2621-8_3.
9. Paramithiotis S. Lactic acid fermentation of fruits and vegetables. Boca Raton: CRC Press; 2017. 312 p. <https://doi.org/10.1201/9781315370378>.
10. Guizani N, Mothershaw A. Chapter 9. Fermentation as a method for food preservation. In: Rahman MS, editor. Handbook of food preservation. Boca Raton: CRC Press; 2007. <https://doi.org/10.1201/9781420017373>.
11. Atrih A, Rekhif N, Michel M, Lefebvre G. Detection of bacteriocins produced by *Lactobacillus plantarum* strains isolated from different foods. Microbios. 1993;75(303):117–123.
12. Harris LJ, Fleming HP, Klaenhammer TR. Characterization of two nisin-producing *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* strains isolated from a commercial sauerkraut fermentation. Applied and Environmental Microbiology. 1992;58(5):1477–1483. <https://doi.org/10.1128/aem.58.5.1477-1483.1992>.
13. Hutkins RW. Microbiology and technology of fermented foods. Wiley-Blackwell; 2006. 473 p.
14. McFeeters RF. Fermentation microorganisms and flavor changes in fermented foods. Journal of Food Science. 2004;69(1):FMS35–FMS37.
15. Salminen S, von Wright A, Ouwehand A. Lactic acid bacteria: microbiological and functional aspects. 3rd edition. Boca Raton: CRC Press; 2004. 656 p. <https://doi.org/10.1201/9780824752033>.
16. Drider D, Fimland G, Hechard Y, McMullen LM, Prévost H. The continuing story of class IIa bacteriocins. Microbiology and Molecular Biology Reviews. 2006;70(2):564–582. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00016-05>.
17. Leroy F, De Vuyst L. Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry. Trends in Food Science and Technology. 2004;15(2):67–78. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.004>.
18. Gokulan K, Khare S, Cerniglia C. Metabolic pathways. Production of secondary metabolites of bacteria. In: Batt CA, Tortorello ML, editors. Encyclopedia of food microbiology. Second Edition. Academic Press; 2014. pp. 561–569. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00203-2>.

Сведения об авторах

Кондратенко Владимир Владимирович

канд. техн. наук, доцент, заместитель директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования, 142703, Россия, г. Видное, ул. Школьная, 78, e-mail: nauka@vniitek.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-0913-5644>

Посокина Наталья Евгеньевна

канд. техн. наук, заведующая лабораторией технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования, 142703, Россия, г. Видное, ул. Школьная, 78, e-mail: Labtech45@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-7857-6785>

Лялина Ольга Юрьевна

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии консервирования, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования, 142703, Россия, г. Видное, ул. Школьная, 78, e-mail: olgalyalina@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-6401-3319>

Колоколова Анастасия Юрьевна

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории качества и безопасности пищевой продукции, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования, 142703, Россия, г. Видное, ул. Школьная, 78, e-mail: aykolokolova@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9816-1720>

Глазков Сергей Владимирович

ведущий научный сотрудник лаборатории качества и безопасности пищевой продукции, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования, 142703, Россия, г. Видное, ул. Школьная, 78, e-mail: s.glazkov@outlook.com
 <https://orcid.org/0000-0002-3457-6118>

Information about the authors

Vladimir V. Kondratenko

Cand.Sci.(Eng.), Associated Professor, Deputy Director for Science, Russian Research Institute of Canning Technology, 78, Shkol'naya Str., Vidnoe, 142703, Russia, e-mail: nauka@vniitek.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-0913-5644>

Natalia E. Posokina

Cand.Sci.(Eng.), Head of the Laboratory of Food Canning Technology, Russian Research Institute of Canning Technology, 78, Shkol'naya Str., Vidnoe, 142703, Russia, e-mail: Labtech45@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-7857-6785>

Ol'ga Yu. Lyalina

Cand.Sci.(Eng.), Leading Researcher of the Laboratory of Food Canning Technology, Russian Research Institute of Canning Technology, 78, Shkol'naya Str., Vidnoe, 142703, Russia, e-mail: olgalyalina@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-6401-3319>

Anastasiya Yu. Kolokolova

Cand.Sci.(Eng.), Leading Researcher of the Laboratory of Quality and Safety of Food Products, Russian Research Institute of Canning Technology, 78, Shkol'naya Str., Vidnoe, 142703, Russia, e-mail: aykolokolova@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9816-1720>

Sergey V. Glazkov

Leading Researcher of the Laboratory of Quality and Safety of Food Products, Russian Research Institute of Canning Technology, 78, Shkol'naya Str., Vidnoe, 142703, Russia, e-mail: s.glazkov@outlook.com
 <https://orcid.org/0000-0002-3457-6118>

Выделение психрофильных микроорганизмов из природных источников Кемеровской области и изучение их антимикробных свойств

Л. С. Дышлюк¹, О. О. Бабич¹, Л. А. Остроумов¹, Сяоцзе Ван²,
С. Ю. Носкова¹, С. А. Сухих^{1,*}



¹ Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия

Дата поступления в редакцию: 08.11.2020
Дата принятия в печать: 25.12.2020

² Цицикарский университет, Цицикар, Китай

*e-mail: stas-asp@mail.ru



© Л. С. Дышлюк, О. О. Бабич, Л. А. Остроумов, Сяоцзе Ван, С. Ю. Носкова, С. А. Сухих, 2020

Аннотация.

Введение. В настоящее время экстремальные психрофилы мало изучены. Однако они представляют интерес для создания биопрепаратов для производства лекарств и повышения сроков хранения пищевых продуктов. Проблема исследования свойств психрофильных микроорганизмов является актуальной. Целью работы является выделение в экстремальных условиях низких температур пещер Горной Шории и Салаира (Кемеровская область) новых психрофильных микроорганизмов и изучение их антимикробных свойств.

Объекты и методы исследования. Психрофильные микроорганизмы, выделенные в пещерах Кемеровской области. Образцы помещали в стерильную крафтовую бумагу. Устойчивость к антибиотикам определялась областью, в которой диск с антибиотиком подавлял рост изолята. Для этого выделенную суспензию клеток инокулировали сплошным газоном в чашке Петри со средой на основе агар, а диски с антибиотиками помещали на поверхность среды. Инкубировали в термостате при 28 °С в течение 24 ч.

Результаты и их обсуждение. Из микробных сообществ пещер Гавриловская и Азаская выделено 7 изолятов, различных по морфологическим признакам. Установлено, что изоляты 1, 4 и 5 обладают выраженными супрессивными свойствами по отношению ко всем тест-культурам патогенов при температуре 2 ± 4 °С. Изоляты 1, 4 и 5 устойчивы к различным антибиотикам. Изолят 1 проявляет высокую устойчивость (21–26) к антибиотикам неомицину и новограму. Среднюю устойчивость (17–22) – к цепаину, канамицину, левомицитину, карбенициллину и стрептомицину. Низкую устойчивость (2–8) – к антибиотикам бензилпенициллину и клотримазолу. Изолят 1 не проявляет антибиотикоустойчивость к ампициллину, гентамицину и тетрациклину. Изолят 4 проявляет высокую устойчивость (22–27) к новограму. Среднюю устойчивость (10–22) – к тетрациклину, клотримазолу, неомицину, цепаину, канамицину, левомицитину и мономицину. Низкую устойчивость (2–8) – к антибиотикам ампициллину, бензилпенициллину, стрептомицину и гентамицину. Изолят 4 не проявляет антибиотикоустойчивость к карбенициллину и полимиксину. Изолят 5 высоко устойчив (27–26) к антибиотикам цепаину, бензилпенициллину, левомицитину и новограму. Средне устойчив (12–22) к клотримазолу, стрептомицину, неомицину, гентамицину, полимиксину, карбенициллину и мономицину. Изолят 5 не устойчив к ампициллину, тетрациклину и канамицину.

Выводы. Психрофилы могут выступать в роли микроорганизмов, на основе которых будет создаваться новые биопрепараты, подавляющие развитие заболеваний у растений. Использование психрофилов в процессе выращивания и хранения продукции сельского хозяйства является перспективным и актуальным научным направлением.

