

Техника и технология пищевых производств

Food Processing: Techniques and Technology



Том 50
Номер 3
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. Просков, 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. Храмов, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия.

Материалы публикуются на условиях лицензии CC BY 4.0.

Выпускающий редактор А.И. Лосева

Ответственный за выпуск А.А. Кирякова

Литературный редактор А.Ю. 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 08.10.20.

Усл. п. л. 23,28, уч.-изд. л. 20,63. 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. Proskov, 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. © 2019, KemSU.

Date of issue October 08, 20.

Printed sheet 23,28, conventional printed sheet 20,63. 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.

Математическая модель процесса гранулообразования дисперсных смесей на основе молочной сыворотки в аппаратах тарельчатого типа



А. Л. Майтаков

Дата поступления в редакцию: 08.04.2020

Дата принятия в печать: 24.07.2020

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

e-mail: may585417@mail.ru



© А. Л. Майтаков, 2020

Аннотация.

Введение. Производство порошковых смесей в России, полученных из концентрированных соков (овощных, ягодных, фруктовых), сухой молочной сыворотки, сухого молока, различных ароматизаторов и др., затруднено из-за отсутствия эффективных технологий изготовления. Таким образом, важной задачей является создание технологического потока, в котором одновременное применение увлажняющих добавок и структурированных капиллярно-пористых гранул позволило бы скомбинировать полидисперсную систему с большой степенью надежности инстантирования. Целью работы является создание математической модели процесса гранулообразования дисперсных смесей для научного обоснования основ технологий получения быстрорастворимых многокомпонентных полидисперсных гранулированных напитков.

Объекты и методы исследования. В ходе проведения экспериментов применялся тарельчатый гранулятор с активатором. Исследовалась полидисперсная смесь на основе молочной сыворотки. Фракционный состав исследуемой смеси: шрот клюквы (20 %), молочная сыворотка (40 %), картофельный крахмал (5 %), сахарная пудра (20 %), премиксы (5 %) и др.

Результаты и их обсуждение. На основании предварительно полученных данных, а также данных, установленных экспериментальным путем, были получены сведения о влиянии режимов гранулирования, режимов работы гранулятора и фазового состава исходной смеси на характеристики полученного гранулированного продукта. Проверка результатов, полученных на основании расчетов математической модели процесса гранулирования с результатами экспериментальных исследований, показала, что постулированная модель с достаточной точностью отражает физическую сущность процесса гранулирования полидисперсных смесей на основе местного сырья и молочной сыворотки.

Выводы. Созданы методы и способы регулирования процесса гранулообразования полидисперсных смесей на основе молочной сыворотки в грануляторах тарельчатого типа. Разработана математическая модель процесса, сформированная на основании гипотезы о стохастическом характере протекающих процессов. Процесс гранулирования был описан как сочетание семи состояний в зависимости от гранулометрического состава и определенного времени гранулирования.

Ключевые слова. Полидисперсная смесь, молочная сыворотка, гранула, гранулирование, математическая модель

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

Для цитирования: Майтаков, А. Л. Математическая модель процесса гранулообразования дисперсных смесей на основе молочной сыворотки в аппаратах тарельчатого типа / А. Л. Майтаков // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 383–392. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-383-392>.

Original article

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

Mathematical Model of Whey-Based Granulation Dispersed Mixtures Process in Disk-Type Devices

Anatolij L. Maytakov

Received: April 08, 2020

Accepted: July 24, 2020

Kemerovo State University,
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia

e-mail: may585417@mail.ru



© A.L. Maytakov, 2020

Abstract.

Introduction. In Russia, production of juice, whey, milk, and flavor powders is complicated by the lack of effective manufacturing

technologies. Thus, a new technological flow for simultaneous use of moisturizing additives and structured capillary-porous granules remains an urgent task as it would allow combining a polydisperse system with instantiation reliability. The research objective was to create a mathematical model of the process of granulation of dispersed mixtures, as well as scientific substantiation for the new technology of instant polydisperse granular beverage mixes

Study objects and methods. The research featured a disk-type granulator with an activator and a polydisperse whey-based mix. The fractional composition of the mix included cranberry pulp (20%), whey (40%), potato starch (5%), powdered sugar (20%), premixes (5%), etc.

Results and discussion. The research revealed the effect of granulation modes, granulator operation modes, and the phase composition of the initial mix on the profile of the resulting granulated product. The mathematically obtained results were proved experimentally: the model accurately reflected the physical essence of the granulation process of the polydisperse mixes based on local raw materials and whey.

Conclusion. The study provided methods for regulating the process of granulation of polydisperse whey-based mixes in disk-type granulators. The article introduces a mathematical model of the process based on the hypothesis of the stochastic nature of the processes. The granulation process was described as a combination of seven states depending on the granular composition and granulation time.

Keywords. Polydispersity mixture, milk whey, granule, granulation, mathematical model

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

For citation: Maytakov AL. Mathematical Model of Whey-Based Granulation Dispersed Mixtures Process in Disk-Type Devices. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):383–392. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-383-392>.

Введение

Среди большого разнообразия соков и напитков, производимых из них, особое место занимают специализированные продукты в виде смесей. Концентраты в виде порошков, а также напитки, полученные из таких концентратов, представляют как научный, так и практический интерес [1]. Плюсами можно назвать большие сроки хранения без потери пищевой ценности, удобство транспортировки, улучшенную структуру ассортимента, повышенную биологическую ценность напитков, возможность разработки специфических рецептов для различных групп населения, в том числе отдаленных районов и в экстремальных условиях [2–8].

Производство порошковых смесей в России, полученных из концентрированных соков (овощных, ягодных, фруктовых), сухой молочной сыворотки, сухого молока, различных ароматизаторов и др., затруднено из-за отсутствия эффективных технологий изготовления таких продуктов, а также современных производительных и эффективных аппаратов для осуществления технологических процессов. «Узким местом» таких технологий является производство сухих смесей в виде гранул. Существует три метода получения гранулированных напитков: применение концентратов сока для нанесения на увлажненный носитель (например, сахар), распылительная сушка и метод экструзии [8–10].

Механизм получения быстрорастворимых продуктов предполагает, что он зависит не только от материала отдельных частиц, но и от связей между частицами, составляющими гранулу, их размера, пористости, размера, объема и удельной поверхности пор, гранулометрического состава частиц, ее гигроскопичности [11–16].

Таким образом, важной задачей является создание технологического потока, в котором

одновременное применение увлажняющих добавок и структурированных капиллярно-пористых гранул позволило бы скомбинировать полидисперсную систему с большой степенью надежности инстантирования.

Целью работы является разработка математической модели процесса гранулообразования дисперсных смесей для научного обоснования основ технологий получения быстрорастворимых многокомпонентных полидисперсных гранулированных напитков

Объекты и методы исследования

Фракционный состав исходной смеси для проведения исследований состоял из шрота клюквы (20 %), молочной сыворотки (40 %), картофельного крахмала (5 %), сахарной пудры (20 %), премиксов (5 %) и др.

В ходе проведения экспериментов применялся тарельчатый гранулятор с активатором со следующими основными параметрами: угловая скорость (частота вращения) тарели диаметром 800 мм – 45–50 1/мин; частота вращения активатора с диаметром лопастей 60 мм – 2200 об/мин., расход влаги, поступающей в форсунку при осуществлении гранулирования, – 0,12 кг/мин. Распыление производилось через форсунку. Временной интервал $\Delta t_w = 1$ мин.

Исследовалась полидисперсная смесь на основе молочной сыворотки (вес 30 кг) с влагосодержанием (W_m) 8 % и коэффициентом комкуемости (K) 0,7. Промежутки времени для определения гранулометрического состава смеси – 1 мин.

При определении гранулометрического состава использовались стандартные сита с диаметрами отверстий 250, 500, 1000 и 3000 мкм.

Взвешивание остатков на ситах производилось на аналитических весах с точностью до 0,05 г.

Результаты и их обсуждение

Процесс грануляции полидисперсных быстрорастворимых смесей определяется «предрасположенностью» к окомкованию гранулируемого материала. Эта способность характеризуется коэффициентом комкуемости K . Основными факторами, оказывающими влияние на величину коэффициента комкуемости, являются гидрофильность смеси, ее гранулометрический состав, коллоидные фракции в его составе, влажность [13, 17].

Коэффициент комкуемости полидисперсного материала $K = W_{\text{нкв}} / (W_{\text{мкв}} - W_{\text{нкв}})$ определяется в зависимости от $W_{\text{нкв}}$ – наименьшей капиллярной влагоемкости и $W_{\text{мкв}}$ – максимальной капиллярной влагоемкости [11].

Стабильная работа грануляторов тарельчатого типа отмечена при показателе коэффициента K в пределах от 0,6 до 0,8. Следует отметить, что гранулирование в грануляторах эффективно только в том случае, если осуществляется режим переката.

Одним из важнейших показателей, который определяет траекторию движения гранулируемой (комкуемой) смеси, является коэффициент заполнения рабочего объема тарели гранулятора. Коэффициент заполнения в значительной степени влияет на стабильность процесса гранулирования, а также его эффективность. Одним из показателей эффективности гранулятора является его производительность, которая возрастает при заполняемости тарели до обеспечения давления смеси до 0,2 т/м². Однако дальнейшее увеличение данного коэффициента ведет к снижению производительности гранулятора, т. к. при большем заполнении снижается подвижность гранулируемой смеси по тарели, ухудшается разделение гранул по фракциям и др.

При проведении исследований было отмечено, что на тарели гранулятора существуют определенные зоны, в которых гранулы движутся по траекториям, характерным только для этой зоны. В каждой зоне происходят изменения гранулируемой системы, характерные именно этой зоне. Эти изменения определяются режимами работы гранулятора (скорость вращения тарели, угол ее наклона и др.).

Особое место при гранулообразовании играет гарнисаж – защитный слой, образующийся на боковых стенках и дне тарели гранулятора. Гарнисаж образуется при влажности комкуемой смеси 11–12 %. Донный и боковой гарнисаж образуются из исходной смеси, а также мелких зародышей гранул, впредельных в гарнисаж под действием более крупных гранул. Относительная скорость исходных частиц, находящихся в зоне непосредственной близости с гарнисажом, практически равна нулю. Они лишь перекачиваются через уже образовавшиеся

гранулы. В конструкции гранулятора предусмотрены бортовые и донные ножи, которые срезают избыточный гарнисаж при вращении тарели. Срезанные ножами частицы гарнисажа становятся зародышами новых гранул.

Одновременно с образованием устойчивых зародышей гранул и их роста происходит уплотнение гранул, что является заключительной стадией гранулирования. Уплотнение, а следовательно, и упрочнение образовавшихся гранул ускоряют и стабилизируют процесс возникновения зародышей и их рост. При постоянной влажности гранулируемой смеси прочность образовавшихся гранул зависит от их размера, а также свойств самой полидисперсной смеси.

Регулировать геометрические размеры и плотность гранулы, учитывая неоднородность структуры, можно путем варьирования силы удара лопасти по грануле, что достигается изменением числа оборотов активатора. Таким образом можно стабилизировать и весь процесс гранулообразования. При ударе лопасти активатора по грануле отколовшиеся мелкие частицы гранул смещаются к центру тарели, где начинают агрегатироваться с уже имеющимися в центре частицами. Производительность гранулятора при этом возрастает.

Для построения математической модели гранулирования полидисперсных смесей на основе молочной сыворотки механизм образования гранул был представлен в виде «марковского» процесса – процесса «рождения» и «гибели» частиц. Для представления данной модели были использованы системы дифференциальных уравнений Колмогорова [18]. Чтобы использовать этот подход для математического описания процесса грануляции полидисперсной смеси, было принято, что смесь в процессе гранулирования находится следующих семи состояниях:

- 1 – исходная полидисперсная смесь; диаметр частиц менее 250 мкм;
- 2 – зародыши гранул; диаметр частиц 250–500 мкм;
- 3 – гранулы; диаметр 500–1000 мкм;
- 4 – гранулы с диаметром 1000–3000 мкм; гранулы данного типа по размерам соответствуют предъявляемым требованиям с точки зрения готового продукта, но имеют недостаточную плотность и влажность;
- 5 – уплотненное состояние гранул (донный и боковой гарнисаж);
- 6 – гранулы, имеющие размеры больше 3000 мкм;
- 7 – гранулы, имеющие размеры от 1000 до 3000 мкм; имеют необходимые плотность и влажность.

Пребывание в семи состояниях свойственно исследуемой смеси на основе молочной сыворотки

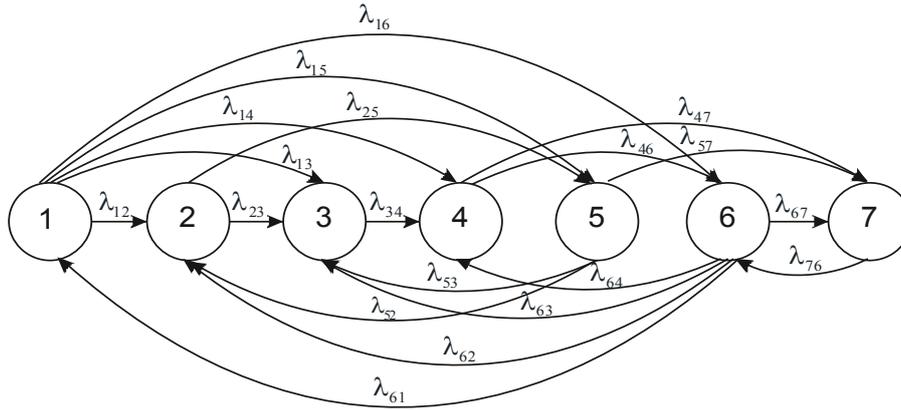


Рисунок 1. Граф состояний быстрорастворимой полидисперсной смеси в грануляторе тарельчатого типа с активатором

Figure 1. State graph of instant polydisperse mix in a disk-type granulator with an activator

и имеющей в своем составе клюквенный шрот, сахарную пудру, крахмал и другие компоненты.

На основании описания кинетики процесса гранулирования, приведенного выше, был разработан граф состояний быстрорастворимой полидисперсной смеси в грануляторе тарельчатого типа с активатором (рис. 1).

Процесс гранулирования последовательно проходит две фазы. Во время первой гарнисаж не

образуется. Во время второй процесс протекает с образованием гарнисажа. Причина в том, что формирование гарнисажа начинается при содержании влаги в смеси более 11 %, в то время как исходная смесь имеет влажность менее 8 %.

В основу математической модели процесса гранулирования полидисперсной смеси на основе молочной сыворотки была положена система дифференциальных уравнений Колмогорова [18].

$$\left. \begin{aligned} dP_1/dt &= -\lambda_{12}P_1(t) - \lambda_{13}P_1(t) - \lambda_{14}P_1(t) - \lambda_{16}P_1(t) + \lambda_{61}P_6(t); \\ dP_2/dt &= -\lambda_{23}P_2(t) + \lambda_{62}P_6(t) + \lambda_{12}P_1(t); \\ dP_3/dt &= -\lambda_{34}P_3(t) + \lambda_{63}P_6(t) + \lambda_{23}P_2(t) + \lambda_{13}P_1(t); \\ dP_4/dt &= -\lambda_{46}P_4(t) - \lambda_{47}P_4(t) + \lambda_{64}P_6(t) + \lambda_{34}P_3(t) + \lambda_{14}P_1(t); \\ dP_6/dt &= -\lambda_{61}P_6(t) - \lambda_{62}P_6(t) - \lambda_{63}P_6(t) - \lambda_{64}P_6(t) - \lambda_{67}P_6(t) + \lambda_{76}P_7(t) + \lambda_{46}P_4(t) + \lambda_{16}P_1(t); \\ dP_7/dt &= -\lambda_{76}P_7(t) + \lambda_{67}P_6(t) + \lambda_{47}P_4(t); \\ P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) + P_6(t) + P_7(t) &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} dP_1/dt &= -\lambda_{12}P_1(t) - \lambda_{13}P_1(t) - \lambda_{14}P_1(t) - \lambda_{15}P_1(t) - \lambda_{16}P_1(t) + \lambda_{61}P_6(t); \\ dP_2/dt &= -\lambda_{23}P_2(t) - \lambda_{25}P_2(t) + \lambda_{52}P_5(t) + \lambda_{62}P_6(t) + \lambda_{12}P_1(t); \\ dP_3/dt &= -\lambda_{34}P_3(t) + \lambda_{53}P_5(t) + \lambda_{63}P_6(t) + \lambda_{23}P_2(t) + \lambda_{13}P_1(t); \\ dP_4/dt &= -\lambda_{46}P_4(t) - \lambda_{47}P_4(t) + \lambda_{64}P_6(t) + \lambda_{34}P_3(t) + \lambda_{14}P_1(t); \\ dP_5/dt &= -\lambda_{53}P_5(t) - \lambda_{52}P_5(t) - \lambda_{57}P_5(t) + \lambda_{25}P_2(t) + \lambda_{15}P_1(t); \\ dP_6/dt &= -\lambda_{61}P_6(t) - \lambda_{62}P_6(t) - \lambda_{63}P_6(t) - \lambda_{64}P_6(t) - \lambda_{67}P_6(t) + \lambda_{76}P_7(t) + \lambda_{46}P_4(t) + \lambda_{16}P_1(t); \\ dP_7/dt &= -\lambda_{76}P_7(t) + \lambda_{67}P_6(t) + \lambda_{57}P_5(t) + \lambda_{47}P_4(t); \\ P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) + P_5(t) + P_6(t) + P_7(t) &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $P_1(t)–P_7(t)$ – вероятность нахождения полидисперсного материала в состояниях, указанных выше (определяется как отношение веса продукта в i -ом состоянии к суммарному весу продукта во всех выделенных состояниях);

$\lambda_{12}–\lambda_{67}$ – интенсивности перехода материала из одного состояния в другое (первая цифра индекса указывает состояние, из которого материал переходит в новое состояние, указанное второй цифрой индекса).

Предлагаемая математическая модель содержит уравнения корреляции переходных процессов исходной смеси из одного состояния в другое с учетом ее фазового состава и влажности. В данной модели может быть учтена способность смеси к агрегатированию, а также режимы работы и конструктивные параметры гранулятора.