Ключевые слова. Психрофильные микроорганизмы, изоляты, бактериоцины, антимикробные свойства

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) (№ 20-34-70004\19 от 21.11.2019 г).

Для цитирования: Выделение психрофильных микроорганизмов из природных источников Кемеровской области и изучение их антимикробных свойств / Л. С. Дышлюк, О. О. Бабич, Л. А. Остроумов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 763–773. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-763-773>.

Original article

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

Psychrophilic Microorganisms in Natural Sources of the Kemerovo Region: Isolation and Antimicrobial Properties

Lyubov S. Dyshlyuk¹, Olga O. Babich¹, Lev A. Ostroumov¹, Xiaojie Wang²,
Svetlana Yu. Noskova¹, Stanislav A. Sukhikh^{1,*}



Abstract.

Introduction. Extreme psychrophiles still remain largely understudied. However, they can serve as biological components in drug production, as well as increase the shelf life of food products in food industry. Therefore, the properties of psychrophilic microorganisms are a relevant study object. The present research objective was to isolate new psychrophilic microorganisms in extreme low-temperature conditions of the caves of Gornaya Shoria and Salair (Kemerovo region) and study their antimicrobial properties.

Study objects and methods. The research featured psychrophilic microorganisms isolated in the caves of the Kemerovo region. The sampling was performed in triplicate. The samples were placed in sterile paper. Antibiotic resistance was defined according to the area where the antibiotic plate suppressed bacterial growth. The cell suspension was placed in a Petri dish with an agar-based medium. The discs with antibiotics were put on the surface of the medium and incubated in a thermostat at 28°C for 24 h in order to describe the growth of the isolates.

Results and discussion. The microbial communities of the Gavrilovskaya and Azasskaya caves produced seven isolates with different morphological characteristics. Isolates 1, 4, and 5 had pronounced suppressive properties at $2 \pm 4^\circ\text{C}$. Isolates 1, 4, and 5 proved resistant to antibiotics. Isolate 1 exhibited high resistance (21–26) to Neomycin and Novogramon, medium resistance (17–22) to Ceparin, Kanamycin, Levomycin, Carbenicillin, and Streptomycin, and low (2–8) resistance to Benzylpenicillin and Clotrimazole. Isolate 1 had no antibiotic resistance to Ampicillin, Gentamicin, and Tetracycline. Isolate 4 showed high resistance (22–27) to Novogramon, medium resistance (10–22) to Tetracycline, Clotrimazole, Neomycin, Zeparin, Kanamycin, Levomycin, and Monomycin, and low resistance (2–8) to Ampicillin, Benzylpenicillin, Streptomycin, and Gentamicin. Isolate 4 demonstrated no antibiotic resistance to Carbenicillin and Polymyxin. Isolate 5 proved highly resistant (27–26) to Ceparin, Benzylpenicillin, Levomycin, and Novogramon, and medium resistant (12–22) to Clotrimazole, Streptomycin, Neomycin, Gentamicin, Polymyxin, Carbenicillin, and Monomycin. Isolate 5 demonstrated no resistance to Ampicillin, Tetracycline, and Kanamycin.

Conclusion. Psychrophiles can serve as microorganisms to create new biological products that suppress the development of diseases in plants. Psychrophiles proved an extremely promising research direction for cultivating and storing agricultural products.

Keywords. Psychrophilic microorganisms, isolates, bacteriocins, antimicrobial properties

Funding. The research was supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR)^{ROR} (No. 20-34-70004\19 dated November 21, 2019).

For citation: Dyshlyuk LS, Babich OO, Ostroumov LA, Wang X, Noskova SYu, Sukhikh SA. Psychrophilic Microorganisms in Natural Sources of the Kemerovo Region: Isolation and Antimicrobial Properties. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(4):763–773. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-763-773>.

Введение

На сегодняшний день из-за постоянных выбросов в атмосферу загрязняющих веществ наблюдается резкое повышение допустимых концентраций вредных соединений. Появление новых видов болезней и паразитов влияет на то, что производители сельскохозяйственной продукции вынуждены применять новые средства защиты, которые негативно сказываются на безопасности почвы и водоемов. Все это приводит к тому, что с каждым годом появляется все больше препаратов, где химические соединения заменяются микроорганизмами. Однако такие биопрепараты не всегда оказываются эффективными, поэтому поиск и выделение новых штаммов с высокой антагонистической активностью является актуальной задачей.

Использование бактерий с антагонистической активностью является в процессе выращивания и хранения продукции сельского хозяйства перспективным и актуальным научным направле-

нием. С целью предотвращения порчи продукции в процессе хранения от деятельности нежелательной микрофлоры сегодня используют химические препараты, облучение, обработка газом или озоном. Однако данные способы, хоть и являются эффективными, имеют свои недостатки [1].

Из-за постоянного применения химических реагентов у патогенов растет устойчивость к их воздействию, при этом ежегодно появляются новые вспышки заболеваний. Это приводит к повышению вносимых доз препаратов, что способствуют развитию устойчивости патогенов.

В пищевом производстве безопасные консерванты ассоциируются с молочнокислыми бактериями и их метаболитами (бактериоцинами), безопасность которых уже не требует доказательства [2, 3].

Бактериоциноподобные вещества вырабатывают и другие микроорганизмы. Например, бактерии группы *Bacillus* spp., в сочетании с лактобактериями, позволяют расширить спектр антимикробной активности с сохранением относительной безо-

пасности. Но и в этом случае не удастся достичь полной защиты продуктов от действия патогенных бактерий [4].

В условиях пониженных температур решить эту проблему с сохранением безопасности могут психрофильные микроорганизмы. Это не только бактерии, но грибы и дрожжи, оказывающие антагонистический эффект на те микроорганизмы, которые остаются нечувствительными к бактериоцинам молочнокислых бактерий.

Психрофильные бактерии – это бактерии, которые способны выживать при низких температурах (от $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$). Также психрофилы функционируют при температурах выше $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5]. На их основе можно создавать новые биопрепараты, подавляющие развитие заболеваний у растений даже при невысоких температурах [6].

Развитие психрофильных микроорганизмов на поверхности пищевых продуктов может способствовать их порче даже при низких температурах. Похожая ситуация может возникнуть с патогенными бактериями, некоторые из которых обладают способностью расти на холоде [7].

В природе психрофильные микроорганизмы могут встречаться как в виде прокариот, так и эукариот. К психрофилам относятся некоторые насекомые, грибы, определенные группы бактерий. В широком смысле, психрофилы – это организмы, не прекращающие свое размножение в условиях низких температур [8, 9].

Психрофильные микроорганизмы целенаправленно воздействуют на возбудителей заболеваний, не наносят экологического вреда и сохраняют все полезные свойства продукции. Помимо предотвращения развития патогенной микрофлоры, при взаимодействии с продуктом микроорганизмы активируют защитные процессы самого продукта. За счет этого у него вырабатывается собственный иммунитет к фитопатогенам [10].

Пещеры на протяжении тысячи лет занимают территории земного ландшафта. Это часть неживой природы с особым ландшафтом, в недрах которых можно найти специфические и встречающиеся только там живые организмы. Фауна пещеры подразделяется на два вида: троглофилы – организмы, помимо пещеры, живущие на наземной части; троглобионты – организмы, обитающие в пещере постоянно. Большое количество представителей троглобионтов обусловлено поддержанием постоянных климатических условий в пещере [11].

К сожалению, пещерам, как и другим составляющим земного ландшафта, наносится непоправимый вред от деятельности человека. Любое стороннее воздействие на пещеры приводит к ее разрушению без возможности восстановления [12].

Если рассматривать микробную флору пещеры, то ее представителями можно считать грибы

и бактерии, которые находятся на различных этапах приспособления к условиям с пониженной температурой. Так как пещера – ограниченное пространство, то это приводит к тому, что микроорганизмы находятся в постоянной борьбе за источники питательной среды. Также микробным представителям пещер необходимо конкурировать с представителями микрофлоры почвы, которые поступают в пещеру с верхних слоев и уже адаптированы к росту при установившихся условиях среды. Такая борьба привела к тому, что в пещере можно встретить штаммы микроорганизмов с антимикробной активностью, направленной на подавление роста представителей наземных бактерий. Данные микроорганизмы можно применять для защиты растений от нежелательной микрофлоры и болезней даже при условиях низких температур, где известные биопрепараты не будут приносить должного эффекта [4, 13].