Определим интенсивность перехода исходной смеси из одного состояния в другое как соотношение между приращением массы смеси (положительным

или отрицательным) в любом состоянии и временным интервалом, в котором произошло это приращение, с учетом массы смеси на тарели гранулятора.

Значительное влияние на интенсивность переходов оказывают масса смеси, которая может находиться в одном или нескольких состояниях, ее влажность, способность к агрегатированию, а также технологические режимы и особенности конструкции тарельчатого гранулятора с активатором.

Отношение массы смеси в каждом состоянии в определенное время к исходной ее массе (принимая во внимание количество жидкости, поступающей в гранулятор для ее увлажнения) будет определять вероятность пребывания полидисперсной смеси в одном из семи состояний.

Таким образом, в соответствии с предложенным механизмом образования гранул из полидисперсной смеси, основными факторами, оказывающими влияние на интенсивность преобразования исходного материала в зародыши гранул (λ_{12}), являются:

– концентрация сыворотки, которая обладает наибольшими адгезионными свойствами в гранулируемом материале;

– конструктивные параметры активатора (форма и количество лопастей, площадь лопастей, принимающая непосредственное участие в процессе); частота его вращения; угловая скорость активатора, формируя поток комкуемых частиц исходной смеси, должна обеспечить максимальную интенсивность образования зародышей;

– количество поступающей через форсунки влаги, подаваемой в гранулятор для увлажнения гранулируемой полидисперсной смеси на второй стадии процесса зародышеобразования; на первой стадии процесса происходит слипание частиц исходной смеси с высоким содержанием «собственной» влаги;

– конструктивные размеры гранулятора и его тарели, т. к. с увеличением ее диаметра положительный результат от воздействия вращающегося активатора на зародыши гранул уменьшается;

– диаметр тарели гранулятора: увеличение его диаметра значительно снижает эффект воздействия на смесь вращающегося активатора.

Таким образом, принимая во внимание сказанное выше, можно определить интенсивность зародышеобразования, руководствуясь формулами (3)–(4)

$$\lambda_{12} = K_{12}P_1[K_{v2} \Delta V/V_m + K_{p2}SP_1/(0,001n) + K_w \exp(W/2,1) + K_{r1}/D] \quad (3)$$

$$\lambda_{1j} = K_{1j}P_1P_j[K_{vj} \Delta V/V_m + K_{pj}SP_1/(0,001n) + K_w \exp(W/2,1) + K_k/(1-K)^{4,5} + K_{tj}/(0,1 + \Delta D/D_m)], \quad (5)$$

$j = 3, 4, 6;$

где K – коэффициент комкуемости исходной дисперсной смеси;

$$\Delta V = 3,14dn - V_m \quad (4)$$

где V_m – минимальная линейная скорость частицы, сходящей с лопасти активатора, при которой начинается процесс образования зародышей, м/сек;

S – текущая геометрическая площадь лопастей активатора, м²;

D – диаметр тарели, м;

$K_{v2}(1/сек)$, $K_{p2}(об/м^2 * сек^2)$, $K_w(1/% * сек)$, $K_{r1}(м/сек)$ – весовые коэффициенты, определяющие вклад каждого слагаемого выражения (4.11) в интенсивность перехода исходной смеси в зародыши (определяются экспериментально).

Экспериментально установлено, что интенсивность трансформации полидисперсной смеси в гранулы в значительной степени зависит от содержания влаги в исходной смеси. Также влияние на интенсивность оказывает концентрация сыворотки в полидисперсной смеси, содержание уже имеющихся гранул соответствующей фракции, наличие в исходной смеси коллоидных фракций, а также режимы работы и конструктивные параметры гранулятора.

Для того чтобы обеспечить режим перекачивания, активатор должен размещаться в зоне нахождения крупных агрегатированных частиц и гранул. При таком расположении верхняя часть активатора разрушает крупные гранулы, а нижняя – «содействует» процессу образования зародышей.

Принимая во внимание свойства исходной полидисперсной смеси на основе молочной сыворотки, были определены конструктивные параметры тарельчатого гранулятора с активатором, обеспечивающие режим переката комкуемого материала и сегрегации образовавшихся гранул. Для выполнения данных условий соотношение диаметра лопастей активатора и диаметра тарели гранулятора должно находиться в пределах от 1:12 до 1:18. Активатор должен быть установлен в 5–10 мм от дна и борта.

На каждую из частиц, находящихся на тарели, действуют центробежные силы (из-за вращения тарели), силы гравитации (в связи с наклоном тарели) и силы трения смеси о поверхность вращающейся тарели. Одновременно происходит увлажнение смеси через форсунки гранулятора. В результате зародыши гранул, двигаясь по сложной траектории, агрегируются и наращиваются. Крупные гранулы попадают в зону активатора, разрушающего их.

В соответствии с указанными факторами интенсивность перехода исходной смеси в состояния 3, 4, 6 будет определяться по выражению (5)

D_m – минимальный диаметр тарели гранулятора, который определяет нижний предел диапазона

его изменения при поиске оптимальных значений (задается исследователем), м;

ΔD – приращение диаметра тарели, по сравнению с его минимальным значением, которое будет использоваться при исследовании процесса, м.;

$K_{ij}(1/сек)$, $K_k(1/сек)$ – весовые коэффициенты, определяющие вклад соответствующих слагаемых в интенсивность перехода исходной смеси на гранулы.

При налипании на зародыши гранул мелких

$$\lambda_{ij} = K_{ij}P_{j-1} [K_{vj}\Delta V/V_m + K_{pj}SP_1/(0,001n) + K_w \exp(W/2,1) + K_k/(1-K)^{4,5} + K_{ij}(0,1 + \Delta D/D_m)], \quad (6)$$

$$ij = 23,34;$$

Для вычисления интенсивности перехода гранул из состояний 4 и 7 в состояние 6, необходимо использовать выражения (7) и (8).

$$\lambda_{46} = K_{46}P_4 [K_w \exp(W/2,1) + K_k(1-K)^{4,5} + K_{t6}(0,1 + \Delta D/D_m)] \quad (7)$$

$$\lambda_{76} = K_{76}P_7 [K_w \exp(W/2,1) + K_k(1-K)^{4,5} + K_{t6}(0,1 + \Delta D/D_m)] \quad (8)$$

Интенсивность перехода гранулируемого материала из состояния крупных гранул (состояние 6, рис. 1) в состояния, предшествующие и последующие (состояния 1, 2, 3, 4, 7), зависит от количества крупных гранул и особенно от частоты вращения активатора и его активной поверхности. Она определяется из выражения:

$$\lambda_{ij} = K_{ij}P_6 (K_n \Delta n / n_m + K_s S), ij = 61,62,63,64,67. \quad (9)$$

где $\Delta n = n - n_m$; n_m – минимальная скорость вращения лопастей активатора, при которой происходит разрушение крупных гранул, об/сек;

частиц гранулируемой смеси происходит как образование новых, так и рост уже имеющихся гранул.

Факторами, влияющими на интенсивность перехода, будут являться влагосодержание гранулируемой смеси, ее способность к комкуемости, режимы работы гранулятора и особенности его конструкции. Интенсивность данного перехода определяется следующим выражением:

$K_n(1/сек)$, $K_s(1/сек \cdot м^2)$ – коэффициенты, учитывающие вклад соответствующего слагаемого выражения (16) в интенсивность перехода.

Таким же образом определялась интенсивность превращения первоначальной мелкодиспергированной смеси и вновь образовавшихся зародышей гранул в гарнисаж, а из гарнисажа – в небольшие гранулы.

Уплотнение гранул происходит как со стадией роста их зародышей, так и в процессе образования устойчивой гранулы. Как самостоятельная фаза процесса окончательное уплотнение гранулы происходит лишь на заключительной стадии процесса гранулирования. Агрегатированные, плотные гранулы ускоряют процесс роста гранул и их зародышей и одновременно стабилизируют сам процесс.

Наиболее существенным фактором, влияющим на плотность полученных при окатывании гранул, является влажность гранулируемой смеси. Также важными факторами являются свойства смеси

Таблица 1. Экспериментальные данные, характеризующие динамику процесса гранулообразования

Table 1. Experimental data on the granulation dynamics

№ пробы	t, мин	W, %	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
0	0	8,00	1,00	0	0	0	0	0	0
1	1	8,38	0,92	0,08	0	0	0	0	0
2	2	8,76	0,84	0,13	0,03	0	0	0	0
3	3	9,13	0,76	0,14	0,08	0,02	0	0	0
4	4	9,52	0,67	0,14	0,11	0,08	0	0	0
5	5	9,90	0,56	0,13	0,12	0,18	0	0,01	0
6	6	10,28	0,40	0,12	0,10	0,26	0	0,05	0,05
7	7	10,66	0,27	0,12	0,10	0,28	0	0,09	0,14
8	8	11,04	0,18	0,11	0,11	0,28	0	0,07	0,25
9	9	11,42	0,10	0,06	0,10	0,25	0,06	0,04	0,35
10	10	11,80	0,10	0,08	0,10	0,21	0,06	0,03	0,45
11	11	12,18	0,07	0,06	0,09	0,18	0,07	0,03	0,50
12	12	12,56	0,05	0,07	0,09	0,16	0,07	0,03	0,53
13	13	12,94	0,06	0,07	0,08	0,13	0,06	0,03	0,57
14	14	13,32	0,05	0,06	0,07	0,12	0,06	0,03	0,62
15	15	13,70	0,05	0,06	0,06	0,09	0,06	0,02	0,66
16	16	14,08	0,04	0,05	0,05	0,07	0,05	0,02	0,63

Таблица 2. Влияние параметров гранулятора и характеристик исходного продукта на качество готовых гранул

Table 2. Effect of granulator parameters and profile of the initial product on the quality of finished granules

№ опыта	W_m , %	α , град	N , об/мин	n , об/мин	K	F , кг/мин	Δt_w , мин	P_{oc}	P_6	P_7
1	8	45	28	2000	0,75	0,15	1	0,22	0,02	0,76
2	8	45	24	1800	0,70	0,12	0	0,19	0,30	0,51
3	9	45	28	2000	0,80	0,20	1	0,11	0,07	0,82
4	9	45	32	1800	0,70	0,10	0	0,25	0,12	0,63
5	10	40	28	1900	0,75	0	0	0,29	0,15	0,56
6	10	50	28	2000	0,80	0,05	0,5	0,06	0,14	0,80
7	10,5	45	28	2000	0,75	0,05	0,5	0,05	0,16	0,79
8	11	50	28	2000	0,75	0,02	0,5	0,09	0,15	0,76
9	12	45	32	1900	0,80	0	0	0,16	0,18	0,66
10	14	45	28	1800	0,65	0	0	0,34	0,20	0,46
11	14	50	28	1700	0,70	0	0	0,70	0,04	0,26

Таблица 3. Результаты моделирования процесса гранулирования при различных режимах и конструктивных параметров гранулятора тарельчатого типа и характеристик исходной смеси

Table 3. Simulation of the granulation process based on various modes and design parameters of the disk-type granulator and the profile of the initial mixture

№ опыта	W_m , %	α , град	N , об/мин	n , об/мин	K	F , кг/мин	Δt_w , мин	P_{oc}	P_6	P_7
1	8	45	28	2000	0,75	0,15	1	0,25	0,19	0,66
2	8	45	24	1800	0,70	0,12	0	0,19	0,29	0,50
3	9	45	28	2000	0,80	0,20	1	0,11	0,11	0,78
4	9	45	32	1800	0,70	0,10	0	0,28	0,15	0,57
5	10	40	28	1900	0,75	0	0	0,32	0,19	0,49
6	10	50	28	2000	0,80	0,05	0,5	0,08	0,14	0,78
7	10,5	45	28	2000	0,75	0,05	0,5	0,07	0,17	0,76
8	11	50	28	2000	0,75	0,02	0,5	0,11	0,15	0,74
9	12	45	32	1900	0,80	0	0	0,19	0,19	0,62
10	12	45	28	1800	0,70	0	0	0,25	0,17	0,58
11	14	45	28	1800	0,65	0	0	0,30	0,19	0,51
12	14	50	28	1700	0,70	0	0	0,38	0,23	0,39

и размеры гранул. Режимы гранулирования и конструктивные размеры гранулятора влияли в незначительной степени на плотность гранул. Плотность гранулы снижается по мере удаления от центра вращения тарели. Получать гранулы с необходимыми размерами и плотностью можно, варьируя силу удара по грануле [5]. Это достигается изменением угловой скорости гранулятора.

Тогда интенсивность уплотнения гранул, показанная на рисунке 1, как трансформация из состояния 4 в состояние 7 может быть записана в следующем виде (10):

$$\lambda_{47} = K_{47}P_4[K_W \exp(W/2,1) + K_k/(1-K)^{4,5} + K_y \Delta n/n_m] \quad (10)$$

где K_y – коэффициент, показывающий взаимосвязь интенсивности трансформации из состояния 4 в состояние 7 с угловой скоростью активатора, 1/сек.

В таблице 1 приведены экспериментальные данные, характеризующие динамику процесса гранулообразования. Они включают влажность смеси (W , %), вероятность пребывания полидисперсной

смеси в выделенных состояниях для моментов времени ($P_1(t) - P_2(t)$), которая определялась отношением массы смеси в каждом из состояний к первоначальной массе смеси с учетом объема жидкости для увлажнения смеси, добавляемой в гранулятор через форсунки.

Проверка постулированной модели проводилась экспериментальным путем. В ходе проведения экспериментов исследовалась динамика гранулообразования многокомпонентных смесей на основе молочной сыворотки и шрота клюквы.

На основании предварительно полученных данных, а также данных, установленных экспериментальным путем, были получены сведения о влиянии режимов гранулирования, режимов работы гранулятора и фазового состава исходной смеси на характеристики полученного гранулированного продукта (табл. 2).

Размеры гранул определялись с помощью набора стандартных сит (с отверстиями 1,0 и 3,0 мм). Определялось содержание гранул с размерами менее 1,0 мм, более 3,0 мм, а также в диапазоне от 1 до 3 мм.

При влажности исследуемой смеси более 11 % на боковых стенках и днище гранулятора оставался гарнисаж. В таблице 2 приведена вероятность образования гранулируемой смеси, содержащей гранулы менее 1 мм и гарнисажа P_{oc} .

Результаты моделирования процесса гранулирования полидисперсных продуктов при различных характеристиках и значениях конструктивно-режимных параметров, приведенных в таблице 2, показаны в таблице 3.

Проверка результатов, полученных на основании расчетов математической модели процесса гранулирования с результатами экспериментальных исследований, показала, что постулированная модель с достаточной точностью отражает физическую сущность процесса гранулирования полидисперсных смесей на основе местного сырья и молочной сыворотки.

Выводы

Созданы методы и способы регулирования

процесса гранулообразования полидисперсных смесей на основе молочной сыворотки в грануляторах тарельчатого типа.

Для расчета конструктивно-режимных параметров гранулятора, в зависимости от заданного качества продукта, разработана математическая модель процесса, сформированная на основании гипотезы о стохастическом характере протекающих процессов. Процесс гранулирования был описан как сочетание семи состояний в зависимости от гранулометрического состава и определенного времени гранулирования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Maskan, M. Production of pomegranate (*Punica granatum* L.) juice concentrate by various heating methods: Colour degradation and kinetics / M. Maskan // Journal of Food Engineering. – 2006. – Vol. 72, № 3. – P. 218–224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.012>.
2. Использование биологически активных веществ лекарственных растений Сибири в функциональных напитках на основе молочной сыворотки / С. А. Иванова, И. С. Миленцева, Л. К. Асякина [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 1. – С. 14–22. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-14-22>.
3. Влияние криопорошка «яблоко» на качество сывороточного напитка функционального назначения / А. П. Мансуров, В. А. Бочаров, Е. В. Пальчиков [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2019. – Т. 27, № 1. – С. 48–55.
4. Miraballes, M. Application of a pivot profile variant using CATA questions in the development of a whey-based fermented beverage / M. Miraballes, N. Hodos, A. Gambaro // Beverages. – 2018. – Vol. 4, № 1. DOI: <https://doi.org/10.3390/beverages4010011>.
5. Study of the process of concentration as a factor of product quality formation / A. L. Maytakov, S. T. Yusupov, A. M. Popov [et al.] // Foods and Raw Materials. – 2018. – Vol. 6, № 1. – P. 172–181. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-172-181>.
6. Harnessing the capabilities of spray granulation in the food industry for the production of functional foods / I. N. Tikhonova, A. M. Popov, N. V. Tikhonov [et al.] // Procedia Chemistry. – 2014. – Vol. 10. – P. 419–423. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proche.2014.10.070>.
7. Bhattacharjee, C. Fruit juice processing using membrane technology: A review / C. Bhattacharjee, V. K. Saxena, S. Dutta // Innovative Food Science and Emerging Technologies. – 2017. – Vol. 43. – P. 136–153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.002>.
8. Кравченко, Э. Ф. Состояние и перспективы использования молочной сыворотки / Э. Ф. Кравченко // Сыроделие и маслоделие. – 2000. – № 2. – С. 28–29.
9. Совершенствование технологического потока линии производства инстантированного киселя / К. Б. Плотников, А. М. Попов, И. Б. Плотников [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 1. – С. 96–105. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-96-105>.
10. Optimization of concentration process on pomelo fruit juice using response surface methodology (RSM) / S. Keshani, A. Luqman Chuah, M. M. Nourouzi [et al.] // International Food Research Journal. – 2010. – Vol. 17, № 3. – P. 733–742.
11. Моделирование технологий производства многокомпонентных гранулированных продуктов / А. Л. Майтаков, А. М. Попов, Н. Т. Ветрова [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – Т. 80, № 4 (78). – С. 63–68. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-63-68>.
12. Wet-granulation process: phenomenological analysis and process parameters optimization / V. De Simone, D. Caccavo, G. Lamberti [et al.] // Powder Technology. – 2018. – Vol. 340. – P. 411–419. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.09.053>.