После изучения пещерной микробиоты Сибирского региона обнаружено наличие в них трех представителей микроорганизмов:

– облигатно психрофильные микроорганизмы (морские светящиеся бактерии, *Bacillus psychrophilus*, железобактерии). Для данных представителей оптимальной температурой для роста и развития является диапазон между $+15\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$. При температуре, выходящей за установленные рамки, микроорганизмы теряют способность к дальнейшему развитию и погибают. Облигатно психрофильные микроорганизмы относятся к постоянным обитателям пещер и хорошо адаптированы к сибирским условиям;

– факультативные микроорганизмы (бактерии рода *Arthrobacter*, *Pseudomonas*). Представители данного микробного сообщества имеют оптимальную температуру роста $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом не теряют такую способность при температуре $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Они относятся к микроорганизмам, которые попадают в пещеры извне. Возможность расти при невысоких температурах позволяет им полностью адаптироваться к пещерной среде и образовать свою микробиоту [12, 13];

– психротолерантные изоляты, которые включают в себя температурный диапазон роста, находящийся в промежуточных пределах между облигатно психрофильными и мезофильными микроорганизмами. Психротолерантные изоляты можно рассматривать как переходную форму между психрофилами и мезофилами, которые отличаются друг от друга выживаемостью в определенных температурных условиях [4, 14, 15].

Главной отличительной особенностью изолятов является способность запасаться липоидами. Например, известен штамм психрофила DL-3.2, выделенный из ледяной пещеры, может накапливать до 60 % жиров. Схожие свойства обнаружены и у изолятов, выделенных из других пещер [5].

Психрофильные микроорганизмы отличаются от мезофильных высокой скоростью роста при пониженных температурах (ниже +10 °С). В свою очередь, факультативные психрофилы размножаются более низкими темпами, чем облигатные. Наиболее заметны различия в росте психрофильных и мезофильных бактерий в диапазоне температур от 0 до +10 °С. У мезофилов такие температурные условия замедляют обмен веществ, что приводит к остановке деления клетки [16, 17].

Известны также экстремальные психрофильные микроорганизмы. Они растут в специальных расщелинах, образующихся между водой и льдом, при температуре –10 °С [18].

Было установлено, что почвенные психрофилы, по сравнению с морскими, имеют широкий температурный предел, позволяющий им расти в экстремальных условиях [2, 19].

Реакцией на воздействие низких температур является выделение белков холодного шока (CSP белков). Изначально, белки синтезируются в небольшом количестве, но в дальнейшем, существуя в условиях низких температур, их концентрация значительно увеличивается. CSP белки достаточно активны и способны уменьшать скорость протекания реакции. Для психрофилов источником сохранения энергии выступают ферменты, которые ускоряют реакционные процессы. При последующем понижении температуры в клетках бактерий начинают появляться кусочки льда, что приводит к их гибели. Когда в клетке начинает образовываться лед, то вокруг нее собирается большое количество соли. За счет этого увеличивается осмотическое давление клетки и она приспосабливается к осмотическому шоку. Все это приводит к образованию в клетке осморегуляторных веществ, которые предотвращают клеточные компоненты от разрушения. Известны бактерии (*Pseudomonas syringae*) с центром кристаллизации льда, находящимся в мембранных белках, контролирующее появление частичек льда. Структура образующегося таким образом льда упорядочена и клетка в меньшей степени подвергается разрушению [5, 16, 19].

Психрофилы не образуют единой или несколько филогенетических групп. Из выделенных и охарактеризованных психротрофных микроорганизмов со схожими свойствами большинство относятся к бактериям. Бактерии также достаточно разнообразны: грамотрицательные и грамположительные бактерии, кокки, спорообразующие бактерии и др. [5, 13].

Классификация пещерной микрофлоры Сибирского региона достаточно объемна. Грибы, найденные в данной среде, подразделяются на 15 родов, которые относятся к 5 отделам: *Fusarium*, *Mortierella*, *Doratomyces*, р.р. *Pythium*, *Cryptococcus*, *Echinobotryum*, *Paecilomyces*, *Mucor*, *Penicillium*,

Thamnidium, *Trichoderma*, *Chrysosporium*, *Periconia*, *Verticillium*.

Среди обитающих в пещерах психрофильных и психротолерантных бактерий идентифицированы представители коринебактерий, а также род *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Sporosarcina*, *Pseudomonas*, *Paenibacillus*, *Pseudochrobastrum*. Температура, при которой микроорганизмы не теряют способности размножению, может составлять от +23 до +30 °С [9, 16].

Исследования микробиоты пещер и регионов с критическими условиями среды ведутся довольно давно. Уже были достигнуты определенные результаты в данной области. Но данные о функциональном состоянии и генетическом разнообразии пока не структурированы и требуют всестороннего изучения. Психрофилы, хоть и являются перспективным средством для развития экономики и экологии, не являются хорошо изученными. Это говорит о необходимости проведения новых исследований по данному направлению [8, 12].

Целью работы является выделение в экстремальных условиях низких температур пещер Горной Шории и Салаира (Кемеровская область) новых психрофильных микроорганизмов и изучение их антимикробных свойств.

Научная новизна работы заключается в том, что новые психрофильные микроорганизмы были впервые выделены в экстремальных условиях пещер Горной Шории и Салаира и проведены исследования по изучению их антимикробных свойств.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использовались психрофильные микроорганизмы, выделенные в пещерах Горной Шории и Салаира (Кемеровская область).

При выполнении исследований использовали антибиотики: новограмон, стрептомицин, полимиксин, карбенициллин, канамицин, неомицин, цепадин, клотримазол, ампициллин, мономицин, левомицитин, тетрациклин, бензилпенициллин и гентамицин.

Микроорганизмы штаммов: *Candida lambica*, *Streptococcus* sp., *Enterobacter* sp., *Micrococcus* sp., *Staphylococcus* sp., *Esherihia* sp. и *Salmonella* sp.

При выполнении исследований использовали следующее оборудование: автоклав «DGM-80» («DGM», Швейцария), аналитические весы «AND HR-202i» (A&D, Япония), ламинарный бокс класс 2/тип А («ламинарные системы», Россия); бидистиллятор «ТХ 25-11.15.92-81 БС.W39» (ОАО «Химлабприбор», Россия).

Пробы отбирали трехкратно, в шахматном порядке, на определенной глубине. Образцы помещали в стерильную крафтовую бумагу. Для

Таблица 1. Морфология изолятов, выделенных из пещер Горной Шории и Салаира

Table 1. Morphology of isolates from the Gornaya Shoria and Salair caves

Изолят	Морфология колоний	Микроскопические характеристики
Изолят 1	Колонии диаметром 1–3 мм, цвет колоний светло-желтый со слабо выраженной пигментацией. Колонии круглые, края колоний ровные и плоские, колонии прозрачные	Грамотрицательные палочки $0,5 \pm 0,7 \times 1,0 \pm 2,5$ мкм. При исследовании методом «висячая капля» клетки подвижны
Изолят 2	Мелкоморщинистые, округлые, средних размеров (3–5 мм), профиль волнистый, матовые, цвет белый, край волнистый, структура однородная, консистенция плотная	Дрожжеподобные грибки. Клетки крупные, овальные, размером 3,6–7,2 микрона в длину и 3–4,5 микрона в диаметре. При исследовании методом «висячая капля» клетки подвижны
Изолят 3	Округлые, размер 6–9 мм, профиль выпуклый, ворсинистые, цвет от белого до буро-зеленого, край неровный, структура неоднородная, консистенция плотная	Активно развитый мицелий. Споро и конидиеобразующие. Грамположительные
Изолят 4	Серовато-белые колонии с гладкими краями, слегка растающими в агар, вязкой консистенции. Размер колоний 1–3 мм	Грамположительные аэробные спорообразующие палочки размером $2-3 \times 0,6$ мкм, расположенные одиночно, попарно или цепочкой. При исследовании методом «висячая капля» клетки подвижны
Изолят 5	Колонии в центральной части повышенные, бороздчатые, серовато-белые, бледно-розовые, от серовато-зеленых до орехово-зеленых	Дрожжеподобные грибки. Мицелий светлый, пушистый. Конидиогенез слабый, серо-зеленоватого оттенка
Изолят 6	Мелкоморщинистые, округлые, больших размеров (3–7 мм), профиль волнистый, матовые, цвет от белого до кремового, край неровный, структура однородная, консистенция плотная	Кокки, диплококки, цепочки или скопления из кокков, иногда встречаются палочки. Грамположительные, спорообразующие. Неподвижные. Размер 1–5 мкм
Изолят 7	Серовато-белые колонии с гладкими краями, слегка растающими в агар, вязкой консистенции. Размер 1–3 мм	Грамположительные аэробные спорообразующие палочки размером $2-3 \times 0,6$ мкм, расположенные одиночно, попарно. При исследовании методом «висячая капля» клетки подвижны