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. DOI: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2017-1-137-143>.
14. Thapa, P. Recent trends and future perspective of pharmaceutical wet granulation for better process understanding and product development / P. Thapa, J. Tripathi, S. H. Jeong // *Powder Technology*. – 2019. – Vol. 344. – P. 864–882. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.080>.
15. Maharjan, R. High shear seeded granulation: Its preparation mechanism, formulation, process, evaluation, and mathematical simulation / R. Maharjan, S. H. Jeong // *Powder Technology*. – 2020. – Vol. 366. – P. 667–688. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.03.020>.
16. Shanmugam, S. Granulation techniques and technologies: Recent progresses / S. Shanmugam // *BioImpacts*. – 2015. – Vol. 5, № 1. – P. 55–63. DOI: <https://doi.org/10.15171/bi.2015.04>.
17. Диагностирование технологических параметров качества подсистемы коагуляционного структурирования гранул / Д. В. Дonya, Е. С. Миллер, А. А. Попов [и др.] // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 6–6. – С. 1144–1148.
18. Идентификация процесса гранулирования инстантированных полидисперсных продуктов в тарельчатых грануляторах с активатором / А. М. Попов, М. А. Макковеев, Е. Б. Асташенко [и др.] // *Техника и технология пищевых производств*. – 2010. – Т. 17, № 2. – С. 60–65.

References

1. Maskan M. Production of pomegranate (*Punica granatum L.*) juice concentrate by various heating methods: Colour degradation and kinetics. *Journal of Food Engineering*. 2006;72(3):218–224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.11.012>.
2. Ivanova SA, Milentyeva IS, Asyakina LK, Lukin AA, Kriger OV, Petrov AN. Biologically active substances of siberian medical plants in functional wgey-based drinks. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2019;49(1):14–22. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-14-22>.
3. Mansurov AP, Bocharov VA, Palchikov EV, Ratushny AS. Impact cryopowder “Apple” on the quality of whey beverage functional purpose. *Technologies of food and processing industry of AIC – healthy food*. 2019;27(1):48–55. (In Russ.).
4. Miraballes M, Hodos N, Gambaro A. Application of a pivot profile variant using CATA questions in the development of a whey-based fermented beverage. *Beverages*. 2018;4(1). DOI: <https://doi.org/10.3390/beverages4010011>.
5. Maytakov AL, Yusupov ST, Popov AM, Kravchenko SN, Bakin IA. Study of the process of concentration as a factor of product quality formation. *Foods and Raw Materials*. 2018;6(1):172–181. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-172-181>.
6. Tikhonova IN, Popov AM, Tikhonov NV, Tikhonov VV. Harnessing the capabilities of spray granulation in the food industry for the production of functional foods. *Procedia Chemistry*. 2014;10:419–423. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proche.2014.10.070>.
7. Bhattacharjee C, Saxena VK, Dutta S. Fruit juice processing using membrane technology: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2017;43:136–153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.002>.
8. Kravchenko EhF. Sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya molochnoy syvorotki [The state and prospects of using whey]. *Cheesemaking and Buttermaking*. 2000;(2):28–29. (In Russ.).
9. Plotnikov KB, Popov AM, Plotnikov IB, Kryuk RV, Rudnev SD. Improving the line of instant starch soft drinks. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(1):96–105. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-96-105>.
10. Keshani S, Luqman Chuah A, Nourouzi MM, Russly AR, Jamilah B. Optimization of concentration process on pomelo fruit juice using response surface methodology (RSM). *International Food Research Journal*. 2010;17(3):733–742.
11. Maytakov AL, Popov AM, Vetrova NT, Beryazeva LN, Zverikova MA. Modeling of manufacturing technologies for multicomponent granulated products. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2018;80(4) (78):63–68. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-63-68>.
12. De Simone V, Caccavo D, Lamberti G, Amore M, Barba AA. Wet-granulation process: phenomenological analysis and process parameters optimization. *Powder Technology*. 2018;340:411–419. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.09.053>.
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. DOI: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2017-1-137-143>.
14. Thapa P, Tripathi J, Jeong SH. Recent trends and future perspective of pharmaceutical wet granulation for better process understanding and product development. *Powder Technology*. 2019;344:864–882. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.080>.
15. Maharjan R, Jeong SH. High shear seeded granulation: Its preparation mechanism, formulation, process, evaluation, and mathematical simulation. *Powder Technology*. 2020;366:667–688. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.03.020>.
16. Shanmugam S. Granulation techniques and technologies: Recent progresses. *BioImpacts*. 2015;5(1):55–63. DOI: <https://doi.org/10.15171/bi.2015.04>.

17. Donya DV, Miller ES, Popov AA, Popov AM, Romanenko RYu. Technological quality parameters diagnosing for subsystem of coagulation structuring of granule. *Fundamental research*. 2014;(6–6):1144–1148. (In Russ.).

18. Popov AM, Makkoveev MA, Astahenko EB, Chupin AV. Identification of granulation process of instantized polydispersed products in plate granulators with activator. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2010;17(2):60–65. (In Russ.).

Сведения об авторах

Майтаков Анатолий Леонидович

канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов и автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, e-mail: may585417@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-0714-204X>

Information about the authors

Anatolij L. Maytakov

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Automation of Production Processes and Automatic Control Systems, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, e-mail: may585417@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-0714-204X>

Фотосинтетические пигменты и фенольный потенциал родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) различных эколого-географических популяций

И. Ю. Сергеева*^{ORCID}, А. В. Заушинцена^{ORCID}, Е. Н. Брюхачев^{ORCID}



Дата поступления в редакцию: 12.08.2020
Дата принятия в печать: 28.08.2020

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

*e-mail: sergeeva.76@list.ru



© И. Ю. Сергеева, А. В. Заушинцена, Е. Н. Брюхачев, 2020

Аннотация.

Введение. Растительные фенольные соединения и пигменты оказывают противовоспалительное, иммуномодулирующее, антиоксидантное и адаптогенное действие. Цель исследований – изучение качественного и количественного содержания биологически активных соединений родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) различных популяций.

Объекты и методы исследования. Три популяции родиолы розовой. Определение биологически активных веществ (БАВ) осуществляли методами высокоэффективной жидкостной (ВЭЖХ) и тонкослойной (ТСХ) хроматографии, фотосинтетических пигментов – спектрофотометрическим методом. Статистический анализ результатов выполнен с помощью программного обеспечения Statistica 6.0.

Результаты и их обсуждение. В ходе исследований идентифицировано 12 БАВ популяции родиолы розовой из Горного Алтая. В корневищах с корнями установлено максимальное содержание (мг/г) розеина ($20,45 \pm 3,46$) и салидрозида ($28,16 \pm 2,27$); в надземной части растения: астрагалина ($38,94 \pm 2,21$); трицин-5-О-β-D-глюкопиранозида ($35,25 \pm 1,66$); трицин-7-О-β-D-глюкопиранозида ($30,23 \pm 1,45$); тирозола ($21,80 \pm 1,21$). Идентифицировано 5 БАВ из популяции Кузнецкого Алатау с максимальным содержанием (мг/г) в корневищах с корнями розавина ($16,89 \pm 2,11$) и салидрозида ($14,35 \pm 2,52$). Идентифицировано 6 БАВ из популяции Тункинских хребтов Бурятии с максимальным содержанием (мг/г) в корневищах с корнями розавина ($20,72 \pm 2,11$), метилгаллата ($39,00 \pm 1,05$) и коричневого альдегида ($10,15 \pm 1,93$). В надземной биомассе родиолы розовой изучаемых популяций накапливается порядка 0,333 мг/г хлорофиллов. При этом каротиноидов синтезируется 0,109 мг/г по трем популяциям. Установлены коэффициенты корреляции между содержанием фотосинтетических компонентов с морфометрическими признаками. Обнаружены две положительно высоких зависимости: по содержанию каротиноидов и числа листьев ($r = 0,89 \pm 0,09$) и по содержанию каротиноидов и длины побега ($r = 0,96 \pm 0,22$).

Выводы. Показана возможность извлечения фотосинтетических пигментов из надземной биомассы родиолы розовой для целевого использования в пищевых технологиях.

Ключевые слова. Родиола розовая (*Rhodiola rosea* L.), биологически активные вещества, фенольные соединения, хлорофиллы, каротиноиды

Финансирование. Работа выполнена в рамках соглашения № 075-02-2018-223 с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) от 26.11.2018 (№ 075-15-2019-1362 от 14.06.2019).

Для цитирования: Сергеева, И. Ю. Фотосинтетические пигменты и фенольный потенциал родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) различных эколого-географических популяций / И. Ю. Сергеева, А. В. Заушинцена, Е. Н. Брюхачев // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 393–403. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-393-403>.

Original article

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

Photosynthetic pigments and phenolic potential of *Rhodiola rosea* L. from plant communities of different ecology and geography

Irina Yu. Sergeeva*^{ORCID}, Alexandra V. Zaushintsena^{ORCID}, Evgeniy N. Bryukhachev^{ORCID}

Received: August 12, 2020
Accepted: August 28, 2020

Kemerovo State University,
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia

*e-mail: sergeeva.76@list.ru



Abstract.

Introduction. Longitudinal studies of human activity and metabolism revealed various anti-inflammatory, immunomodulatory, anti-stress, antioxidant, and adaptogenic properties of such secondary plant metabolites as phenolic compounds and pigments. Human cells cannot synthesize these compounds. Therefore, food biotechnology requires new data on the photosynthetic potential of plants with good functional prospects. The research objective was to study the qualitative and quantitative profile of biologically active compounds of *Rhodiola rosea* L. harvested from various plant communities in order to define the potential of their extracts and minor compounds for food technologies.

Study objects and methods. The research featured three communities of *Rhodiola rosea* L. originally located in ecologically and geographically different habitats. They were introduced into Kuzbass from the Kuznetsk Alatau, Gorny Altai, and the Tunka alpine tundra belt in Buryatia. The experiment began in 2018, when the rhizomes were dissected into equal shares of 40–42 g and placed in a medicinal plant nursery. The methods of high-performance liquid (HPLC) and thin-layer (TLC) chromatography were used to study the biologically active substances in the plant biomass. The photosynthetic pigments were detected using the spectrophotometric method. The obtained data underwent a statistical analysis based on Statistica 6.0 software.

Results and discussion. The sample from the Gorny Altai community revealed twelve biologically active substances. Its rhizomes appeared rich in gallic acid with the maximum content (mg/g) of 10.26 ± 2.31 , rosein (20.45 ± 3.46), daphneticin (13.80 ± 2.30), and salidroside (28.16 ± 2.27). The tops demonstrated the maximum content (mg/g) of astragaline (38.94 ± 2.21), tricine (13.07 ± 0.72), tricine-5-O- β -D-glucopyranoside (35.25 ± 1.66), tricine-7-O- β -D-glucopyranoside (30.23 ± 1.45), and tyrosol (21.80 ± 1.21). The Kuznetsk Alatau sample proved to possess five biologically active substances. Its rhizomes had the maximum content (mg/g) of rosavin (16.89 ± 2.11) and salidroside (14.35 ± 2.52). The sample obtained from the Tunka ridge in Buryatia had six biologically active substances with the maximum content (mg/g) of rosavin (20.72 ± 2.11), methylgalate (39.00 ± 1.05), and cinnamaldehyde (10.15 ± 1.93) in the rhizomes. The top biomass of *Rhodiola rosea* L. accumulated about 0.333 mg/g of chlorophylls and synthesized 0.109 mg/g of carotenoids on average. The research established the correlation coefficients between the content of photosynthetic components with morphometric characteristics, including two positive dependences between the content of carotenoids and the number of leaves ($r = 0.89 \pm 0.09$) and the content of carotenoids and shoot length ($r = 0.96 \pm 0.22$).

Conclusion. The samples of *Rhodiola rosea* L. demonstrated a good biotechnological potential for medicine and food industry. The Kuznetsk Alatau plant community proved rich in rosavin, salidroside, and methyl gallate. The Gorny Altai samples revealed high content of salidroside, gallic acid, daphnetitsin, and rosein. The Tunka samples appeared to synthesize a lot of methyl gallate, rosavin, and cinnamaldehyde. In addition, the top biomass of the Altai sample proved rich in tricine and its derivatives, astragaline and tyrosol. The research also established the possibility of commercial extraction of photosynthetic pigments from the top biomass of *Rhodiola rosea* L. for functional food production.

Keywords. *Rhodiola rosea* L., biologically active substances, phenolic compounds, chlorophylls, carotenoids

Funding. The research is part of agreement No. 075-02-2018-223 dated November 26, 2018, with the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka) (No. 075-15-2019-1362 dated June 14, 2019).

For citation: Sergeeva IYu, Zaushintsena AV, Bryukhachev EN. Photosynthetic pigments and phenolic potential of *Rhodiola rosea* L. from plant communities of different ecology and geography. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):393–403. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-393-403>.

Введение

Вторичные метаболиты имеют существенное значение для развития растений. Из класса фенольных соединений в большей мере известны: простейшие фенольные соединения, оксибензойные кислоты, фенилпропаноиды и флавоноиды. Они участвуют во многих процессах роста и развития растений. Например, в пигментации, в сигнальных и репродуктивных функциях. Есть предположения, что они могут регулировать клеточное деление. Фенольные соединения защищают растения от различных неблагоприятных факторов окружающей среды [1, 2].

В клетках животных и человека данные соединения не синтезируются. Их присутствие в тканях зависит от потребления в пищу растительных продуктов. Доказано, что смертность от инфаркта миокарда, онкологических и ряда других

заболеваний характеризуется обратной корреляцией с потреблением флавоноидов [2–5].

Пищевые волокна дифференцированно влияют на выработку фенольных кислот из рутина в модели ферментации *in vitro* микробиоты кишечника человека. Доказано, что полифенолы усваиваются вместе с пищевыми волокнами. Они оба катаболизируются кишечной микробиотой и могут влиять на нее. Однако взаимодействие между ними и воздействие на их результирующие микробные продукты в настоящее время изучено не в полной мере. Взаимодействие между волокном и фенолами изменяет производство фенольных кислот и может стать ключевым фактором в повышении пользы для здоровья человека [6].

Ассоциация привычного потребления кофе с более низким риском заболеваний, таких как сахарный диабет 2 типа, хронические заболевания

печени, некоторые виды рака или снижение смертности, была подтверждена в проспективных когортных исследованиях во многих регионах мира. Молекулярный механизм до сих пор не выяснен. Радикально-очищающая и противовоспалительная активность кофейных компонентов слишком слаба, чтобы объяснить такие эффекты. Н. Kolb с соавторами утверждают, что кофе как растительная пища обладает полезными свойствами овощей и фруктов [7]. Недавние исследования выявили механизм укрепления здоровья общий для кофе, овощей и фруктов. Это активация адаптивного клеточного ответа, характеризующегося повышением регуляции белков, участвующих в защите клеток, в частности антиоксидантных, детоксицирующих и восстанавливающих ферментов. Ключом к этому ответу является активация системы Nrf2 (Nuclear factor erythroid 2-related factor-2) фенольными фитохимическими веществами, которая индуцирует экспрессию генов клеточной защиты. Кофе играет доминирующую роль в этом отношении, поскольку является основным диетическим источником фенольных кислот и полифенолов в развитых странах мира. Поддерживающим действием может быть модуляция микробиоты кишечника непереваженными пребиотическими компонентами кофе, но имеющиеся данные все еще скудны. Исследователи пришли к выводу, что кофе использует те же пути укрепления здоровья, что и другие овощи и фрукты. Кофейные зерна можно рассматривать как здоровую растительную пищу и основного поставщика пищевых фенольных фитохимикатов [7].

Метабомика – это мощный инструмент для исследования взаимодействий между питанием, питательными веществами и метаболизмом человека. *Ecklonia cava* – съедобная коричневая водоросль, которая встречается в Корее и Японии и содержит уникальные полифенолы, называемые флоротанинами. В исследованиях метаболомного профилирования J. Kim с соавторами показано, что уровни рибофлавина, уркановой кислоты, 5-гидрокси-6-метоксииндола глюкуроноиды и гуанидино валериановой кислоты были значительно повышены в группе приема сеаполинола по сравнению с группой плацебо [8]. Для выявления связи между уровнями метаболитов и клиническими характеристиками, связанными с жировыми отложениями, был проведен корреляционный анализ. Среди метаболитов, концентрация которых изменялась в группе потребления сеаполинола, рибофлавин был связан с индексом массы тела, массой тела, жировой массой и процентом жира в организме. Эти данные свидетельствуют о том, что снижение жировых отложений, вызванное приемом сеаполинола, связано с усилением антиоксидантного эффекта рибофлавина [8].

Ученые стали активно изучать родиолу розовую (*Rhodiola rosea* L.) с конца 50-х начала 60-х гг. прошлого столетия. В результате многолетних

исследований установлены противовоспалительные, иммуномодулирующие, антистрессовые, антиоксидантные, адаптогенные и другие положительные свойства данного вида [9, 10, 14].

Наиболее известным фенолоспиртом родиолы розовой является п-оксифенилэтанол – агликон гликозида салидрозид. Он является активным действующим веществом. В корневищах родиолы розовой накапливается достаточное количество салидрозидов [11]. Они оказывают противовоспалительное воздействие через производство цитокинов. Также предупреждают поражение клеток внутренних органов при гипоксии и ишемии и используются в качестве антиастматического средства [11]. Вещества группы фенилпропаноидов родиолы розовой (розавин, розарин, розин) имеют тонизирующий, ноотропный и седативный эффект при использовании в лечебных целях [9, 13].

Флавоны трицина, содержащиеся в наземной части родиолы розовой, могут блокировать свободные радикалы и положительно влиять на восстановление внутриклеточной структуры, замедлять процессы старения. Их полезно принимать в зоне радиоактивного излучения [2, 9]. Тирозол активно применяется для лечения фибрилляции предсердий при субклиническом тиреотоксикозе. Он приводит к уменьшению объема щитовидной железы, увеличивает уровень тиреотропного гормона, необходимого для оптимизации ее функций [13]. Астрагалин как сильный антиоксидант может купировать воспалительные процессы в организме, ингибировать рост злокачественных опухолей, восстанавливать поврежденные клетки головного мозга, очищать кровеносные сосуды и укреплять костную ткань. Следовательно, наземная часть родиолы розовой обладает совсем иными, но также уникальными свойствами, и может быть пригодна для приготовления различных напитков для профилактики и предупреждения сердечно-сосудистых заболеваний и онкологии [9].

В последние годы активно развиваются исследования по фотодинамической терапии [15, 16]. Они основаны на использовании двух групп пигментов: хлорофиллов и каротиноидов. Их производные могут проявлять антибактериальные, антиоксидантные и даже противораковые свойства. По данным института питания, уровень β-каротина в плазме крови у большинства населения нашей страны снижен в 2 раза по сравнению с населением зарубежных стран. Это приводит к риску развития разных форм рака. Так, ученые подтвердили ингибирование опухоли, а при удвоении дозы – полную гибель клеток, при введении β-каротина в дозе 6,25 мг/л [17]. Пополнить фонд витаминов в организме можно путем введения в рацион овощей и фруктов ярко-желтого и оранжевого цвета

(морковь, картофель с желтой и оранжевой окраской мякоти, абрикосы, некоторые виды дынь и тыквы), которые содержат около 80 % провитамина А в форме β-каротина. Витамин А участвует в синтезе стероидных гормонов (в том числе прогестерона), сперматогенезе, является антагонистом гормона щитовидной железы – тироксина [17].

Следовательно, в практике пищевых биотехнологий характеристика фотосинтетического потенциала растений, планируемых для введения в новый функциональный продукт, весьма актуальна.

Объекты и методы исследования

Объектами исследований стали три интродуцированные в Кузбасс эколого-географически отдаленные популяции родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.): из Кузнецкого Алатау, Горного Алтая и Тункинских гольцов Бурятии. В 2018 г. корневища каждого растения расчленены на одинаковые по массе доли (40–42 г) и помещены в питомник лекарственных растений.

Определение морфометрических показателей растений. Линейные параметры побегов и листьев у родиолы розовой измеряли штангенциркулем.

Определение фотосинтетических пигментов. Содержание пигментов в надземной биомассе растений осуществляли с использованием спектрофотометра марки Jenway 6305 UV/VIS по методике, изложенной в [18].

Определение фенольных соединений. Определение биологически активных веществ в биомассе родиолы розовой осуществляли методами высокоэффективной жидкостной (ВЭЖХ) и тонкослойной (ТСХ) хроматографии. Подготовку проб и идентификацию веществ проводили по методике, описанной в [18].

Количественный анализ исследуемых вторичных метаболитов (флавонов) определяли с помощью калибровочных кривых, построенных в диапазоне концентраций 1,9–235 мкг/мл [20, 21].

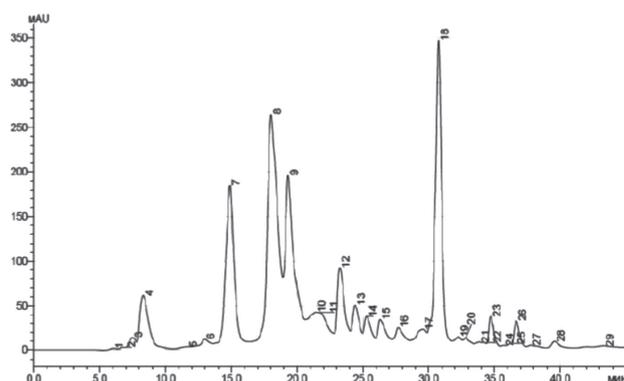


Рисунок 1. Хроматограмма этанольного извлечения фенолов из корневища и корней родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) в популяции Горного Алтая

Figure 1. Chromatogram of ethanol extraction of phenols from the rhizome and roots of *Rhodiola rosea* L. (Gorny Altai)

Статистическая обработка результатов исследования. Все эксперименты проведены в трех-четыре кратной повторности. Данные представлены по среднему значению показателей и стандартному отклонению. Статистический анализ результатов выполнен с помощью однофакторного дисперсионного анализа с использованием программного обеспечения Statistica 6.0.

Результаты и их обсуждение

Идентифицированные биологически активные вещества в корневищах с корнями в популяции родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) Горного Алтая представлены на рисунке 1 и в таблице 1.

Хроматографический профиль отражает преобладающее количество салидрозид (пик 18). На 20,4 % и 63,6 % меньше содержание розеина и галловой кислоты. Малое количество розавина, который отвечает за антифунгицидные, антимикробные,

Таблица 1. Содержание фенольных соединений в корневищах и корнях родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) из популяции Горного Алтая

Table 1. Content of phenolic compounds in the rhizomes and roots of *Rhodiola rosea* L. (Gorny Altai)

Компонент	Время удерживания, сек	Номер пика хроматограммы	Количественное содержание, мг/г
Триандрин	497,64	4	4,85 ± 0,98
Гербацетин	777,66	6	0,42 ± 0,05
Галловая кислота	892,92	7	10,26 ± 2,31
Розеин	1080,60	8	20,45 ± 3,46
Дафнетицин	1158,42	9	13,8 ± 2,30
Плантамайозид	1284,60	10	2,74 ± 0,25
Розарин	1303,68	11	2,47 ± 0,25
Сирингин	1394,00	12	4,86 ± 0,86
Кемпферол	1463,00	13	2,20 ± 0,23
Розавин	1516,00	14	1,63 ± 0,16
Гербацитин	1661,19	16	1,13 ± 0,12
Салидрозид	2205,12	18	28,16 ± 2,27

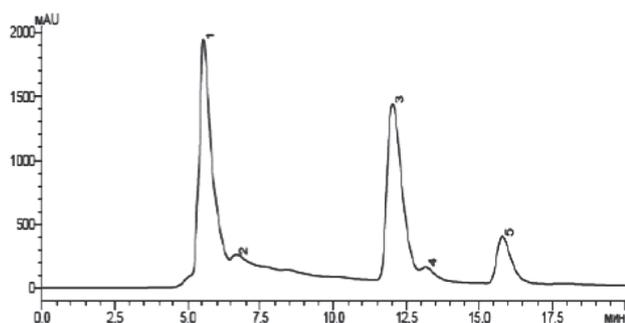


Рисунок 2. Хроматограмма этанольного извлечения фенолов из корневища и корней родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) в популяции Кузнецкого Алатау

Figure 2. Chromatogram of ethanol extraction of phenols from the rhizome and roots of *Rhodiola rosea* L. (Kuznetsk Alatau)

антиоксидантные и другие функции. Из 12 идентифицированных БАВ от 5 до 10 % в общем объеме занимают триандрин, розарин и сиригин, более 10 % – дафнетицин, розеин, галловая кислота и салидрозид.

В популяции из Кузнецкого Алатау выделено 5 выраженных пиков на хроматограмме (рис. 2). Они соответствуют таким важным для медицинского и пищевого использования биологически активным веществам, как розавин, салидрозид, розин, розарин и метилгаллат (табл. 2).

Полученные результаты свидетельствуют о существенном накоплении розавина в корневищах с корнями исследуемой популяции. Его количественное содержание находится на уровне 37 % от общего числа идентифицированных фенолов.

Таблица 2. Содержание фенольных соединений в корневищах и корнях родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) из популяции Кузнецкого Алатау

Table 2. Content of phenolic compounds in the rhizomes and roots of *Rhodiola rosea* L. (Kuznetsk Alatau)

Компонент	Время удерживания, сек	Номер пика хроматограммы	Количественное содержание, мг/г
Розавин	721,80	1	16,89 ± 2,11
Салидрозид	354,12	3	14,35 ± 2,52
Розин	780,23	2	5,04 ± 0,93
Розарин	1331,65	4	2,01 ± 0,37
Метилгаллат	732,25	5	6,80 ± 1,05

Таблица 3. Содержание фенольных соединений в корневищах и корнях родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) из популяции Тункинских хребтов Бурятии

Table 3. Content of phenolic compounds in the rhizomes and roots of *Rhodiola rosea* L. (Tunka ridge, Buryatia)

Компонент	Время удержания, сек	Номер пика хроматограммы	Количественное содержание, мг/г
Метилгаллат	97,2	1	39,00 ± 1,05
Салидрозид	133,8	11	1,82 ± 2,52
Коричный альдегид	318,6	5	10,15 ± 1,93
Розавин	652,8	9	20,72 ± 2,11
Розарин	725,4	6	1,59 ± 0,37
Розин	975,6	2	6,39 ± 0,93

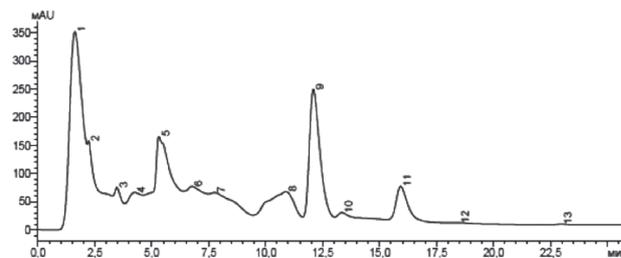


Рисунок 3. Хроматограмма этанольного извлечения фенолов из корневища и корней родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) в популяции Тункинских хребтов Бурятии

Figure 3. Chromatogram of ethanol extraction of phenols from the rhizome and roots of *Rhodiola rosea* L. (Tunka ridge, Buryatia)

Существенную долю (32 %) в структуре БАВ родиолы розовой из популяции Кузнецкого Алатау занимает салидрозид. На такие важные компоненты, как розарин, розин и метилгаллат, приходится около 1/3 от общего объема.

В исследуемом виде родиолы розовой самого географически удаленного местообитания (Тункинские хребты, Бурятия) наблюдается схожий с предыдущим образцом растения состав фитохимических компонентов как по численности, так и по фактическим значениям в отношении некоторых БАВ (рис. 3, табл. 3).

Показано, что почти половина от суммы идентифицированных биологически активных веществ родиолы розовой данной популяции приходится на долю метилгаллата. В корневищах с корнями установлено значительное содержание розавина и коричневого альдегида. Меньше всего

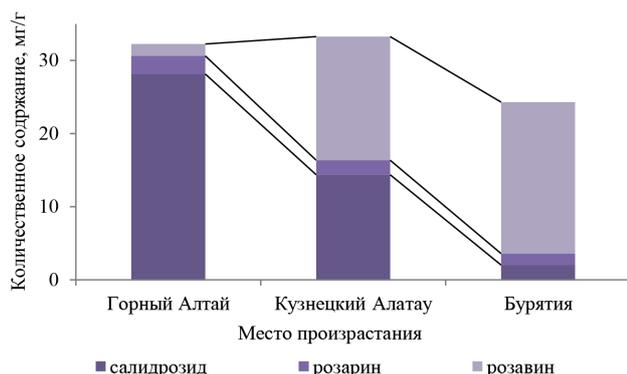


Рисунок 4. Количественное содержание БАВ по сумме трех равно обнаруженных и идентифицированных в корневище с корнями исследуемых популяций родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.)

Figure 4. Quantitative content of biologically active substances in the rhizome and roots of the three samples of *Rhodiola rosea* L.

в популяции этой эколого-географической зоны сформировано салидрозида. Отличительной особенностью данной популяции родиолы розовой является наличие коричневого альдегида.

Сравнительная оценка количественного содержания по сумме трех одинаково обнаруженных и идентифицированных в корневище с корнями трех популяций родиолы розовой (рис. 4) показала, что максимальное накопление салидрозида отмечено в популяции родиолы розовой, районированной в Горном Алтае. При этом в результате вторичного метаболизма в популяциях растения Кузнецкого Алатау и Бурятии синтезируется соизмеримое количество розавина.

Вследствие обнаружения большого спектра БАВ в корневище с корнями популяции родиолы розовой Горного Алтая исследовали надземную биомассу этой популяции (рис. 5, табл. 4). Выявлено высокое накопление пяти фитохимических соединений.

Установлено, что на долю трицина и его производных приходится более половины (56,6 %) от всего объема идентифицированных БАВ. Почти третью часть (27,9 %) занимает астрагалин, 15,6 % – тирозол.

Таблица 4. Содержание фенольных соединений в надземной биомассе родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) из популяции Горного Алтая

Table 4. Content of phenolic compounds in the top biomass of *Rhodiola rosea* L. (Gorny Altai)

Компонент	Время удерживания, сек	Номер пика хроматограммы	Количественное содержание, мг/г
Астрагалин	1068,30	8	38,94 ± 2,21
Трицин-5-O-β-D-глюкопиранозид	1123,79	10	35,25 ± 1,66
Трицин-7-O-β-D-глюкопиранозид	1152,96	9	30,23 ± 1,45
Тирозол	1477,08	14	21,80 ± 1,21
Трицин	1754,94	2	13,07 ± 0,72

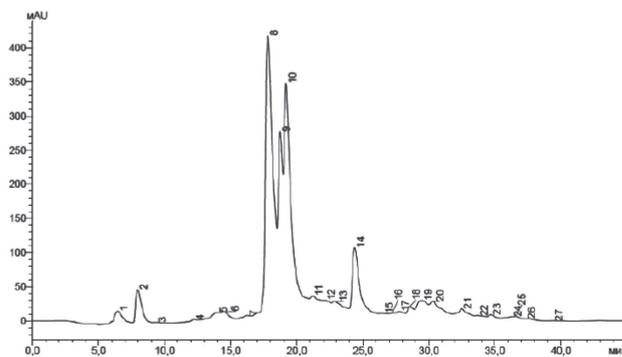


Рисунок 5. Хроматограмма этанольного извлечения фенолов из надземной биомассы родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) в популяции Горного Алтая

Figure 5. Chromatogram of ethanol extraction of phenols from the top biomass of *Rhodiola rosea* L. (Gorny Altai)

Анализ биоматериала корневищ с корнями и надземной биомассы родиолы розовой, интродуцированных из трех эколого-географически отдаленных ареалов, позволил установить, что они существенно отличаются по содержанию биологически активных веществ. Изменчивость показателей по одним и тем же компонентам БАВ связана с почвенно-климатическими факторами местообитания растений: световым, тепловым, водным и питательным режимами фрагментарных почв.

Для практического извлечения максимального количества и привлечения в пищевые биотехнологии можно рекомендовать биоматериал, районированный по территориям: розавин, салидрозид и метилгаллат – Кузнецкий Алатау; салидрозид, галловая кислота, дафнетицин и розеин – Горный Алтай; метилгаллат, розавин и коричный альдегид – Тункинские хребты; трицин и его производные, астрагалин и тирозол – из надземной биомассы родиолы розовой в популяции Горного Алтая.

От степени развития морфометрических характеристик растения зависит уровень фотосинтеза и накопления пластических веществ в корневищах. Это дает прогноз того насколько можно ожидать разницу в накоплении общей биологической

Таблица 5. Средние параметры побегов родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) различных популяций (2019–2020 гг.)Table 5. Average dimensions of *Rhodiola rosea* L. shoots in different plant communities (2019–2020)

Популяция растений	Длина побега, см	Число листьев, шт	Плотность листьев	Диаметр побега, мм		
				в основании	в середине	под верхним листом
Горный Алтай	13,20 ± 0,03	35,00 ± 0,68	9,40 ± 0,24	3,60 ± 0,05	3,10 ± 0,07	2,20 ± 0,08
Кузнецкий Алатау	8,18 ± 0,04	14,80 ± 0,11	7,26 ± 0,07	5,00 ± 0,06	3,80 ± 0,06	2,10 ± 0,06
Тункинские хребты	12,03 ± 0,09	42,20 ± 0,12	14,10 ± 0,11	4,80 ± 0,10	3,40 ± 0,07	2,50 ± 0,07

Таблица 6. Содержание фотосинтетических пигментов в надземной массе родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) различных популяций (2019–2020 гг.)Table 6. Content of photosynthetic pigments in the top mass of *Rhodiola rosea* L. from different plant communities (2019–2020)

Популяция растений	Содержание хлорофиллов, мг/г				Содержание каротиноидов, мг/г (%)	Соотношение хлорофиллов (a + b)/каротиноидов
	a	b	a + b	a/b		
Горный Алтай	0,258	0,120	0,378	2,15	0,122 (32,3)	3,10
Кузнецкий Алатау	0,230	0,090	0,323	2,55	0,090 (27,9)	3,59
Тункинские хребты	0,212	0,085	0,297	2,49	0,115 (37,8)	2,58
Среднее	0,233	0,098	0,333	2,40	0,109	3,05
Размах варьирования	0,046	0,035	0,081	0,40	0,032	1,01

продуктивности корневищ и травянистой части, с одной стороны, фотосинтетической продуктивности, с другой. Побег и листья имеют хорошо выраженную зеленую окраску. Но важно понимать насколько изучаемые популяции различны по накоплению фотосинтетических пигментов, имеющих значение в профилактике заболеваний и поддержании здоровья у разных групп населения.

В данном исследовании представлены результаты измерений линейных параметров побегов в период весенней вегетации (2019–2020 гг.) (табл. 5) и анализа содержания фотосинтетических пигментов в надземной массе родиолы розовой различных популяций (табл. 6).

При культивировании интродуцированных популяций родиолы розовой отмечено, что образцы существенно отличаются по фенотипу растения, по размерам и форме листьев. Растения из популяции Горного Алтая сформировали куст из большого числа побегов (9–11 шт) по сравнению с образцами из Кузнецкого Алатау (5–7 шт) и Тункинских гольцов (Бурятия) (6–8 шт).

В надземной биомассе родиолы розовой изучаемых популяций накапливается порядка

0,333 мг/г хлорофиллов *a* и *b* в суммарном выражении. При этом на треть меньше синтезируется каротиноидов. На этом фоне на диапазон от 9,6 % до 18,3 % больше накапливают хлорофиллы *a* и *b* образцы растения из популяции Кузнецкого Алатау и Горного Алтая. Последний из выше упомянутых имеет достоверное превышение по содержанию каротиноидов (на 26,3 %), в сравнении с показателями второго образца, но находится на одном уровне с показателями популяции родиолы розовой с Тункинских хребтов.

В результате расчета коэффициентов корреляции между содержанием фотосинтетических компонентов с морфометрическими признаками (размерностью побегов, числом листьев на побеге и их плотностью) установлено только две положительно высоких зависимости – по содержанию каротиноидов и числа листьев ($r = 0,89 \pm 0,09$) и по содержанию каротиноидов и длины побега ($r = 0,96 \pm 0,22$) (табл. 7).

По другим парам признаков корреляционные связи были статистически незначительными или средними.