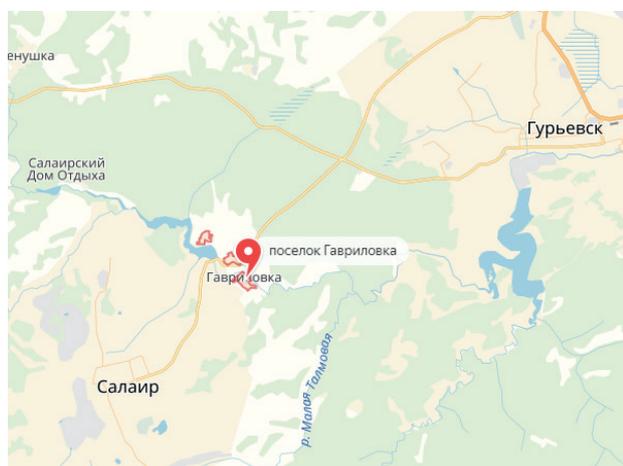


Рисунок 1. Расположение пещеры «Гавриловская» в Кемеровской области

Figure 1. Gavrilovskaya cave in the Kemerovo region

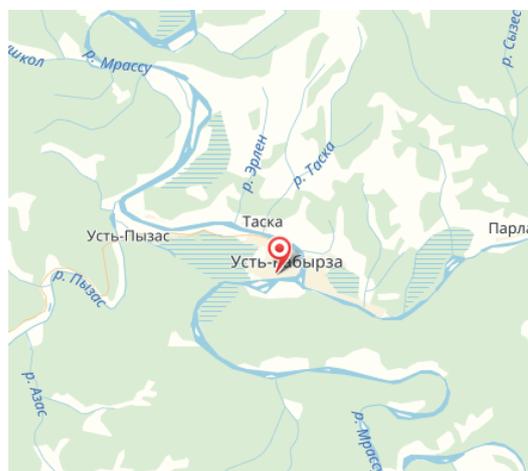


Рисунок 2. Расположение пещеры «Азасская» в Кемеровской области

Figure 2. Azasskaya cave in the Kemerovo region

выделения штаммов использовали метод, описанный в «Методах микробиологического контроля почвы. Методические рекомендации» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 24.12.2004 № ФЦ/4022), а также Практикумом по биологии почв под редакцией Г. М. Зеновой.

Бактериальные культуры микроорганизмов выращивали на твердой питательной среде следующего состава в течение 48 часов:

- GRM агар, г/л: кислый гидролизат рыбной муки – 20,0; глюкоза – 10,0; агар – 5,0;
- мясопептонный агар (МПА), г/л: пептон сухой



Рисунок 3. Места отбора проб в пещере «Гавриловская»

Figure 3. Sampling locations in Gavrilovskaya cave



Рисунок 4. Места отбора проб в пещере «Азасская»

Figure 4. Sampling locations in Azasskaya cave

ферментативный – 10,0; экстракт мясной – 11,0; NaCl – 5,0; агар-агар – 15,0, глюкоза – 10,0; вода дистиллированная.

Для идентификации выделенных микроорганизмов использовали бактериальные детерминанты Берги и метод, предложенный в монографии О. А. Нестеренко с соавторами. Мазок окрашивали по Граму

Изоляты микроорганизмов получали следующим образом: для выделения ДНК из анализируемых образцов использовался метод экстракции фенолом/хлороформом и очистки раствором СТАВ (цетилтриметил аммонийбромид). Морфологический состав изолятов представлен в таблице 1.

Использовали стандартные методы микробиологии, Enterotest, Nefermtest, API 50 CH и дополнительные каталоги/программы идентификации для биохимического тестирования, а также

бактериологический полуавтоматический анализатор («Autoscan», США) для идентификации изолятов.

Для оценки супрессивной активности изолятов использовали тест-штаммы возбудителей болезней человека, животных и растений. Штаммы родов *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Salmonella*, *Esherihia*, *Candida* и *Acinetobacter*.

Все штаммы-патогены получены из коллекции ФГБУ «Государственный научно-исследовательский институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (ГосНИИГенетика)» и Бактериологической лаборатории при МУЗ ЦРБ Гурьевского района.

Чтобы идентифицировать активные изоляты психротрофных бактерий, изоляты наносили на чашки Петри. Параллельно готовили суспензии антагонистических штаммов и патогенных бактерий плотностью не более 10^8 КОЕ/мл. Для

Таблица 2. Исследование психрофильных и супрессивных свойств изолятов, полученных из пещер Горной Шории и Салаира

Table 2. Psychrophilic and suppressive properties of isolates obtained from the caves of Gornaya Shoria and Salair

Номер изолята	Вид микроорганизма						
	<i>Candida lambica</i>	<i>Streptococcus</i> sp.	<i>Enterobacter</i> sp.	<i>Micrococcus</i> sp.	<i>Staphylococcus</i> sp.	<i>Esherihia</i> sp.	<i>Salmonella</i> sp.
	1	2	3	4	5	6	7
Изолят 1	+++	++	+	+	++++	+	++
Изолят 2	–	+	+	–	–	–	–
Изолят 3	–	+	–	–	–	++	–
Изолят 4	+++	+	++++	++	+	++	+
Изолят 5	–	–	++	++	++	+	–
Изолят 6	–	+	+	–	–	–	–
Изолят 7	–	+	+	–	–	+	–

«–» – отсутствие зон; + наличие зоны угнетения роста патогена в месте соприкосновения с бактериальным штрихом; ++ обширная зона угнетения роста патогена в месте соприкосновения с бактериальным штрихом и в сопредельной области; +++ наличие зоны лизиса между штаммами; ++++ наличие обширной зоны лизиса между штаммами.

“–” – no zones; + a zone of inhibition where pathogen comes in touch with the bacterial streak; ++ an extensive zone of inhibition where pathogen comes in touch with the bacterial streak and in the adjacent area; +++ a lysis zone between strains; ++++ an extensive lysis zone between strains.

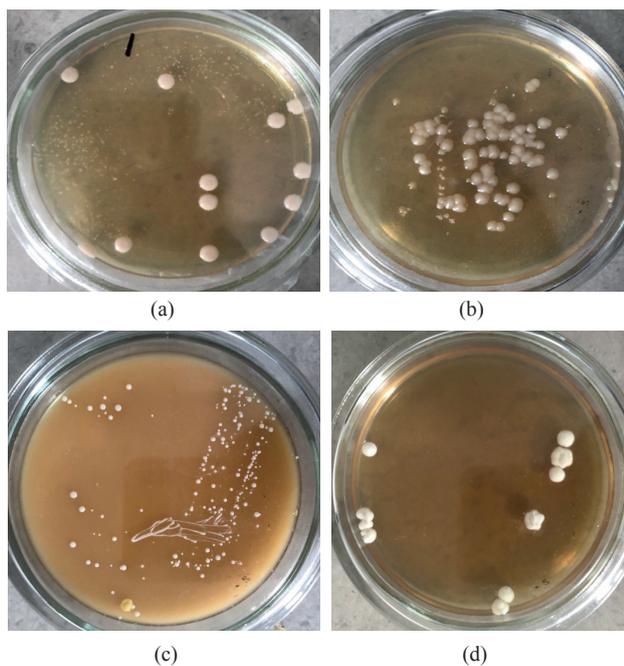


Рисунок 5. Колонии изолятов на ГРМ-агаре через 24 ч культивирования

Figure 5. Colonies of isolates on agar after 24 h of cultivation

получения желаемых клеток бактериальной газон промывали 0,9 % раствором NaCl. Суспензию фитопатогенных грибов готовили промыванием мицелия и массы спор с грибных газонов на картофельном агаре с декстрозой (КНА). В чашку Петри с GRM, мясopептонным агаром (МРА) и КНА инокулировали штаммы-антагонисты по диаметру линии. Инокулировали суспензию бактериальной и

Таблица 3. Результаты изучения антибиотикоустойчивости изолята 1

Table 3. Isolate 1: antibiotic resistance

Антибиотик	Содержание микроорганизмов в 1 см ³ культуры штамма		
	1×10 ⁶	1×10 ⁷	1×10 ⁸
	Зоны ингибирования роста изолятов, мм		
Ампициллин	0	0	0
Стрептомицин	12	14	17
Гентамицин	0	0	0
Карбенициллин	19	21	20
Полимиксин	0	0	0
Левомецитин	21	21	19
Клотримазол	6	8	6
Цепарин	20	19	17
Тетрациклин	0	0	0
Мономицин	3	2	2
Неомицин	26	26	24
Новограмон	25	23	26
Канамицин	22	19	17
Бензилпенициллин	2	3	2

грибковой культур перпендикулярно линии. Чашки Петри хранили в холодильнике при 4 °С. Наличие зон подавления роста патогенов оценивали через 8 дней.

Устойчивость к антибиотикам определялась областью, в которой диск с антибиотиком подавлял рост изолята. Для этого выделенную суспензию клеток инокулировали сплошным газонем в чашке Петри со средой на основе агара, а диски с антибиотиками помещали на поверхность среды. Инкубировали в термостате при 28 °С в течение 24 ч. Описывали рост изолятов.

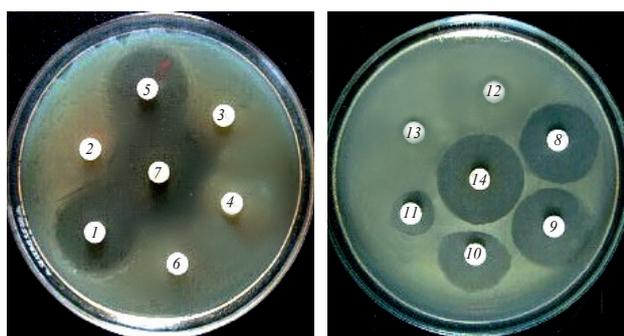


Рисунок 6. Ингибирование зон роста изолята 1:

- 1 – цепапин; 2 – ампициллин; 3 – полимиксин; 4 – гентамицин; 5 – канамицин; 6 – тетрациклин; 7 – неомицин; 8 – левомецитин; 9 – карбенициллин; 10 – стрептомицин; 11 – клотримазол; 12 – бензилпенициллин; 13 – мономицин; 14 – новограмон

Figure 6. Inhibition of growth zones of isolate 1: 1 – Ceparin; 2 – Ampicillin; 3 – Polymyxin; 4 – Gentamicin; 5 – Kanamycin; 6 – Tetracycline; 7 – Neomycin; 8 – Levomycetin; 9 – Carbenicillin; 10 – Streptomycin; 11 – Clotrimazole; 12 – Benzylpenicillin; 13 – Monomycin; 14 – Novogram

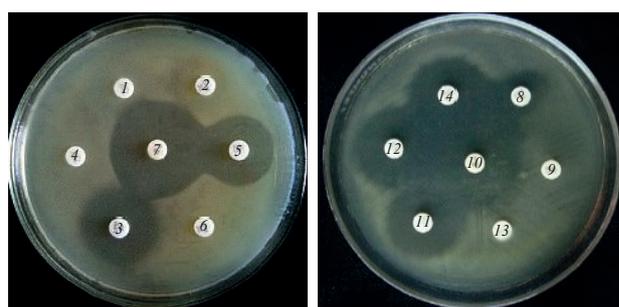


Рисунок 7. Ингибирование зон роста изолята 4:

- 1 – полимиксин; 2 – ампициллин; 3 – тетрациклин; 4 – гентамицин; 5 – клотримазол; 6 – карбенициллин; 7 – новограмон; 8 – мономицин; 9 – стрептомицин; 10 – бензилпенициллин; 11 – неомицин; 12 – цепапин; 13 – канамицин; 14 – левомецитин

Figure 7. Inhibition of growth zones of isolate 4: 1 – Polymyxin; 2 – Ampicillin; 3 – Tetracycline; 4 – Gentamicin; 5 – Clotrimazole; 6 – Carbenicillin; 7 – Novogram; 8 – Monomycin; 9 – Streptomycin; 10 – Benzylpenicillin; 11 – Neomycin; 12 – Zeparin; 13 – Kanamycin; 14 – Levomycetin

Таблица 4. Результаты изучения антибиотикоустойчивости изолята 4

Table 4. Isolate 4: antibiotic resistance

Антибиотик	Содержание микроорганизмов в 1 см ³ культуры штамма		
	1×10 ⁶	1×10 ⁷	1×10 ⁸
	Зоны ингибирования роста изолятов, мм		
Новограмон	22	27	25
Стрептомицин	1	1	2
Полимиксин	0	0	0
Карбенициллин	0	0	0
Канамицин	13	17	16
Неомицин	13	12	11
Цепарин	18	20	22
Клотримазол	10	11	12
Ампициллин	1	2	6
Мономицин	11	12	10
Левомицитин	20	18	18
Тетрациклин	13	13	14
Бензилпенициллин	8	6	8
Гентамицин	1	1	2

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований из микробных сообществ пещер Гавриловская (Кемеровская область, Беловский район, рис. 1, 3) и Азасская (Кемеровская область, Таштагольский район, п. Усть-Кабырза, рис. 2 и 4) выделено 7 изолятов, различных по морфологическим признакам.

Для выделенных изолятов исследовали супрессивные и психрофильные свойства. Полученные результаты представлены в таблице 2.

На основании анализа данных, представленных в таблице 1, установлено, что изоляты 1, 4 и 5 обладают выраженными супрессивными свойствами по отношению ко всем изученным тест-культурам патогенов при температуре 2 ± 4 °С. Дальнейшие исследования свойств изолятов целесообразно проводить с номерами 1, 4 и 5 (рис. 5).

Результаты изучения антибиотикорезистентности выделенных изолятов представлены в таблицах 3–5 и на рисунках 6–8.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что изолят 1 проявляет высокую устойчивость (21–26) к антибиотикам неомицину и новограмону. Среднюю устойчивость (17–22) – к цепарину, канамицину, левомицитину, карбенициллину и стрептомицину. Низкую устойчивость (2–8) – к бензилпенициллину и клотримазолу. Изолят 1 не проявляет антибиотикоустойчивость к ампициллину, гентамицину и тетрациклину.

Изолят 4 проявляет высокую устойчивость (22–27) к новограмону. Среднюю устойчивость (10–22) к антибиотикам тетрациклину, клотримазолу, неомицину, цепарину, канамицину, левомицитину и мономицину. Низкую устойчивость (2–8) к

Таблица 5. Результаты изучения антибиотикоустойчивости изолята 5

Table 5. Isolate 5: antibiotic resistance

Антибиотик	Содержание бактерий в 1 см ³ культуры штамма		
	1×10 ⁶	1×10 ⁷	1×10 ⁸
	Зоны ингибирования роста изолятов, мм		
Канамицин	0	0	0
Бензилпенициллин	26	23	27
Цепарин	24	22	27
Полимиксин	12	17	15
Тетрациклин	0	0	0
Стрептомицин	21	20	22
Клотримазол	21	21	22
Левомицитин	27	22	22
Гентамицин	14	17	12
Ампициллин	0	0	0
Неомицин	13	17	16
Мономицин	12	17	12
Карбенициллин	22	20	22
Новограмон	23	26	27

антибиотикам ампициллину, бензилпенициллину, стрептомицину и гентамицину. Изолят 4 не проявляет антибиотикоустойчивость к карбенициллину и полимиксину.