Таким образом, показана возможность извлечения фотосинтетических пигментов из

Таблица 7. Зависимость содержания фотосинтетических пигментов от морфометрических показателей растений

Table 7. Content of photosynthetic pigments vs. morphometric dimensions of plants

Показатели	Коэффициент корреляции (R ± r)			
	содержание хлорофилла <i>a</i>	содержание хлорофилла <i>b</i>	содержание хлорофиллов (<i>a</i> + <i>b</i>)	содержание каротиноидов
Длина побега	0,37 ± 0,10	0,63 ± 0,15	0,37 ± 0,08	0,96 ± 0,22
Число листьев	0,58 ± 0,09	0,43 ± 0,10	0,64 ± 0,13	0,89 ± 0,09
Плотность листьев	0,21 ± 0,06	0,17 ± 0,04	0,011 ± 0,03	0,65 ± 0,09
Диаметр побега	0,34 ± 0,010	0,18 ± 0,04	0,46 ± 0,11	0,21 ± 0,06

надземной биомассы родиолы розовой для целевого использования в пищевых технологиях. Однако в настоящее время для этих целей в большей мере используют фитохимические вещества из корневищ и корней.

Выводы

В ходе исследований идентифицировано 12 биологически активных компонента фенольной природы из популяции родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.) Горного Алтая. В корневищах с корнями установлено максимальное содержание (мг/г) галловой кислоты ($10,26 \pm 2,31$), розеина ($20,45 \pm 3,46$), дафнетицина ($13,80 \pm 2,30$) и салидрозида ($28,16 \pm 2,27$); в надземной части растения – астрагалина ($38,94 \pm 2,21$), трицина ($13,07 \pm 0,72$) и его производных – трицин-5-O- β -D-глюкопиранозида ($35,25 \pm 1,66$), трицин-7-O- β -D-глюкопиранозида ($30,23 \pm 1,45$), тирозола ($21,80 \pm 1,21$).

Идентифицировано 5 биологически активных компонентов фенольной природы из популяции родиолы розовой Кузнецкого Алатау с максимальным содержанием (мг/г) в корневищах с корнями розавина ($16,89 \pm 2,11$) и салидрозида ($14,35 \pm 2,52$).

Идентифицировано 6 биологически активных компонентов фенольной природы из популяции родиолы розовой Тункинских хребтов Бурятии с максимальным содержанием (мг/г) в корневищах с корнями розавина ($20,72 \pm 2,11$), метилгалата ($39,00 \pm 1,05$) и коричневого альдегида ($10,15 \pm 1,93$).

В среднем в надземной биомассе родиолы розовой изучаемых популяций накапливается порядка 0,333 мг/г хлорофиллов *a* и *b* в суммарном выражении. При этом каротиноидов синтезируется 0,109 мг/г по трем популяциям. Установлены коэффициенты корреляции между содержанием фотосинтетических компонентов с морфометрическими признаками. Обнаружены две положительно высоких зависимости

– по содержанию каротиноидов и числа листьев ($r = 0,89 \pm 0,09$) и по содержанию каротиноидов и длины побега ($r = 0,96 \pm 0,22$).

Для сохранения биоразнообразия ареалов родиолы розовой как вида, занесенного в Красную книгу Российской Федерации и в Красные книги большинства субъектов РФ, рекомендуется активно вводить уникальные растения в биотехнологии микрклонального размножения, селективного отбора форм с повышенным содержанием вторичных метаболитов и последующего выращивания в культуре *in vitro*. Индивидуальный отбор генотипов с повышенными показателями БАВ и последующим введением в культуру *in vitro* позволит без ущерба для окружающей среды получать планируемый объём вторичных метаболитов.

Критерии авторства

И. Ю. Сергеева – аналитический обзор литературы, написание и общая редакция рукописи. А. В. Заушинцева – методология и организация исследований. Е. Н. Брюхачев – получение фактического материала.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

I.Yu. Sergeeva reviewed scientific sources, wrote and proof-read the manuscript. A.V. Zaushintsen developed the methodology and supervised the research. E.N. Bryukhachev was responsible for obtaining the factual material.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Куркина, А. В. Флавоноиды фармакопейных растений / А. В. Куркина. – Самара : Офорт, 2012. – 290 с.
2. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина / Ю. С. Тараховский, Ю. А. Ким, Б. С. Абдрасилов [и др.]. – Пущино : Synchronobook, 2013. – 310 с.
3. The role of food antioxidants, benefits of functional foods, and influence of feeding habits on the health of the older person: An overview / D. W. Wilson, P. Nash, H. Singh [et al.] // Antioxidants. – 2017. – Vol. 6, № 4. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox6040081>.
4. Folic acid prevents cardiac dysfunction and reduces myocardial fibrosis in a mouse model of high-fat diet-induced obesity / W. Li, R. Tang, S. Ouyang [et al.] // Nutrition and Metabolism. – 2017. – Vol. 14, № 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12986-017-0224-0>.
5. Antiproliferative and proapoptotic activities of anthocyanin and anthocyanidin extracts from blueberry fruits on B16-F10 melanoma cells / E. Wang, Y. Liu, C. Xu [et al.] // Food and Nutrition Research. – 2017. – Vol. 61. DOI: <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1325308>.
6. Dietary fibres differentially impact on the production of phenolic acids from rutin in an in vitro fermentation model of the human gut microbiota / J. Havlik, V. Marinello, A. Gardyne [et al.] // Nutrients. – 2020. – Vol. 12, № 6. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12061577>.

7. Kolb, H. Health effects of coffee: mechanism unraveled? / H. Kolb, K. Kempf, S. Martin // *Nutrients*. – 2020. – Vol. 12, № 6. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12061842>.
8. Urinary metabolomic profiling analysis and evaluation of the effect of *Ecklonia cava* extract intake / J. Kim, Y. Jung, E. Lee [et al.] // *Nutrients*. – 2020. – Vol. 12, № 5. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12051407>.
9. Anti-inflammatory effects of *Rhodiola rosea* L.: A review / W.-L. Pu, M.-Y. Zhang, R.-Y. Bai [et al.] // *Biomedicine and Pharmacotherapy*. – 2020. – Vol. 121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.109552>.
10. Nikolaichuk, H. Effect directed detection of *Rhodiola rosea* L. root and rhizome extract / H. Nikolaichuk, M. Studziński, I. M. Choma // *Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies*. – 2020. – Vol. 43, № 11–12. – P. 361–366. DOI: <https://doi.org/10.1080/10826076.2020.1725549>.
11. Extracts of *Rhodiola rosea* L. and *Scutellaria galericulata* L. in functional dairy products / A. V. Zaushintsena, E. N. Bruhachev, O. V. Belashova [et al.] // *Foods and Raw Materials*. – 2020. – Vol. 8, № 1. – P. 163–170. DOI: <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-163-170>.
12. Anti-inflammatory effect of salidroside on phorbol-12-myristate-13-acetate plus A23187-mediated inflammation in HMC-1 cells / D.-W. Yang, O.-H. Kang, Y.-S. Lee [et al.] // *International Journal of Molecular Medicine*. – 2016. – Vol. 38, № 6. – P. 1864–1870. DOI: <https://doi.org/10.3892/ijmm.2016.2781>.
13. Современная фитотерапия как наука и учебная дисциплина в медицинском и фармацевтическом образовании / В. А. Куркин, Е. В. Авдеева, А. В. Куркина [и др.] // *Медицинский вестник Башкортостана*. – 2016. – Т. 11, № 5 (65). – С. 149–152.
14. Использование биологически активных веществ лекарственных растений Сибири в функциональных напитках на основе молочной сыворотки / С. А. Иванова, И. С. Милентьева, Л. К. Асякина [и др.] // *Техника и технология пищевых производств*. – 2019. – Т. 49, № 1. – С. 14–22. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-14-22>.
15. Galasso, C. Carotenoids from marine organisms: Biological functions and industrial applications / C. Galasso, C. Corinaldesi, C. Sansone // *Antioxidants*. – 2017. – Vol. 6, № 4. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox6040096>.
16. Antioxidant activities of aqueous extracts from 12 Chinese edible flowers *in vitro* and *in vivo* / F. Wang, M. Miao, H. Xia [et al.] // *Food and Nutrition Research*. – 2016. – Vol. 61, № 1. DOI: <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1265324>.
17. Fruit and vegetable intakes, dietary antioxidant nutrients, and total mortality in Spanish adults: Findings from the Spanish cohort of the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC-Spain) / A. Agudo, L. Cabrera, P. Amiano [et al.] // *American Journal of Clinical Nutrition*. – 2007. – Vol. 85, № 6. – P. 1634–1642. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/85.6.1634>.
18. Шлык, А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А. А. Шлык // *Биохимические методы в физиологии растений* / О. А. Павлинова. – М. : Наука, 1971. – С. 154–157.
19. Введение в культуру *in vitro* вида *Rhodiola rosea* L. из популяции Кузнецкого Алатау / О. О. Бабич, А. Ю. Просеков, А. В. Заушинцева [и др.] // *Sciences of Europe*. – 2019. – Vol. 43, № 43–1. – P. 3–7.
20. Определение гидроксикоричных кислот в лекарственном растительном сырье и объектах растительного происхождения / Ю. В. Медведев, О. И. Передеряев, А. П. Арзамасцев [и др.] // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. – 2010. – № 3. – С. 25–31.
21. Pellati, F. Simultaneous metabolite fingerprinting of hydrophilic and lipophilic compounds in *Echinacea pallida* by high-performance liquid chromatography with diode array and electrospray ionization-mass spectrometry detection / F. Pellati, G. Orlandini, S. Benvenuti // *Journal of Chromatography A*. – 2012. – Vol. 1242. – P. 43–58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.04.025>.

References

1. Kurkina AV. Flavonoidy farmakopeynykh rasteniy [Flavonoids of pharmacopoeial plants]. Samara: Ofort; 2012. 290 p. (In Russ.).
2. Tarakhovskiy YuS, Kim YuA, Abdrasilov BS, Muzafarov EN. Flavonoidy: biokhimiya, biofizika, meditsina [Flavonoids: biochemistry, biophysics, and medicine]. Pushchino: Sunchrobook; 2013. 310 p. (In Russ.).
3. Wilson DW, Nash P, Singh H, Griffiths K, Singh R, De Meester F, et al. The role of food antioxidants, benefits of functional foods, and influence of feeding habits on the health of the older person: An overview. *Antioxidants*. 2017;6(4). DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox6040081>.
4. Li W, Tang R, Ouyang S, Ma F, Liu Z, Wu J. Folic acid prevents cardiac dysfunction and reduces myocardial fibrosis in a mouse model of high-fat diet-induced obesity. *Nutrition and Metabolism*. 2017;14(1). DOI: <https://doi.org/10.1186/s12986-017-0224-0>.
5. Wang E, Liu Y, Xu C, Liu J. Antiproliferative and proapoptotic activities of anthocyanin and anthocyanidin extracts from blueberry fruits on B16-F10 melanoma cells. *Food and Nutrition Research*. 2017;61. DOI: <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1325308>.
6. Havlik J, Marinello V, Gardyne A, Hou M, Mullen W, Morrison DJ. Dietary fibres differentially impact on the production of phenolic acids from rutin in an *in vitro* fermentation model of the human gut microbiota. *Nutrients*. 2020;12(6). DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12061577>.

7. Kolb H, Kempf K, Martin S. Health effects of coffee: mechanism unraveled? *Nutrients*. 2020;12(6). DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12061842>.
8. Kim J, Jung Y, Lee E, Jang S, Ryu DH, Kwon O, et al. Urinary metabolomic profiling analysis and evaluation of the effect of *Ecklonia cava* extract intake. *Nutrients*. 2020;12(5). DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12051407>.
9. Pu W-L, Zhang M-Y, Bai R-Y, Sun L-K, Li W-H, Yu Y-L, et al. Anti-inflammatory effects of *Rhodiola rosea* L.: A review. *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2020;121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.109552>.
10. Nikolaichuk H, Studziński M, Choma IM. Effect directed detection of *Rhodiola rosea* L. root and rhizome extract. *Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies*. 2020;43(11–12):361–366. DOI: <https://doi.org/10.1080/10826076.2020.1725549>.
11. Zaushintsena AV, Bruhachev EN, Belashova OV, Asyakina LK, Kurbanova MG, Vesnina AD, et al. Extracts of *Rhodiola rosea* L. and *Scutellaria galericulata* L. in functional dairy products. *Foods and Raw Materials*. 2020;8(1):163–170. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-163-170>.
12. Yang D-W, Kang O-H, Lee Y-S, Han S-H, Lee S-W, Cha S-W, et al. Anti-inflammatory effect of salidroside on phorbol-12-myristate-13-acetate plus A23187-mediated inflammation in HMC-1 cells. *International Journal of Molecular Medicine*. 2016;38(6):1864–1870. DOI: <https://doi.org/10.3892/ijmm.2016.2781>.
13. Kurkin VA, Avdeeva EV, Kurkina AV, Pravdivtseva OE, Braslavskii VB. Modern phytotherapy as the science and educational discipline in medical and pharmaceutical education. *Bashkortostan Medical Journal*. 2016;11(5)(65):149–152.
14. Ivanova SA, Milentyeva IS, Asyakina LK, Lukin AA, Kriger OV, Petrov AN. Biologically active substances of siberian medical plants in functional wgey-based drinks. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2019;49(1):14–22. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-14-22>.
15. Galasso C, Corinaldesi C, Sansone C. Carotenoids from marine organisms: Biological functions and industrial applications. *Antioxidants*. 2017;6(4). DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox6040096>.
16. Wang F, Miao M, Xia H, Yang L-G, Wang S-K, Sun G-J. Antioxidant activities of aqueous extracts from 12 Chinese edible flowers *in vitro* and *in vivo*. *Food and Nutrition Research*. 2016;61(1). DOI: <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1265324>.
17. Agudo A, Cabrera L, Amiano P, Ardanaz E, Barricarte A, Berenguer T, et al. Fruit and vegetable intakes, dietary antioxidant nutrients, and total mortality in Spanish adults: Findings from the Spanish cohort of the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC-Spain). *American Journal of Clinical Nutrition*. 2007;85(6):1634–1642. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/85.6.1634>.
18. Shlyk AA. Opredelenie khlorofillov i karotinoidov v ehkstraktakh zelenykh list'ev [Determining chlorophylls and carotenoids in green leaf extracts]. In: Pavlinova OA, editor. *Biokhimicheskie metody v fiziologii rasteniy* [Biochemical Methods in Plant Physiology]. Moscow: Nauka; 1971. pp. 154–157. (In Russ.).
19. Babich OO, Prosekov AYu, Sauschinzena AV, Bryukhachev EN, Cooper AE, Hanjina AV, et al. Introduction in vitro culture of *Rhodiola rosea* L. species from a population of Kuznetsk Alatau. *Sciences of Europe*. 2019;43(43–1):3–7. (In Russ.).
20. Medvedev YuV, Perederyaev OI, Arzamastsev AP, Eller KI, Prokofeva VI. Determination of hydroxycinnamic acids in raw medicinal plant materials and plant extracts. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2010;(3):25–31. (In Russ.).
21. Pellati F, Orlandini G, Benvenuti S. Simultaneous metabolite fingerprinting of hydrophilic and lipophilic compounds in *Echinacea pallida* by high-performance liquid chromatography with diode array and electrospray ionization-mass spectrometry detection. *Journal of Chromatography A*. 2012;1242:43–58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.04.025>.

Сведения об авторах

Сергеева Ирина Юрьевна

д-р техн. наук, доцент, заведующая кафедрой технологии продуктов питания из растительного сырья, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-55, e-mail: sergeeva.76@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1686-0131>

Заушинцена Александра Васильевна

д-р био. наук, профессор, профессор кафедры экологии и природопользования, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 58-01-66, e-mail: alexaz58@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4645-828X>

Information about the authors

Irina Yu. Sergeeva

Dr.Sci.(Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Foods from Vegetable Raw Technology, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-55, e-mail: sergeeva.76@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1686-0131>

Alexandra V. Zaushintsena

Dr.Sci.(Bio.), Professor, Professor of the Department of Ecology and Environmental Management, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 58-01-66, e-mail: alexaz58@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4645-828X>

Брюхачев Евгений Николаевич

старший преподаватель кафедры физического воспитания, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (950) 271-81-69, e-mail: bruhachev86@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-9334-6606>

Evgeniy N. Bryukhachev

Senior Lecturer of the Department of Physical Education, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (950) 271-81-69, e-mail: bruhachev86@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-9334-6606>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-404-414>
УДК 663.958.7:577.16

Оригинальная статья
<http://fptt.ru/>

Биохимический состав чая и его изменения под влиянием различных факторов

Н. Б. Платонова, О. Г. Белоус*



Дата поступления в редакцию: 26.02.2020
Дата принятия в печать: 24.07.2020

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр
«Субтропический научный центр Российской академии наук»,
354002, Россия, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 2/28

*e-mail: oksana191962@mail.ru



© Н. Б. Платонова, О. Г. Белоус, 2020

Аннотация.

Введение. Изучение особенностей антиоксидантного комплекса чая, выращиваемого в России, актуально и перспективно. Цель исследований заключается в изучении закономерностей формирования компонентов, формирующих качественные характеристики чая (как сырья, так и готового продукта). В данной статье рассмотрены изменения биохимического состава чая (пигментов, витаминов, кофеина и аминокислот) как в процессе вегетации, так и при переработки сырья в готовый продукт.

Объекты и методы исследования. Сорта и формы чая, произрастающие в Краснодарском крае: сорта – «Колхида» (контроль) и «Сочи»; формы – № 582, 3823, 855, 2264. Исследования проводили в полевых и лабораторных условиях: на плантации коллекционно-маточных насаждений чая и лаборатории физиологии и биохимии растений. В работе использовали классические и современные методы анализа.

Результаты и их обсуждение. Проведен комплексный анализ биохимического состава чая. Высокие значения аскорбиновой кислоты отмечены во флешах форм № 2264, 3823 и сорта «Сочи». Но ее стабильным содержанием характеризуются форма № 3823 и сорт чая «Сочи». У всех опытных растений в июле отмечен наибольший синтез кофеина (от 24,633 до 28,614 мг/г). При переработке чайного сырья в готовый чай происходит деструкция кофеина и его количество снижается. В сырье опытных образцов идентифицировано 11 аминокислот, наибольшее количество которых синтезируется в мае. При переработке происходит не только общие изменения в их количестве, но и прослеживаются сортовые различия в метаболических реакциях превращения аминокислот.

Выводы. Выявлено варьирование всех биологически активных веществ как во флешах, так и в готовом чае. Это связано, как с сортовыми особенностями, так и с влиянием погодных условий вегетации.

Ключевые слова. Напитки, флеша, готовый продукт, вегетация, переработка, антиоксиданты, пигменты, витамины, кофеин, аминокислоты

Финансирование. Работа выполнена на базе ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук» (ФИЦ СНЦ РАН) в рамках плана НИР 0683-2014-0009-04 «Изучить закономерности формирования компонентов антиоксидантной системы чая, произрастающего на плантациях Краснодарского края».

Для цитирования: Платонова, Н. Б. Биохимический состав чая и его изменения под влиянием различных факторов / Н. Б. Платонова, О. Г. Белоус // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 404–414. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-404-414>.

Original article

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

Biochemical Composition of Tea and its Changes under Different Factors

Natalia B. Platonova, Oksana G. Belous*

Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre
of the Russian Academy of Sciences,
2/28, Yana Fabritsiusa Str., Sochi, 354002, Russia

Received: February 26, 2020
Accepted: July 24, 2020

*e-mail: oksana191962@mail.ru



© N.B. Platonova, O.G. Belous, 2020

Abstract.

Introduction. The present research featured the antioxidant complex of Russian tea varieties. The research objective was to study the formation patterns of the components responsible for the quality characteristics of tea as a raw material and finished product. The paper describes the changes that the biochemical composition of tea undergoes during the growing season and during processing. The study focused on pigments, vitamins, caffeine, and amino acids.

Study objects and methods. The research featured the following varieties of tea grown in the Krasnodar region of Russia: “Kolkhida” (control) and “Sochi”; forms – No. 582, 3823, 855, and 2264. The research was performed on the foundation plantation of collection tea in the village of Uch-Dere (Lazarevsky district of Sochi, Krasnodar region, Russia) and in the laboratory of plant physiology and biochemistry. The study involved traditional and advanced research methods.

Results and discussion. The paper introduces some results of a comprehensive analysis of the biochemical composition of various tea sorts. Shoots No. 2264, 3823, and the “Sochi” variety demonstrated high values of ascorbic acid. Form No. 3823 and the “Sochi” variety proved to have a relatively stable content of ascorbic acid. All experimental plants had the highest caffeine synthesis in July (from 24.633 to 28.614 µg/100 g). Processing destroyed caffeine and reduced its amount. The experimental samples of raw materials had eleven amino acids, the largest number being synthesized in May. Processing triggered both general changes in their quantity and varietal differences in the metabolic reactions of amino acid conversion.

Conclusion. The tea flushes and finished products differed in all biologically active substances, which is associated with both varietal characteristics and the effect of weather conditions during vegetation.

Keywords. Beverages, sprouts, finished product, vegetation, processing, antioxidants, pigments, vitamins, caffeine, amino acids

Funding. The research was performed on the premises of the Federal Research Centre of the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (FRC SSC RAS) as part of research plan No. 0683-2019-0009-04 “Patterns of formation of components of the antioxidant system in tea varieties grown on Krasnodar plantations”.

For citation: Platonova NB, Belous OG. Biochemical Composition of Tea and its Changes under Different Factors. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):404–414. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-404-414>.

Введение

Качество готового чая зависит от состава веществ, входящих в сырье (2-х или 3-х листовая флешь). Основные компоненты, обуславливающие вкус и аромат чая, – это экстрактивные вещества. Не менее важную роль играют алкалоидсодержащие вещества – кофеин, теобромин, теофиллин. Из алкалоидсодержащих соединений в процессе вегетации образуется и накапливается кофеин (2–3 %). В листьях чая как свежих, так и подвергнутых технологической переработке, содержится богатый состав пигментов (хлорофилл, кротиноиды, антоцианы, флавоноиды), от которых зависит цвета чая. Количественное содержание флавоноидов является одним из показателей качества чая [1, 3–8]. Поэтому для первичной оценки качества растительного сырья используется количественное определение содержания флавоноидов [9–11].

Пищевую ценность чая определяют входящие в его состав жирные кислоты. Их содержание зависит от многих факторов, в том числе, и от места произрастания растений. Краснодарские чаи богаты содержанием олеиновой и линолевой кислот. Также в чае присутствует пальмитиновая кислота, но в меньших количествах. Не менее важным компонентом, обуславливающим аромат чая, является состав эфирного масла. В чае присутствует богатый аминокислотный комплекс, изменяющийся как под воздействием абиогенных факторов, так и в процессе переработки сырья в готовый продукт [12].

Метаболизм растений чая основан на процессах накопления и превращения дубильных веществ

(катехиновый комплекс, преимущественно (-)-эпигаллокатехингаллат), содержание которых достигает 30 % и более. Дубильные вещества или танины, а именно теотанин, – это сложная смесь галловых эфиров катехинов и самих катехинов [13–18]. Окисленный теотанин придает чайному настою желто-коричневый или красноватый цвет, терпкость и вкус. В качестве фиксатора аромата важное значение имеют смолистые вещества чая. Не случайно многие качественные краснодарские чаи имеют камелиевый аромат.

Биохимический состав как чайного сырья, так и чая, изучен достаточно полно [2, 4, 8, 12, 19, 20]. Однако основные биохимические показатели значительно варьируются в зависимости от района произрастания чайного растения, погодных условий, сорта, агротехники, зрелости листа, переработки, хранения и многих других факторов [21–27].

На протяжении многих десятилетий в ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук» ведется контроль качественных показателей чая (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze), выращиваемого в условиях влажных субтропиков России. За этот период изучено влияние комплекса экологических факторов на биохимические компоненты [22–24]. Рассматривалось действие на качество чая удобрений (микро-, мезо- и макроэлементов) [21, 25, 26]. Поднимались вопросы изменения биохимических характеристик при разных способах сбора сырья (3-х листной флеш) и сроках проведения омолаживающей подрезки чая [22].

Однако в исследованиях рассматривались только три биохимических компонента чайного сырья: танины, сумма водорастворимых экстрактивных веществ и кофеин. Полного изучения особенностей формирования и изменения антиоксидантного комплекса как чайного сырья, так и готового (черного и зеленого) чая, не проводилось. Это направление исследований является актуальным как в нашей стране, так и за рубежом. Об этом свидетельствует большое количество публикаций по данной теме.

Проводимое комплексное исследование формирования и изменения антиоксидантной системы чая, выращиваемого в условиях влажных субтропиков России (Сочи, Краснодарский край), актуально и перспективно.

Целью исследований является изучение влияния погодных условий вегетации и способов переработки на формирования компонентов антиоксидантной системы чая (как сырья, так и готового продукта), произрастающего на плантациях Краснодарского края.

Новизна исследований состоит в том, что впервые в условиях влажных субтропиков Краснодарского края проведены комплексные исследования, направленные на оценку антиоксидантных компонентов различных сортов и форм чая. Установлена сортовая специфичность чая по аккумуляции антиоксидантных компонентов.

Объекты и методы исследования

Объектами исследований являются сорта и формы чая, произрастающие на плантации Всероссийского научно-исследовательского института цветоводства и субтропических культур: сорта – «Колхида» (контроль) и «Сочи»; формы – № 582, № 3823, № 855, № 2264, а также зеленый и черный чай, производимый из их флешей в лаборатории ФИЦ СНИЦ РАН.

Полевые отборы чайного сырья (3-х листовая флеш) выполнены на плантации коллекционно-маточных насаждений чая (1981 г. посадки) в п. Уч-Дере (Лазаревский район города Сочи, Краснодарский край, Россия). Лабораторные исследования проводили в лаборатории физиологии и биохимии растений ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук».

Содержание фотосинтетических пигментов. При исследовании использовали спектрофотометрический метод определения содержания хлорофилла и каротиноидов с экстракцией пигментов 96 % этанолом и использованием расчетных формул Смита и Бенитеза [28]. Оптическую плотность экстрагированных пигментов измеряли на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ (ООО «ЭКРОСХИМ», Россия) при длине волны для хлорофиллов *a* и *b* – 665 и 649 нм, для каротиноидов – 440,5 нм в кюветках с толщиной слоя 10 мм.

Анализ количества флавоноидов (TFs и TRs). В качестве экстракта для извлечения флавоноидов из сырья использовали 95 % этиловый спирт¹. Для определения флавоноидов (TFs и TRs) использовался метод УФ-ВИС спектрофотометрии с применением анализатора ПЭ-5400ВИ при длине волны 665 нм для теафлавинов и 825 нм для теарубигинов. Повторность лабораторных анализов трехкратная.

Определение аскорбиновой кислоты (АК) проводили классическим йодометрическим методом [29]. Титрантом служил раствор йодата калия. Титрование вели в присутствии йодида калия и хлороводородной кислоты (индикатор – крахмал) до стойкого синего окрашивания.

Флавоноидные соединения с Р-витаминной активностью (рутин) определяли методом титрования в соответствии с методикой анализа витаминов [30]. Количественное определение рутина основано на его способности окисляться перманганатом. В качестве индикатора применяется индигокармин, который вступает в реакцию с перманганатом после того, как окислится весь рутин.

Определение кофеина и анализ аминокислотного состава (АС) осуществляли методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).

Статистический анализ. Все химические анализы выполнены в трехкратном повторении. Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с использованием пакета ANOVA в STATGRAPHICS Centurion XV (версия 15.1.02, StatPointTechnologies) и MS Excel 2007. Статистический анализ включал одномерный дисперсионный анализ (метод сравнения средних с использованием дисперсионного анализа, *t*-критерий). Статистически значимой принята значимость различия между средними значениями при $P < 0,05$. Все эксперименты проводили в шестикратной повторности. Различия между повторностями оценивались с помощью непарного *t*-теста. Результаты исследования выражены в виде средней арифметической величины со стандартным отклонением.

Результаты и их обсуждение

Содержание пигментов в чае (фотосинтетические пигменты и флавоноиды). Изучена динамика накопления хлорофилла во флешей чая. В начале активной вегетации (в мае) синтезируется наибольшее количество суммы хлорофиллов (1,335 мг/г). К августу следует плавное падение (1,068 мг/г). Другая закономерность выявлена при изучении содержания каротиноидов и флавоноидов (теарубигинов и теафлавинов). Наблюдается повышение содержания этих групп пигментов в

¹ AOAC International. Quality assurance check list for small laboratories. 2009. – 13 p.

Таблица 1. Содержание фотосинтетических пигментов в 3-х листовых флешах чая

Table 1. Content of photosynthetic pigments in three-leaves flushes

Сорт/форма	Содержание пигментов в мг/г сырого веса				
	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Хлорофилл <i>a</i> / Хлорофилл <i>b</i>	Скаротиноиды	Σхлорофилл/ Σскаротиноиды
«Колхида»	0,878 ± 0,150	0,307 ± 0,086	3,151 ± 0,201	0,302 ± 0,057	3,922 ± 0,798
№ 3823	0,732 ± 0,197	0,279 ± 0,076	2,813 ± 0,227	0,285 ± 0,057	3,549 ± 0,536
№ 582	0,726 ± 0,261	0,257 ± 0,100	2,958 ± 0,339	0,269 ± 0,091	3,650 ± 0,359
№ 855	0,689 ± 0,143	0,237 ± 0,084	3,362 ± 0,210	0,256 ± 0,047	3,621 ± 0,475
№ 2264	0,732 ± 0,113	0,258 ± 0,063	3,088 ± 0,135	0,273 ± 0,041	3,630 ± 0,342
НСР ($P \leq 0,05$)	0,11*	0,05*	0,84	0,04	0,21*

* $P < 0,05$ при сравнении с контролем.

* $P < 0.05$ when compared with control.

Таблица 2. Содержание флавоноидов в чае и сырье, мг/г

Table 2. Flavonoids in finished tea products and raw materials, mg/g

Сорт/форма	3-х листовая флешь		Зеленый чай		Черный чай	
	TFs	TRs	TFs	TRs	TFs	TRs
«Колхида»	0,07 ± 0,02	0,84 ± 0,30	0,04 ± 0,01	0,72 ± 0,28	0,07 ± 0,02	1,03 ± 0,28
«Сочи»	0,07 ± 0,02	0,88 ± 0,47	0,04 ± 0,02	0,71 ± 0,39	0,07 ± 0,01	0,95 ± 0,19
№ 3823	0,09 ± 0,03	1,17 ± 0,60	0,04 ± 0,01	0,60 ± 0,23	0,08 ± 0,02	1,08 ± 0,17
№ 582	0,11 ± 0,04	1,33 ± 0,65	0,04 ± 0,02	0,70 ± 0,32	0,09 ± 0,02	1,18 ± 0,32
№ 855	0,10 ± 0,02	1,13 ± 0,39	0,04 ± 0,02	0,63 ± 0,41	0,07 ± 0,01	0,10 ± 0,12
№ 2264	0,09 ± 0,02	1,10 ± 0,36	0,03 ± 0,01	0,53 ± 0,13	0,08 ± 0,02	1,03 ± 0,15

июне, спад в июле, к августу снова незначительное повышение. Повышение связано с неблагоприятными условиями – засухой в эти периоды. Кроме того, отмечено, что в содержании фотосинтетических пигментов проявляются генотипические особенности (табл. 1).

Основным фотосинтезирующим пигментом является хлорофилл *a*. Каротиноиды передают дополнительную энергию на хлорофиллы, выполняя светособирающую функцию, и отводят от них избыточную энергию, выполняя светозащитную функцию [31, 32]. Значительное накопление в листьях хлорофилла *a* характерно для контрольного сорта «Колхида». В изучаемых формах содержание хлорофилла *a* ниже (табл. 1).

Содержание хлорофилла *b* свидетельствует об уровне приспособленности растений к низкой освещенности. Для растений чая это не актуально, т. к. выращивается культура на открытых пространствах и обрезка шпалеры стимулирует рост листьев на верхней ее части. Но часто плотно сомкнутая шпалера ограничивает открытое для солнечных лучей пространство и многие листья боковых поверхностей оказываются в тени. В данном случае повышенное содержание хлорофилла *b* предпочтительно для фотосинтезирующей деятельности листьев данного яруса. Отмечена та же закономерность, что и с хлорофиллом *a*: больше хлорофилла *b* накапливается контрольным сортом; различия наблюдаются и на границе существенности,

как и у форм № 3823 и 2264. Как известно, важным является не только содержание того или иного пигмента, но и их соотношение [33–35]. Во всех изученных нами растениях чая соотношение *a/b* находится в пределах от 2,813 мг/г до 3,362 мг/г. Отличие между формами незначительно (табл. 1).

Фотосинтетические пигменты относятся не только к компонентам антиоксидантной защиты самого растения, но и входят в состав биохимических компонентов напитка, т. к. при приготовлении черного и зеленого чая пигменты в той или иной степени переходят в настой. При переработке происходят изменения в их содержании: значительная часть хлорофилла при обработке паром, а также в процессе сушки разрушается. Поэтому хлорофилла в зеленом чае меньше, чем в сырье. При изготовлении черного чая зеленых пигментов остается еще меньше, чем в зеленом. Но это хорошо, т. к. присутствие хлорофилла в готовом чае отрицательно сказывается на его качестве – чай приобретает травяной запах и нехарактерный вкус. Наименьшее количество этого пигмента в зеленом и черном чае содержит форма № 855 (0,33 мг/г), что является предпочтительным. Каротиноиды обеспечивают не только устойчивость растения к экзогенному стрессу, но и его ценность как источника антиоксидантов для человека. Их содержание в готовом чае (черном и зеленом) является положительным фактом. Однако нами не выявлено изменений в их содержании. При этом каротиноиды не учитываются при качественной оценке чая.

Теофлавин (TFs) и теарубигин (TRs) образуются в процессе ферментации чая. Выявлено, что между качеством сырья и содержанием флавоноидов в чае существует прямая зависимость: в зеленом чае теафлавинов меньше, чем в сырье и черном чае (табл. 2). Теафлавины – нестойкие соединения и при окислении легко переходят в теарубигины, поэтому в черном чае теарубигинов значительно больше.

В сортовом разрезе можно отметить, что сырье форм № 855 и № 582 (0,10 мг/г и 0,11 мг/г соответственно), а также черный чай, полученный из формы № 582 (0,09 мг/г), показали наиболее высокие значения содержания теафлавинов. Наибольшее содержание теарубигинов было обнаружено в формах № 582 и № 3823 (1,33 и 1,17 мг/г). В настоящее время не существует стандарта по содержанию этих пигментов в готовом чае. Но, согласно международным правилам, любой чай должен иметь соотношение теафлавинов и теарубигинов не ниже, чем 1:16, а в чае высшего качества 1:10. По данному показателю краснодарский чай соответствует международным требованиям.

Определение аскорбиновой кислоты (АК). Содержание АК является очень важным параметром, поскольку это соединение представляет собой активный антиоксидант (рис. 1). В целом по сортам количество витамина С колеблется от 100 мг/100 г до 148 мг/100 г и наблюдается увеличение АК от мая к августу. В начале вегетации количество витамина С в опытных растениях было равным, находясь в пределах от 136,1 мг/100 г до 159,6 мг/100 г. Некоторое повышение температуры и период затухания ростовых процессов вызвали изменении в накоплении АК в соответствии с сортовыми особенностями. Отмечено, что в июне количество витамина С во флешах формы № 2264 было максимально. Однако этот показатель у данной формы варьируется: уже в июле содержание АК падает в 11 раз до минимума – с 256,4 мг/100 г до 23,5 мг/100 г.