Изолят 5 высоко устойчив (27–26) к антибиотикам цепарину, бензилпенициллину, левомицитину и новограмону. Средне устойчив (12–22) к клотримазолу, стрептомицину, неомицину, гентамицину, полимиксину, карбенициллину и мономицину. Изолят 5 не устойчив к ампициллину, тетрациклину и канамицину.

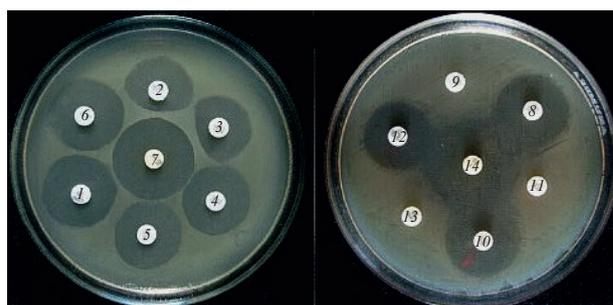


Рисунок 8. Ингибирование зон роста изолята 5:

- 1 – цепарин; 2 – гентамицин; 3 – полимиксин;
4 – карбенициллин; 5 – мономицин; 6 – новограмон;
7 – бензилпенициллин; 8 – клотримазол; 9 – тетрациклин;
10 – стрептомицин; 11 – канамицин; 12 – неомицин;
13 – ампициллин; 14 – левомицитин

Figure 8. Inhibition of growth zones of isolate 5: 1 – Ceparin; 2 – Gentamicin; 3 – Polymyxin; 4 – Carbenicillin; 5 – Monomycin; 6 – Novogram; 7 – Benzylpenicillin; 8 – Clotrimazole; 9 – Tetracycline; 10 – Streptomycin; 11 – Kanamycin; 12 – Neomycin; 13 – Ampicillin; 14 – Levomycetin

Выводы

Из микробных сообществ пещер Гавриловская (Кемеровская область, Беловский район) и Азасская (Кемеровская область, Таштагольский район, п. Усть-Кабырза) выделено 7 изолятов, различных по морфологическим признакам. Установлено, что наиболее выраженными супрессивными свойствами по отношению к тест-культурам патогенов (*Candida lambica*, *Streptococcus* sp., *Enterobacter* sp., *Micrococcus* sp., *Staphylococcus* sp., *Esherihia* sp., *Salmonella* sp.) обладают изоляты 1, 4 и 5. Установлены пределы антибиотикоустойчивости изолятов психрофильных микроорганизмов.

Критерии авторства

Фактический вклад каждого автора:
Л. С. Дышлюк – 25 %, О. О. Бабич – 25 %, Л. А. Остроумов – 15 %, Сяоцзе Ван – 5 %, С. Ю. Носкова – 5 %, С. А. Сухих – 25 %.

Л. А. Остроумов – 15 %, Сяоцзе Ван – 5 %, С. Ю. Носкова – 5 %, С. А. Сухих – 25 %.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Contribution

Each of the authors is responsible for the following part of research: L.S. Dyshlyuk – 25%, O.O. Babich – 25%, L.A. Ostroumov – 15%, Xiaojie Wang – 5%, S.Yu. Noskova – 5%, S.A. Sukhikh – 25%.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Study of biocompatibility and antitumor activity of lactic acid bacteria isolated from the human gastrointestinal tract / A. Yu. Prosekov, L. S. Dyshlyuk, I. S. Milentjeva [et al.] // International Journal of Pharmacy and Technology. – 2016. – Vol. 8, № 2. – P. 13647–13661.
2. Proteorhodopsin light-enhanced growth linked to vitamin-B₁₂ acquisition in marine Flavobacteria / L. Gómez-Consarnau, J. M. González, T. Riedel [et al.] // The ISME Journal. – 2016. – Vol. 10. – P. 1102–1112. <https://doi.org/10.1038/ismej.2015.196>.
3. Воробьева, С. В. Влияние температуры на рост психрофильных бактерий, выделенных из пещер дальнего востока, средней Сибири и западного Кавказа / С. В. Воробьева, С. В. Хижняк, Л. Т. Харламова // Вестник КрасГАУ. – 2012. – Т. 72, № 9. – С. 117–121.
4. Introducing EzBioCloud: A taxonomically united database of 16S rRNA gene sequences and whole-genome assemblies / S.-H. Yoon, S.-M. Ha, S. Kwon [et al.] // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. – 2017. – Vol. 67, № 5. – P. 1613–1617. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001755>.
5. *Flavobacterium collinsense* sp. nov., isolated from a till sample of an Antarctic glacier / Y. Zhang, F. Jiang, X. Chang [et al.] // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. – 2016. – Vol. 66, № 1. – P. 172–177. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.000688>.
6. Antioxidant and antimicrobial activity of bacteriocin-producing strains of lactic acid bacteria isolated from the human gastrointestinal tract / A. Yu. Prosekov, L. S. Dyshlyuk, I. S. Milentjeva [et al.] // Progress in Nutrition. – 2017. – Vol. 19, № 1. – P. 67–80. <https://doi.org/10.23751/pn.v19i1.5147>.
7. Vinuesa, P. GET_PHYLOMARKERS, a software package to select optimal orthologous clusters for phylogenomics and inferring pan-genome phylogenies, used for a critical geno-taxonomic revision of the genus *Stenotrophomonas* / P. Vinuesa, L. E. Ochoa-Sánchez, B. Contreras-Moreira // Frontiers in Microbiology. – 2018. – Vol. 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00771>.
8. Biogeography of cryoconite bacterial communities on glaciers of the Tibetan Plateau / Y. Liu, T. J. Vick-Majors, J. C. Priscu [et al.] // FEMS Microbiology Ecology. – 2017. – Vol. 93, № 6. <https://doi.org/10.1093/femsec/fix072>.
9. Versatile genome assembly evaluation with QUAST-LG / A. Mikheenko, A. Prjibelski, V. Saveliev [et al.] // Bioinformatics. – 2018. – Vol. 34, № 13. – P. i142–i150. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bty266>.
10. Structural basis of glycogen biosynthesis regulation in bacteria / J. O. Cifuentes, N. Comino, J. Madariaga-Marcos [et al.] // Structure. – 2016. – Vol. 24, № 9. – P. 1613–1622. <https://doi.org/10.1016/j.str.2016.06.023>.
11. McInerney, J. O. Why prokaryotes have pangenomes / J. O. McInerney, A. McNally, M. J. O'Connell // Nature Microbiology. – 2017. – Vol. 2. <https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2017.40>.
12. Cryo-protective effect of an ice-binding protein derived from Antarctic bacteria / M. Mangiagalli, M. Bar-Dolev, P. Tedesco [et al.] // FEBS Journal. – 2017. – Vol. 284, № 1. – P. 163–177. <https://doi.org/10.1111/febs.13965>.
13. Microevolution and adaptive strategy of psychrophilic species *Flavobacterium bomense* sp. nov. isolated from glaciers / Q. Liu, H.-C. Liu, Y.-G. Zhou [et al.] // Frontiers in Microbiology. – 2019. – Vol. 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01069>.
14. Пикула, К. С. Психрофильные бактерии и их использование для биоремедиации арктических экосистем, загрязнённых нефтью и нефтепродуктами / К. С. Пикула, А. М. Захаренко, А. Н. Гульков // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 4–3. – С. 254–255.
15. Isolation and characterization of the lytic cold-active bacteriophage MYSP06 from the Mingyong glacier in China / M. Li, J. Wang, Q. Zhang [et al.] // Current Microbiology. – 2016. – Vol. 72, № 2. – P. 120–127. <https://doi.org/10.1007/s00284-015-0926-3>.

16. Identification of probiotic strains isolated from human gastrointestinal tract and investigation of their antagonistic, antioxidant and antiproliferative properties / A. Prosekov, I. Milentyeva, S. Sukhikh [et al.] // *Biology and Medicine*. – 2015. – Vol. 7, № 5.

17. Feller, G. Psychrophilic enzymes: from folding to function and biotechnology / G. Feller // *Scientifica*. – 2013. – Vol. 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/512840>.

18. Ghosh, S. The cave microbiome as a source for drug discovery: Reality or pipe dream? / S. Ghosh, N. Kuisiene, N. Cheeptham // *Biochemical Pharmacology*. – 2017. – Vol. 134. – P. 18–34. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2016.11.018>.

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

References

1. Prosekov AYu, Dyshlyuk LS, Milentyeva IS, Sukhikh SA, Babich OO, Ivanova SA, et al. Study of biocompatibility and antitumor activity of lactic acid bacteria isolated from the human gastrointestinal tract. *International Journal of Pharmacy and Technology*. 2016;8(2):13647–13661.

2. Gómez-Consarnau L, González JM, Riedel T, Jaenicke S, Wagner-Döbler I, Sañudo-Wilhelmy SA, et al. Proteorhodopsin light-enhanced growth linked to vitamin-B₁ acquisition in marine Flavobacteria. *The ISME Journal*. 2016;10:1102–1112. <https://doi.org/10.1038/ismej.2015.196>.

3. Vorobyeva SV, Hizhnyak SV, Kharlamova LT. Influence of temperature on growth of psychrophilic bacteria isolated from the caves of Far East, Middle Siberia and Western Caucasus. *Bulletin of KSAU*. 2012;72(9):117–121. (In Russ.).

4. Yoon S-H, Ha S-M, Kwon S, Lim J, Kim Y, Seo H, et al. Introducing EzBioCloud: A taxonomically united database of 16S rRNA gene sequences and whole-genome assemblies. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2017;67(5):1613–1617. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001755>.

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

6. Prosekov AYu, Dyshlyuk LS, Milentyeva IS, Sukhikh SA, Babich OO, Ivanova SA, et al. Antioxidant and antimicrobial activity of bacteriocin-producing strains of lactic acid bacteria isolated from the human gastrointestinal tract. *Progress in Nutrition*. 2017;19(1):67–80. <https://doi.org/10.23751/pn.v19i1.5147>.

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

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

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

10. Cifuentes JO, Comino N, Madariaga-Marcos J, López-Fernández S, García-Alija M, Agirre J, et al. Structural basis of glycogen biosynthesis regulation in bacteria. *Structure*. 2016;24(9):1613–1622. <https://doi.org/10.1016/j.str.2016.06.023>.

11. McInerney JO, McNally A, O'Connell MJ. Why prokaryotes have pangenomes. *Nature Microbiology*. 2017;2. <https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2017.40>.

12. Mangiagalli M, Bar-Dolev M, Tedesco P, Natalello A, Kaleda A, Brocca S, et al. Cryo-protective effect of an ice-binding protein derived from Antarctic bacteria. *FEBS Journal*. 2017;284(1):163–177. <https://doi.org/10.1111/febs.13965>.

13. Liu Q, Liu H-C, Zhou Y-G, Xin Y-H. Microevolution and adaptive strategy of psychrophilic species *Flavobacterium bomense* sp. nov. isolated from glaciers. *Frontiers in Microbiology*. 2019;10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01069>.

14. Pikula KS, Zakharenko AM, Gul'kov AN. Психрофил'ные бактерии и их использование для биоремедиации арктических экосистем, загрязненных нефтью и нефтепродуктами [Psychrophilic bacteria and their use for bioremediation of Arctic ecosystems polluted by oil and oil product]. *International Student Research Bulletin*. 2016;(4–3):254–255. (In Russ.).

15. Li M, Wang J, Zhang Q, Lin L, Kuang A, Materon LA, et al. Isolation and characterization of the lytic cold-active bacteriophage MYSP06 from the Mingyong glacier in China. *Current Microbiology*. 2016;72(2):120–127. <https://doi.org/10.1007/s00284-015-0926-3>.

16. Prosekov A, Milentyeva I, Sukhikh S, Dyshlyuk L, Babich O, Asyakina L, et al. Identification of probiotic strains isolated from human gastrointestinal tract and investigation of their antagonistic, antioxidant and antiproliferative properties. *Biology and Medicine*. 2015;7(5).

17. Feller G. Psychrophilic enzymes: from folding to function and biotechnology. *Scientifica*. 2013;2013. <https://doi.org/10.1155/2013/512840>.

18. Ghosh S, Kuisiene N, Cheeptham N. The cave microbiome as a source for drug discovery: Reality or pipe dream? *Biochemical Pharmacology*. 2017;134:18–34. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2016.11.018>.

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

Сведения об авторах

Дышлюк Любовь Сергеевна

канд. био. наук, доцент, научный сотрудник, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», 236016, Россия, г. Калининград, ул. А. Невского, 14, тел.: +7 (4012) 59-55-95, e-mail: SSukhikh@kantiana.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-7333-8411>

Бабич Ольга Олеговна

д-р техн. наук, директор Института живых систем, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», 236016, Россия, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14, тел.: +7 (4012) 59-55-95, e-mail: OOBabich@kantiana.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4921-8997>

Остроумов Лев Александрович

д-р техн. наук, профессор, профессор-консультант, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», 236016, Россия, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14, тел.: +7 (4012) 59-55-95, e-mail: OKrigger@kantiana.ru

Сяоце Ван

Доктор PhD, доцент, Цицикарский университет, 161006, Китай, Цицикар, ул. Венхуа, 42, e-mail: stas-asp@mail.ru

Носкова Светлана Юрьевна

канд. техн. наук, научный сотрудник, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», 236016, Россия, г. Калининград, ул. А. Невского, 14, тел.: +7 (4012) 59-55-95, e-mail: SNoskova@kantiana.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-1198-1951>

Сухих Станислав Алексеевич

канд. техн. наук, доцент, заведующий лабораторией, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», 236016, Россия, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14, тел.: +7 (4012) 59-55-95, e-mail: SSukhikh@kantiana.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7910-8388>

Information about the authors

Lyubov S. Dyshlyuk

Cand.Sci.(Bio.), Associate Professor, Researcher, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14, A. Nevskogo Str., Kaliningrad, 236016, Russia, phone: +7 (4012) 59-55-95, e-mail: SSukhikh@kantiana.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-7333-8411>

Olga O. Babich

Dr.Sci.(Eng.), Director of the Institute of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14, A. Nevskogo Str., Kaliningrad, 236016, Russia, phone: +7 (4012) 59-55-95, e-mail: OOBabich@kantiana.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4921-8997>

Lev A. Ostroumov

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Professor-Consultant, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14, A. Nevskogo Str., Kaliningrad, 236016, Russia, phone: +7 (4012) 59-55-95, e-mail: OKrigger@kantiana.ru

Xiaojie Wang

Doctor PhD, Associate Professor, Qiqihar University, 42, Wenhua Str., Qiqihar, 161006, China, e-mail: stas-asp@mail.ru

Svetlana Yu. Noskova

Cand.Sci.(Eng.), Researcher, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14, A. Nevskogo Str., Kaliningrad, 236016, Russia, phone: +7 (4012) 59-55-95, e-mail: SNoskova@kantiana.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-1198-1951>

Stanislav A. Sukhikh

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Head of the Laboratory, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14, A. Nevskogo Str., Kaliningrad, 236016, Russia, phone: +7 (4012) 59-55-95, e-mail: SSukhikh@kantiana.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7910-8388>

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» (оригинальность рукописи опубликованной в Журнале должна составлять не менее 85 %), регистрируется.

В журнале публикуются только рукописи, текст которых рекомендован рецензентами.

Редакция организует «двухстороннее слепое» (анонимное) рецензирование представленных рукописей с целью их экспертной оценки. Выбор рецензента осуществляется решением главного редактора или его заместителя. Для проведения рецензирования рукописей статей в качестве рецензентов могут привлекаться как члены редакционной коллегии журнала «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)», так и высококвалифицированные ученые и специалисты других организаций и предприятий, обладающие глубокими профессиональными знаниями и опытом работы по конкретному научному направлению, как правило, доктора наук, профессора. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и имеют в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи.

Рецензенты уведомляются о том, что присланные им рукописи являются частной собственностью авторов и относятся к сведениям, не подлежащим разглашению. Рецензентам не разрешается делать копии статей для своих нужд. Рецензирование проводится конфиденциально. Нарушение конфиденциальности возможно только в случае заявления рецензента о недостоверности или фальсификации материалов, изложенных в статье.