В среднем за вегетацию высокие значения отмечены во флешах форм № 2264, № 3823 и сорта

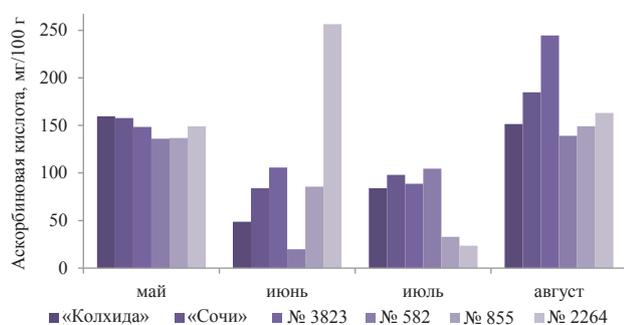


Рисунок 1. Содержание аскорбиновой кислоты в 3-х листной флеше чая, мг/100 г

Figure 1. Ascorbic acid in three-leaves flushes, mg/100 g

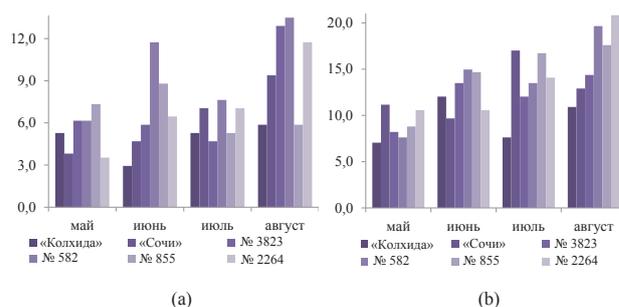


Рисунок 2. Содержание аскорбиновой кислоты в черном (а) и зеленом (б) чае, в мг/100 г

Figure 2. Ascorbic acid in black (a) and green (b) tea, mg/100 g

«Сочи». Считаем, что растения с относительно стабильным содержанием витамина С во флешах более ценны, например, форма № 3823 и сорт «Сочи», у которых коэффициент вариации АК во флешах за период вегетации составил 47 % и 36 % соответственно. При переработке сырья в готовый продукт вследствие термической обработки происходит разрушение витамина С в 17–20 раз при производстве черного чая и почти в 9 раз – при приготовлении зеленого (рис. 2а и б). Остальные закономерности остаются те же, что и при анализе сырья (3-х листной флешы), т. е. от мая к августу количество аскорбиновой кислоты растет.

Флавоноидные соединения с Р-витаминной активностью (рутин). Не менее важным компонентом антиоксидантной системы растений чая является витамин Р (рутин). Он не только принимает участие в основных окислительно-восстановительных реакциях, но и усиливает впитывание аскорбиновой кислоты [36]. Исследования показали, что, в зависимости от сезона сбора чайного листа, в зеленом чае содержание рутина колеблется от 36 мг/100 г до 41 мг/100 г, а в черном – в пределах 17–20 мг/100 г. Это в 2 раза ниже, чем в зеленом не ферментированном чае. Генотипические особенности оказывают не меньшее влияние на содержание витамина Р (табл. 3). Так, низким содержанием рутина характеризуется сорт «Сочи» (в среднем 10 мг/100 г в черном чае и 34 мг/100 г в зеленом), высоким – форма № 582 (около 23 мг/100 г в черном чае и 46 мг/100 г в зеленом). Значительным показателем является вариабельность в течение сезона: стабильное содержание витамина Р в чае форм № 2264, 3823, 582 и 855 (V, % = 9; 7; 5; 2).

Определение кофеина. Еще один очень важный биологически активный компонент чая – кофеин, динамика накопления которого в 3-х листной флеше представлена на рисунке 3. В чае содержится одна из разновидностей кофеина – теин. Особенностью теина является мягкое действие на организм человека. Так как кофеин присутствует в сочетании с чайным танином, то при заваривании он не экстрагируется полностью и напиток действует на

Таблица 3. Содержание витамина Р в готовом чае, мг/100 г

Table 3. Vitamin P in finished tea products, mg/100 g

Сорт/форма	Май		Июнь		Июль		Август	
	черный	зеленый	черный	зеленый	черный	зеленый	черный	зеленый
«Колхида»	17,6 ± 1,6	32,5 ± 0,9	17,1 ± 0,9	34,7 ± 0,9	20,8 ± 1,6	39,5 ± 2,4	24,0 ± 0,9	33,6 ± 1,6
«Сочи»	10,1 ± 0,9	36,8 ± 1,6	9,1 ± 0,9	36,3 ± 0,9	11,7 ± 0,9	36,3 ± 0,9	10,7 ± 0,9	25,6 ± 2,8
№ 3823	21,9 ± 0,9	38,9 ± 4,6	18,7 ± 0,9	45,3 ± 0,9	20,3 ± 0,9	35,7 ± 0,9	21,9 ± 0,9	30,9 ± 0,9
№ 582	25,1 ± 0,9	47,5 ± 3,7	21,9 ± 0,9	47,5 ± 0,9	20,3 ± 0,9	46,9 ± 18	25,6 ± 1,6	42,7 ± 2,4
№ 855	14,9 ± 0,9	38,9 ± 0,9	16,5 ± 0,9	39,5 ± 0,9	22,9 ± 0,9	38,4 ± 0,9	17,1 ± 0,9	37,9 ± 0,9
№ 2264	13,3 ± 0,9	36,3 ± 0,9	16,5 ± 0,9	43,7 ± 2,4	20,3 ± 0,9	40,5 ± 0,9	23,5 ± 0,9	43,7 ± 0,9

Таблица 4. Содержание кофеина в 3-х листной флеш и готовом (зеленом) чае

Table 4. Caffeine content in three-leaves flushes and finished green tea

Сорт/форма	Кофеин, мг/г	
	Флеш	Зеленый чай
«Колхида»	26,93	19,35
«Сочи»	24,63	18,45
№ 3823	27,10	20,42
№ 582	28,61	20,20
№ 855	26,73	21,83
№ 2264	25,38	21,89

организм мягче. При этом, в отличие от кофеина, теин не накапливается в организме. На количество кофеина (теина) в чае влияет условия выращивания, применяемая агротехника и условия переработки [1, 10, 11]. Это полностью подтверждается и нашими исследованиями (рис. 3, табл. 4).

Как видно из представленных данных, наибольший синтез кофеина у всех опытных растений отмечен в июле (от 24,633 мг/г до 28,614 мг/г). Значительное превышение его количества, по сравнению с остальными периодами вегетации, составляет 1,6–2,3 раза. При переработке чайного сырья (3-х листной флеш) в готовый чай происходит некоторая деструкция кофеина и его количество снижается в 1,2–1,4 раза (табл. 4).

Анализ аминокислотного состава (АС). Белки и аминокислоты определяют вкус и аромат чая. В связи с эти начато установление содержания аминокислот

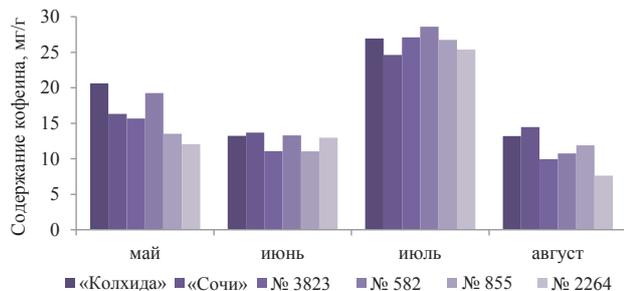


Рисунок 3. Динамика содержания кофеина в 3-х листной флеш, мг/г

Figure 3. Dynamics of the caffeine content in three-leaves flushes, mg/g

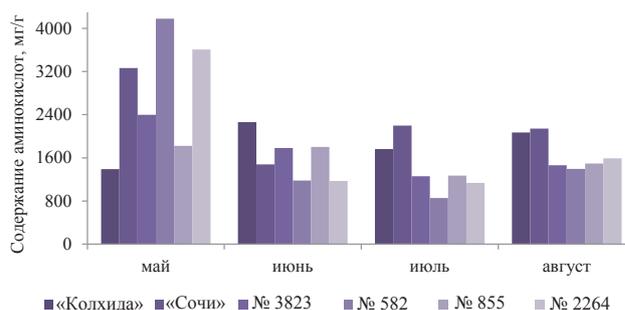


Рисунок 4. Динамика накопления аминокислот в 3-х листной флеш (общее количество, мг/г)

Figure 4. Accumulation dynamics of amino acids in three-leaves flushes (total, mg/g)

в чае. Всего идентифицировано 11 аминокислот, общая динамика синтеза которых представлена на рисунке 4.

Как видно из рисунка 4, наибольшее количество аминокислот синтезируется в мае. В дальнейшем их синтез снижается. Вероятно, включаются процессы их превращений и взаимопревращений в другие соединения.

В содержании аминокислот прослеживаются сортовые различия. Их процентное содержание в опытных образцах представлено в таблице 4,

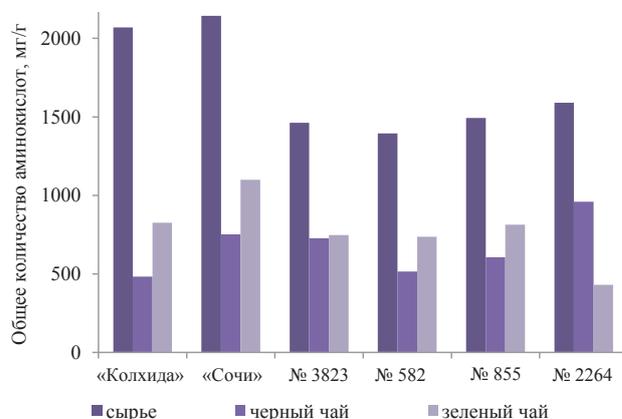


Рисунок 5. Изменение содержания аминокислот в процессе переработки

Figure 5. Dynamics of amino acid content during processing

из которой видно, что больше всего во флешах содержится пролина (от 44 % у формы № 2264 до 63 % у сорта «Сочи»), от 5 до 15 % составляют серин и валин и около 7 % – метионин, остальные аминокислоты присутствуют в небольшом количестве. При переработке сырья в готовый чай количество аминокислот падает. Это связано с окислительным дезаминированием и преобразованием их в белковые соединения, которые участвуют в образовании армата чая (рис. 5).

Как видно из рисунка 5, больше всего аминокислот в сырье (3-х листной флеш) содержится в сортах «Колхида» и «Сочи». При переработке происходят не только общие изменения – в черном чае аминокислот меньше, чем в зеленом. Это объясняется тем, что в процессе ферментации черного чая идут активные процессы окислительного дезаминирования. Также прослеживаются сортовые различия в метаболических реакциях превращения аминокислот: при производстве черного чая аминокислотный состав сорта «Колхида» больше подвержен изменениям ($V = 88\%$), в то время как при производстве зеленого чая больше изменяется состав формы № 2264 ($V = 81\%$).

Выводы

Нами проведен сравнительный биохимический анализ содержания антиоксидантных веществ в чайном сырье (3-х листная флеш) и готовом чае (черном и зеленом). Отмечено значительное изменение содержания флавоноидов, аскорбиновой кислоты, кофеина и рутина при переработке чайного сырья. Различия обусловлены отсутствием процесса ферментации при производстве неферментированного (зеленого) чая, который является важным технологическим методом при производстве черного чая. Это позволяет зеленому чаю удерживать почти все водорастворимые витамины, которые ингибируют перекисное

окисление липидов в клеточных мембранах. Кроме того, наблюдается значительная вариабельность содержания биологически активных веществ (флавоноидов, витаминов и аминокислот), обусловленная генотипическими особенностями чайных растений.

Критерии авторства

Н. Б. Платонова производила отбор образцов и их биохимический анализ, осуществляла анализ результатов, формулировала выводы. Были написаны такие разделы статьи, как «введение», «объекты и методы исследования», «выводы». О. Г. Белоус является руководителем проекта. Проводила полную статистическую обработку всех результатов, обобщала полученные данные, выводила закономерности и формулировала основные выводы. Ею написаны разделы статьи «результаты и их обсуждение», откорректированы выводы.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с этой статьей.

Contribution

N.B. Platonova selected the samples, performed their biochemical analysis, analyzed the results, and formulated the introduction, research objects and methods, and conclusions. O.G. Belous supervised the project, performed the statistical processing of all results, generalized the data obtained, deduced patterns, formulated the main conclusions, wrote the results and discussion, and improved the conclusions.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Татарченко, И. И. Химия субтропических и пищевкусных продуктов / И. И. Татарченко, И. Г. Мохначев, Г. И. Касьянов. – М. : Академия, 2003. – 256 с.
2. Kombucha tea fermentation: Microbial and biochemical dynamics / S. Chakravorty, S. Bhattacharya, A. Chatzinotas [et al.] // International Journal of Food Microbiology. – 2016. – Vol. 220. – P. 63–72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.12.015>.
3. Theaflavins in black tea and catechins in green tea are equally effective antioxidants / L. K. Leung, Y. Su, R. Chen [et al.] // Journal of Nutrition. – 2001. – Vol. 131, № 9. – P. 2248–2251. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/131.9.2248>.
4. Валиулина, Д. Ф. Сравнительное исследование антиоксидантной активности популярных марок чая из торговых сетей / Д. Ф. Валиулина, Н. В. Макарова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – Т. 80, № 3 (77). – С. 104–110. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-3-104-110>.
5. Wright, L. P. Biochemical analysis for identification of quality in black tea (*Camellia sinensis*): dr. bio. sci. diss / L. P. Wright. – Pretoria : University of Pretoria, 2002. – 216 p.
6. Theaflavins, polyphenols of black tea, inhibit entry of hepatitis C virus in cell culture / P. Chowdhury, M.-E. Sahuc, Y. Rouillé [et al.] // PLoS ONE. – 2018. – Vol. 13, № 11. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198226>.
7. Impact of light irradiation on black tea quality during withering / Z. Ai, B. Zhang, Y. Chen [et al.] // Journal of Food Science and Technology. – 2017. – Vol. 54, № 5. – P. 1212–1227. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2558-z>.
8. Воронцов, В. Е. Биохимия чая / В. Е. Воронцов. – М. : Пищепроиздат, 1946. – 279 с.

9. Шафигулин, Р. В. Качественное и количественное содержание катехинов в различных сортах чая / Р. В. Шафигулин, А. В. Буланова, К. Х. По // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2007. – Т. 7, № 2. – С. 349–352.
10. The composition and content of phenolic compounds in tea, grown in humid subtropics of Russia / N. Platonova, A. Astanin, S. Sedykh [et al.] // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. – 2019. – Vol. 13, № 1. – P. 32–37. DOI: <https://doi.org/10.5219/990>.
11. Определение полифенольных антиоксидантов в образцах зеленого чая. Характеристические хроматографические профили / Л. А. Карцова, В. А. Деев, Е. А. Бессонова [и др.] // Аналитика и контроль. – 2019. – Т. 23, № 3. – С. 377–385. DOI: <https://doi.org/10.15826/analitika.2019.23.3.010>.
12. Belous, O. G. Amino acids structure of tea in subtropics of Russia / O. G. Belous // Nauka i studia. – 2012. – Vol. 10, № 55. – P. 10–15.
13. Research advance on tea biochemistry / X. Wan, D. Li, Z. Zhang [et al.] // Journal of Tea Science. – 2015. – Vol. 35, № 1. – P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.13305/j.cnki.jts.2015.01.002>.
14. Потапович, А. И. Сравнительное исследование антиоксидантных свойств цитопротекторной активности флавоноидов / А. И. Потапович, В. А. Костюк // Биохимия. – 2003. – Т. 68, № 5. – С. 632–638.
15. Романова Н. Г. Биологическая и биохимическая оценка различных видов лекарственного растительного сырья для создания функциональных напитков: дис. ... канд. сельхоз. наук: 06.01.13 / Романова Наталья Геннадиевна. – М., 2008. – 125 с.
16. Study of the antioxidant activity and total polyphenol concentration of medicinal plants / A. V. Ivanova, E. L. Gerasimova, E. R. Gazizullina [et al.] // Journal of Analytical Chemistry. – 2017. – Vol. 72, № 4. – P. 415–420. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1061934817040049>.
17. Запрометов, М. Н. Фенольные соединения: Распространение, метаболизм и функции в растениях / М. Н. Запрометов. – М.: Наука, 1993. – 271 с.
18. Запрометов, М. Н. Биохимия катехинов. Биосинтез превращения и практическое использование / М. Н. Запрометов. – М.: Наука, 1964. – 296 с.
19. Платонова, Н. Б. Динамика активности фермента пероксидазы как элемента антиоксидантной защиты чая *Camellia sinensis* (L.) Kuntze / Н. Б. Платонова, О. Г. Белоус // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2019. – № 68. – С. 197–201. DOI: <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2019-68-197-201>.
20. Deb, S. A review of withering in the processing of black tea / S. Deb, K. R. Jolvis Pou // Journal of Biosystems Engineering. – 2016. – Vol. 41, № 4. – P. 365–372. DOI: <https://doi.org/10.5307/JBE.2016.41.4.365>.
21. Притула, З. В. Влияние мезоудобрений (Ca, Mg) на содержание кофеина в чайном растении в условиях влажных субтропиков России / З. В. Притула, В. Н. Бехтерев, Л. С. Малюкова // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2015. – № 54. – С. 185–192.
22. Белоус, О. Г. Физиологические особенности растений чая в различных почвенно-климатических условиях / О. Г. Белоус, А. В. Рындин // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2008. – № 3. – С. 49–51.
23. Белоус, О. Г. Биологические особенности культуры чая в условиях влажных субтропиков России: дис. ... д-ра био. наук: 06.01.07 / Белоус Оксана Геннадьевна. – Краснодар, 2009. – 314 с.
24. Притула, З. В. Особенности влияния комплекса экологических факторов на биохимические показатели качества чая сорта Колхида в условиях субтропиков России / З. В. Притула, Л. С. Малюкова, Н. В. Козлова // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2009. – № 42–2. – С. 86–103.
25. Бушин, П. М. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество чая сорта Колхида в условиях субтропиков России / П. М. Бушин, З. В. Притула, Л. С. Малюкова // Бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии им. Д. Н. Прянишникова. – 2001. – № 114. – С. 68–69.
26. Белоус, О. Г. Влияние микроэлементов на повышение качества чая / О. Г. Белоус // Садоводство и виноградарство. – 2006. – № 6. – С. 18–20.
27. Belous, O. Physiological foundations of sustainability *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze and *Corylus pontica* C. Koch. in the conditions of humid subtropics of Russia / O. Belous, N. Platonova // American Journal of Plant Sciences. – 2018. – Vol. 9, № 9. – P. 1771–1780. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.99129>.
28. Шлык, А. А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А. А. Шлык // Биохимические методы в физиологии растений / О. А. Павлинова. – М.: Наука, 1971. – С. 154–170.
29. Починок, Х. М. Методы биохимического анализа растений / Х. М. Починок. – Киев: Наукова думка, 1976. – 334 с.
30. Воскресенская, О. Л. Большой практикум по биоэкологии / О. Л. Воскресенская, Е. А. Алябышева, М. Г. Половникова. – Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2006. – 107 с.
31. Pogson, B. J. The role of carotenoids in energy quenching / B. J. Pogson, H. M. Rissler, H. A. Frank // Photosystem II. The light-driven water: plastoquinone oxidoreductase / T. J. Wydrzynski, K. Satoh, J. A. Freeman. – Dordrecht: Springer, 2005. – P. 517–537. DOI: https://doi.org/10.1007/1-4020-4254-X_24.
32. Ладыгин, В. Г. Современные представления о функциональной роли каротиноидов в хлоропластах эукариот / В. Г. Ладыгин, Г. Н. Ширшикова // Журнал общей биологии. – 2006. – Т. 67, № 3. – С. 163–190.