Срок рассмотрения статьи не должен превышать трех месяцев со дня получения статьи на рецензирование.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ

Объем статьи должен быть не менее 30 – 35 тыс. знаков (не включая списки литературы на русском и английском языках). Объем обзорной рукописи – более 35 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»)

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 – редакцией 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).

10. Критерий авторства
11. Конфликт интересов
12. Благодарности
13. Список литературы
14. Список литературы (References)
15. Сведения об авторах (на русском и английском языках).

Подать рукопись можно на сайте журнала <http://fptt.ru> или отправив на e-mail fptt98@gmail.com

В редакцию предоставляются:

1. Электронная версия статьи в программе MSWord. Файл статьи следует назвать по фамилии первого автора – ПетровГП.doc. Не допускается в одном файле помещать несколько документов;
2. Сканированная электронная версия статьи, подписанная всеми авторами, в программе PDF. Файл статьи следует назвать по фамилии первого автора – ПетровГП.pdf. Не допускается в одном файле помещать несколько документов;
3. Гарантийное письмо (скан-копия) на имя главного редактора журнала на бланке направляющей организации с указанием даты регистрации и исходящего номера, с заключением об актуальности работы и рекомендациями к опубликованию, с подписью руководителя учреждения.
4. Издательский лицензионный договор.

Более подробная информация на сайте журнала «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)» <http://fptt.ru>.

Биоэтические проблемы развития генетических технологий в Российской Федерации обсудили на научной конференции в Москве.....	575	микроструктурных особенностей щитовидной железы баранчиков специального откорма	670
<i>Резниченко И. Ю., Щеглов М. С.</i> Сахарозаменители и подсластители в технологии кондитерских изделий.....	576	<i>Соснин М. Д., Шорсткий И. А.</i> Предобработка нитевидной микроплазмы при поддержке термоэлектронной эмиссии в процессе сублимационной сушки плодов манго	681
<i>Черниченко С. Г., Котов Р. М.</i> Методический инструментарий диагностики несостоятельности (банкротства) организаций в системе антикризисного управления	588	<i>Бахчевников О. Н., Брагинец С. В.</i> Экструдирование растительного сырья для продуктов питания (обзор)	690
<i>Дмитриева А. И., Алексеенко А. В., Белова Д. Д., Пискаева Н. И., Терещук Л. В.</i> Кератиназы <i>Streptomyces</i> и <i>Bacillus</i> : свойства и направления использования.....	602	<i>Богданов В. Д., Симдянкин А. А., Панкина А. В., Мостовой В. Д.</i> Разработка функциональных композиций сухих концентратов морепродуктов и исследование их свойств	707
<i>Федорова А. М., Козлова О. В., Славянский А. А., Величкович Н. С., Ле В. М.</i> Исследование и разработка технологии получения мальтодекстринов для молочной промышленности	616	<i>Оганесянц Л. А., Панасюк А. Л., Кузьмина Е. И., Ганин М. Ю.</i> Исследование отношений изотопов углерода, кислорода и водорода этанола фруктовых вин.....	717
<i>Бородулин Д. М., Шалев А. В., Сафонова Е. А., Просин М. В., Головачева Я. С., Вагайцева Е. А.</i> Разработка новых заторно-сусловарочно-фильтрационных аппаратов для производства крафтового пива	630	<i>Милентьева И. С., Давыденко Н. И., Расщепкин А. Н.</i> Подбор рабочих параметров для проведения направленного протеолиза казеина с целью получения биопептидов.....	726
<i>Панфилов В. А.</i> Синергетический подход к созданию технологий АПК будущего	642	<i>Фазуллина О. Ф., Смирнов С. О.</i> Разработка системы управления безопасностью процесса производства макаронных изделий.....	736
<i>Сибирцев В. С., Нечипоренко У. Ю., Кабанов В. Л., Кукин М. Ю.</i> Методика оптико-электрохимического микробиологического тестирования в применении к сравнительному анализу свойств эфирных масел.....	650	<i>Кондратенко В. В., Посокина Н. Е., Лялина О. Ю., Колоколова А. Ю., Глазков С. В.</i> О коррекции углеводного состава сырья для микробной трансформации консорциумами микроорганизмов	749
<i>Голуб О. В., Чекрыга Г. П., Мотовилов О. К.</i> Исследование влияния пыльцевых зерен на цвет меда из цветков <i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.	660	<i>Дышлюк Л. С., Бабич О. О., Остроумов Л. А., Ван Сюэце, Носкова С. Ю., Сухих С. А.</i> Выделение психрофильных микроорганизмов из природных источников Кемеровской области и изучение их антимикробных свойств.....	763
<i>Гиро Т. М., Куликовский А. В., Князева А. С., Домницкий И. Ю., Гиро А. В.</i> Исследования биохимических и			



CONTENTS



Academic Conference on bioethical issues of genetic technologies in the Russian Federation held in Moscow.....	575	<i>Giro A.V.</i> Biochemical and Microstructural Profile of the Thyroid Gland from Lambs Raised on Experimental Diets	670
<i>Reznichenko I.Yu., Shcheglov M.S.</i> Sugar Substitutes and Sweeteners in Confectionery Technology	576	<i>Sosnin M.D., Shorstkii I.A.</i> Microplasma pretreatment of mango fruits during freeze drying with thermoelectric emission	681
<i>Chernichenko S.G., Kotov R.M.</i> Methodological Tools for Diagnosing Insolvency (Bankruptcy) of Organizations in the Anti-Crisis Management System	588	<i>Bakhchevnikov O.N., Braginets S.V.</i> Extrusion of Plant Raw Materials in Food Production: A Review	690
<i>Dmitrieva A.I., Alexeyenko A.V., Belova D.D., Piskaeva N.I., Tereshchuk L.V.</i> <i>Streptomyces</i> and <i>Bacillus</i> Keratinases: Properties and Uses.....	602	<i>Bogdanov V.D., Simdiankin A.A., Pankina A.V., Mostovoi V.D.</i> New Functional Formulations for Dry Seafood Concentrates and their Properties.....	707
<i>Fedorova A.M., Kozlova O.V., Slavyanskiy A.A., Melentyeva I.S., Velichkovich N.S., Le V.M.</i> Research and Development of Maltodextrin Production Technology for the Dairy Industry ...	616	<i>Oganesyants L.A., Panasyuk A.L., Kuzmina E.I., Ganin M.Yu.</i> Isotopes of Carbon, Oxygen, and Hydrogen Ethanol in Fruit Wines	717
<i>Borodulin D.M., Shalev A.V., Safonova E.A., Prosin M.V., Golovacheva Y.S., Vagaytseva E.A.</i> Development of New Mash Filters for Craft Beer Brewing	630	<i>Milentyeva I.S., Davydenko N.I., Rasshchepkin A.N.</i> Casein Proteolysis in Bioactive Peptide Production: Optimal Operating Parameters.....	726
<i>Panfilov V.A.</i> Synergetic Approach to Agro-industrial Technologies of the Future	642	<i>Fazullina O.F., Smirnov S.O.</i> New Safety Management System for Pasta Production.....	736
<i>Sibirtsev V.S., Nepochiporenko U.Yu., Kabanov V.L., Kukin M.Yu.</i> Electrochemical and Optical Microbiological Testing: a Comparative Study on Properties of Essential Oils.....	650	<i>Kondratenko V.V., Posokina N.E., Lyalina O.Yu., Kolokolova A.Yu., Glazkov S.V.</i> Correction of the Carbohydrate Composition of Raw Materials for Microbial Transformation Based on Microbial Consortia	749
<i>Golub O.V., Chekryga G.P., Motovilov O.K.</i> Effect of Pollen Grains on the color of Honey from <i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.	660	<i>Dyshlyuk L.S., Babich O.O., Ostroumov L.A., Wang X., Noskova S.Yu., Sukhikh S.A.</i> Psychrophilic Microorganisms in Natural Sources of the Kemerovo Region: Isolation and Antimicrobial Properties.....	763
<i>Giro T.M., Kulikovskiy A.V., Knyazeva A.S., Domnitskiy I.Yu.,</i>			