33. Singlet oxygen-induced membrane disruption and serpin-protease balance in vacuolar-driven cell death / E. Koh, R. Carmieli, A. Mor [et al.] // *Plant Physiology*. – 2016. – Vol. 171, № 3. – P. 1616–1625. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.15.02026>.
34. Belous, O. Photosynthetic pigments of subtropical plants / O. Belous, K. Klemeshova, V. Malyarovskaya // *Photosynthesis. From its evolution to future improvements in photosynthetic efficiency using nanomaterials* / J. C. G. Cañedo, G. L. Lopez-Lizarraga. – London : IntechOpen, 2018. – P. 31–52. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.75193>.
35. Applications of chitosan nanoparticles to enhance absorption and bioavailability of tea polyphenols: A review / J. Liang, H. Yan, P. Puligundla [et al.] // *Food Hydrocolloids*. – 2017. – Vol. 69. – P. 286–292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.01.041>.
36. Konnov, N. A. Comparative analysis of rutin content in tea of different climatic zones / N. A. Konnov, N. B. Platonova, O. G. Belous // *Jubilee scientific conference devoted to the 40th anniversary of the Institute of Ornamental and Medicinal Plants*. – Sofia, 2019. – P. 33.

References

1. Tatarchenko II, Mokhnachev IG, Kas'yanov GI. *Khimiya subtropicheskikh i pishchevkusovykh produktov* [Chemistry of subtropical and food products]. Moscow: Akademiya; 2003. 256 p. (In Russ.).
2. Chakravorty S, Bhattacharya S, Chatzinotas A, Chakraborty W, Bhattacharya D, Gachhui R. Kombucha tea fermentation: Microbial and biochemical dynamics. *International Journal of Food Microbiology*. 2016;220:63–72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.12.015>.
3. Leung LK, Su Y, Chen R, Zhang Z, Huang Y, Chen Z-Y. Theaflavins in black tea and catechins in green tea are equally effective antioxidants. *Journal of Nutrition*. 2001;131(9):2248–2251. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/131.9.2248>.
4. Valiulina DF, Makarova NV. Comparative study of the antioxidant activity of popular tea brands from trade market. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2018;80(3)(77):104–110. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-3-104-110>.
5. Wright LP. *Biochemical analysis for identification of quality in black tea (Camellia sinensis)*. Dr. bio. sci. diss. Pretoria: University of Pretoria; 2002. 216 p.
6. Chowdhury P, Sahuc M-E, Rouillé Y, Rivière C, Bonneau N, Vandeputte A, et al. Theaflavins, polyphenols of black tea, inhibit entry of hepatitis C virus in cell culture. *PLoS ONE*. 2018;13(11). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198226>.
7. Ai Z, Zhang B, Chen Y, Yu Z, Chen H, Ni D. Impact of light irradiation on black tea quality during withering. *Journal of Food Science and Technology*. 2017;54(5):1212–1227. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2558-z>.
8. Vorontsov VE. *Biokhimiya chaya* [Biochemistry of tea]. Moscow: Pishchevroizdat; 1946. 279 p. (In Russ.).
9. Shafigulin RV, Bulanova AV, Ro KKh. *Kachestvennoe i kolichestvennoe sodержanie katekhinov v razlichnykh sortakh chaya* [Qualitative and quantitative content of catechins in various tea sorts]. *Sorption and Chromatography Processes*. 2007;7(2):349–352. (In Russ.).
10. Platonova N, Astanin A, Sedykh S, Samarina L, Belous O. The composition and content of phenolic compounds in tea, grown in humid subtropics of Russia. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2019;13(1):32–37. DOI: <https://doi.org/10.5219/990>.
11. Kartsova LA, Deev VA, Bessonova EA, Belous OG, Platonova NB. Determination of polyphenol antioxidants in the samples of green tea. The characteristic chromatographic profiles. *Analytics and Control*. 2019;23(3):377–385. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15826/analitika.2019.23.3.010>.
12. Belous OG. Amino acids structure of tea in subtropics of Russia. *Nauka i studia*. 2012;10(55):10–15.
13. Wan X, Li D, Zhang Z, Xia T, Ling T, Chen Q. Research advance on tea biochemistry. *Journal of Tea Science*. 2015;35(1):1–10. DOI: <https://doi.org/10.13305/j.cnki.jts.2015.01.002>.
14. Potapovich AI, Kostyuk VA. Comparative study of antioxidant properties and cytoprotective activity of flavonoids. *Biochemistry*. 2003;68(5):632–638. (In Russ.).
15. Romanova NG. *Biologicheskaya i biokhimicheskaya otsenka razlichnykh vidov lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya dlya sozdaniya funktsional'nykh napitkov* [Biological and biochemical evaluation of various types of medicinal plant materials for development of functional drinks]. Cand. agr. sci. diss. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 2008. 125 p.
16. Ivanova AV, Gerasimova EL, Gazizullina ER, Popova KG, Matern AI. Study of the antioxidant activity and total polyphenol concentration of medicinal plants. *Journal of Analytical Chemistry*. 2017;72(4):415–420. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1061934817040049>.
17. Zaprometov MN. *Fenol'nye soedineniya: Rasprostranenie, metabolizm i funktsii v rasteniyakh* [Phenolic compounds: distribution, metabolism, and function in plants]. Moscow: Nauka; 1993. 271 p. (In Russ.).
18. Zaprometov MN. *Biokhimiya katekhinov. Biosintez prevrashcheniya i prakticheskoe ispol'zovanie* [Biochemistry of catechins. Conversion biosynthesis and its practical use]. Moscow: Nauka; 1964. 296 p. (In Russ.).

19. Platonova NB, Belous OG. Dynamics of peroxidase enzymatic activity as an element of antioxidant defense in tea plant *Camellia sinensis* (L.) Kuntze. *Subtropical and Ornamental Horticulture*. 2019;(68):197–201. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2019-68-197-201>.
20. Deb S, Jolvis Pou KR. A review of withering in the processing of black tea. *Journal of Biosystems Engineering*. 2016;41(4):365–372. DOI: <https://doi.org/10.5307/JBE.2016.41.4.365>.
21. Pritula ZV, Bekhterev VN, Malyukova LS. Effect of meso-fertilizers (CA, MG) on caffeine content in tea plant in Russian humid subtropics. *Subtropical and Ornamental Horticulture*. 2015;(54):185–192. (In Russ.).
22. Belous OG, Ryndin AV. Physiological features of tea plants under various soil-climatic conditions. *Vestnik of the Russian agricultural sciences*. 2008;(3):49–51. (In Russ.).
23. Belous, OG. Biologicheskie osobennosti kul'tury chaya v usloviyakh vlazhnykh subtropikov Rossii [Biological features of tea culture in the humid subtropics of Russia]. Dr. bio. sci. diss. Krasnodar: I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University; 2009. 314 p.
24. Pritula ZV, Malyukova LS, Kozlova NV. Osobennosti vliyaniya kompleksa ehkologicheskikh faktorov nabiokhimicheskie pokazateli kachestva chaya sorta Kolkhida v usloviyakh subtropikov Rossii [Effect of environmental factors on the nabiochemical indicators of the quality of Kolkhida tea variety in the conditions of Russian subtropics]. *Subtropical and Ornamental Horticulture*. 2009;(42–2):86–103. (In Russ.).
25. Bushin PM, Pritula ZV, Malyukova LS. Vliyanie mineral'nykh udobreniy na urozhaynost' i kachestvo chaya sorta Kolkhida v usloviyakh subtropikov Rossii [Effect of mineral fertilizers on the yield and quality of Kolkhida tea variety in Russian subtropics]. *Byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta agrokhimii im. D.N. Pryanishnikova* [Bulletin of the D.N. Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry]. 2001;(114):68–69. (In Russ.).
26. Belous OG. Vliyanie mikroelementov na povyshenie kachestva chaya [Effect of trace elements on improving the tea quality]. *Horticulture and Viticulture*. 2006;(6):18–20. (In Russ.).
27. Belous O, Platonova N. Physiological foundations of sustainability *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze and *Corylus pontica* C. Koch. in the conditions of humid subtropics of Russia. *American Journal of Plant Sciences*. 2018;9(9):1771–1780. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.99129>.
28. Shlyk AA. Opredelenie khlorofilla i karotinoidov v ehkstraktakh zelenykh list'ev [Determination of chlorophyll and carotenoids in extracts of green leaves]. In: Pavlinova OA, editor. *Biokhimicheskie metody v fiziologii rasteniy* [Biochemical methods in plant physiology]. Moscow: Nauka; 1971. pp. 154–170. (In Russ.).
29. Pochinok KhM. Metody biokhimicheskogo analiza rasteniy [Biochemical analysis of plants]. Kiev: Naukova dumka; 1976. 334 p. (In Russ.).
30. Voskresenskaya OL, Alyabysheva EA, Polovnikova MG. Bol'shoy praktikum po bioehkologii [A complete tutorial on bioecology]. Yoshkar-Ola: Mari State University; 2006. 107 p. (In Russ.).
31. Pogson BJ, Rissler HM, Frank HA. The role of carotenoids in energy quenching. In: Wydrzynski TJ, Satoh K, Freeman JA, editors. *Photosystem II. The light-driven water: plastoquinone oxidoreductase*. Dordrecht: Springer; 2005. pp. 517–537. DOI: https://doi.org/10.1007/1-4020-4254-X_24.
32. Ladygin VG, Shirshikova GN. The current concepts of functional role of carotenoids in the eukaryotic chloroplasts. *Journal of General Biology*. 2006;67(3):163–190. (In Russ.).
33. Koh E, Carmieli R, Mor A, Fluhr R. Singlet oxygen-induced membrane disruption and serpin-protease balance in vacuolar-driven cell death. *Plant Physiology*. 2016;171(3):1616–1625. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.15.02026>.
34. Belous O, Klemeshova K, Malyarovskaya V. Photosynthetic pigments of subtropical plants. In: Cañedo JCG, Lopez-Lizarraga GL, editors. *Photosynthesis. From its evolution to future improvements in photosynthetic efficiency using nanomaterials*. London: IntechOpen; 2018. pp. 31–52. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.75193>.
35. Liang J, Yan H, Puligundla P, Gao X, Zhou Y, Wan X. Applications of chitosan nanoparticles to enhance absorption and bioavailability of tea polyphenols: A review. *Food Hydrocolloids*. 2017;69:286–292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.01.041>.
36. Konnov NA, Platonova NB, Belous OG. Comparative analysis of rutin content in tea of different climatic zones. Jubilee scientific conference devoted to the 40th anniversary of the Institute of Ornamental and Medicinal Plants; 2019; Sofia. Sofia, 2019. p. 33.

Сведения об авторах

Платонова Наталия Борисовна

аспирант, младший научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук», 354002, Россия, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 2/28, тел.: +7 (918) 305-73-87, e-mail: natali1875@bk.ru

Information about the authors

Nataliia B. Platonova

Postgraduate student, Junior Researcher of the Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry, Federal Research Centre of the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, 2/28, Yana Fabritsiusa Str., Sochi, 354002, Russia, phone: +7 (918) 305-73-87, e-mail: natali1875@bk.ru

Белоус Оксана Геннадьевна

д-р био. наук, доцент, заведующая лабораторией физиологии и биохимии растений, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук», 354002, Россия, г. Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 2/28, тел.: +7 (918) 105-91-15, e-mail: Oksana191962@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5613-7215>

Oksana G. Belous

Dr.Sci.(Bio.), Associate Professor, Head of the Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry, Federal Research Centre of the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, 2/28, Yana Fabritsiusa Str., Sochi, 354002, Russia, phone: +7 (918) 105-91-15, e-mail: Oksana191962@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5613-7215>

Биокаталитическая конверсия белка молочной сыворотки микроорганизмами рода *Aspergillus oryzae* для снижения аллергенности

Т. В. Подлегаева^{1,*}, О. В. Козлова¹, О. В. Кригер^{1,2}, Н. А. Потураева¹



¹ ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

² ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет
имени Иммануила Канта»,
236016, Россия, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14

Дата поступления в редакцию: 25.03.2020
Дата принятия в печать: 24.07.2020

*e-mail: tpodlegaeva@yandex.ru



© Т. В. Подлегаева, О. В. Козлова, О. В. Кригер, Н. А. Потураева, 2020

Аннотация.

Введение. Более 170 пищевых продуктов могут вызывать у человека аллергические реакции. Одно из ключевых мест занимают молочные продукты. Для снижения антигенных свойств молочное сырье можно подвергнуть тепловой обработке. Однако длительное нагревание уменьшает питательную ценность молока, приводит к снижению растворимости и слабой перевариваемости продукта. Проведение биокаталитической конверсии считается эффективным способом снижения аллергенности белков молока и молочной продукции.

Объекты и методы исследования. Объектом исследований выбрана молочная сыворотка. Для проведения процесса биоконверсии использовали ферментный комплекс грибной протеазы и экзо-пептидазы, продуцируемых *Aspergillus oryzae*. В ходе работы определяли рациональную концентрацию ферментного препарата; параметры температурного режима и продолжительности реакции; влияния pH на интенсивность процесса. Использовали стандартные общепринятые методы. Массовую долю свободных аминокислот определяли методом распределительной хроматографии после гидролиза белков.

Результаты и их обсуждение. Установлена зависимость величины степени гидролиза сывороточных белков в результате биоконверсии от продолжительности ферментативной обработки и pH реакционной смеси. Максимальная степень гидролиза наблюдается при pH смеси $4,0 \pm 0,1$ при фермент-субстратном соотношении 1:700. Степень гидролиза в образцах с фермент-субстратным соотношением 1:1000 и 1:700 отличается незначительно. Поэтому, с точки зрения экономичности, за основу приняли фермент-субстратное соотношение 1:1000. Отмечено возрастание концентрации многих аминокислот, что говорит о гидролитическом расщеплении белка. Были определены рациональные параметры процесса биокаталитической конверсии молочной сыворотки данным ферментным комплексом: соотношение фермент-субстрат – 1:1000, продолжительность процесса – 60–90 мин, pH среды – $4,0 \pm 0,1$, температура – 35–45 °С.

Выводы. Результаты исследований образцов сыворотки, подвергнутой биокаталитической конверсии ферментным комплексом протеаз рода *Aspergillus oryzae*, показывают присутствие в составе молочной сыворотки низкомолекулярных пептидов, что говорит об эффективности процесса и снижения аллергенности сывороточного белка.

Ключевые слова. Биоконверсия, молочные продукты, антигенны, экзо-пептидаза, протеаза, хроматограмма, деминерализация, протеолиз, аминокислоты, белок

Финансирование. Исследование финансировалось Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) в рамках Гранта Президента РФ при государственной поддержке ведущих научных школ (НШ-2694.2020.4).

Для цитирования: Биокаталитическая конверсия белка молочной сыворотки микроорганизмами рода *Aspergillus oryzae* для снижения аллергенности / Т. В. Подлегаева, О. В. Козлова, О. В. Кригер [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 415–424. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-415-424>.

Original article

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

Reducing Allergenicity by Biocatalytic Conversion of Whey Protein Using *Aspergillus oryzae*

Tatiana V. Podlegaeva^{1,*}, Oksana V. Kozlova¹, Olga V. Kriger²,
Natalia L. Poturaeva¹

¹ Kemerovo State University,
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia

Received: March 25, 2020

Accepted: July 24, 2020

² Immanuel Kant Baltic Federal University,
14, A. Nevskogo Str., Kaliningrad, 236016, Russia

*e-mail: tpodlegaeva@yandex.ru



© T.V. Podlegaeva, O.V. Kozlova, O.V. Kriger, N.L. Poturaeva, 2020

Abstract.

Introduction. More than 170 foods can cause allergic reactions in humans. The list of potential allergens includes a lot of dairy products. To reduce the antigenic properties, dairy raw materials can be subjected to thermal treatment. However, prolonged heating reduces the nutritional value, solubility, and digestibility of the final product. Biocatalytic conversion is considered a more effective way to reduce the allergenicity of milk proteins and dairy products.

Study objects and methods. The research featured the bioconversion process of milk whey using an enzyme complex of fungal protease and exo-peptidase produced by *Aspergillus oryzae*. The research provided an optimal concentration of the enzyme preparation, as well as temperature parameters, reaction time, and the effect of pH on the intensity of the process. The experiment involved standard research methods. The mass fraction of free amino acids was determined by distribution chromatography after protein hydrolysis.

Results and discussion. The research helped to define the effect of enzymatic treatment time and the pH on the hydrolysis of serum proteins after bioconversion. The indicator of the degree of hydrolysis and its time was affected by the concentration of the introduced enzyme preparation. The maximum degree of hydrolysis was observed at $\text{pH} = 4.0 \pm 0.1$ with an enzyme-substrate ratio of 1:700. The degree of hydrolysis in samples with an enzyme-substrate ratio of 1:1,000 and 1:700 was almost the same. Therefore, the enzyme-substrate ratio of 1:1,000 proved more effective. The concentration of many important amino acids increased, which indicated the hydrolytic cleavage of the protein. The research made it possible to determine the most effective parameters of the process of biocatalytic conversion of whey enzyme by the protease complex *Aspergillus oryzae*: the ratio of enzyme-substrate – 1:1,000, time – 60–90 min, $\text{pH} = 4.0 \pm 0.1$, temperature – 35–45°C.

Conclusion. The whey samples subjected to biocatalytic conversion by an enzyme complex of the genus *Aspergillus oryzae* showed the presence of low-molecular peptides in its composition, which indicated the effectiveness of the process and reducing the allergenicity of the whey protein.

Keywords. Bioconversion, dairy products, antigens, exopeptidase, protease, chromatogram, demineralization, proteolysis, amino acids, protein

Funding. The research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka) as part of the Grant of the President of the Russian Federation for state support of leading scientific schools (No. NSH-2694.2020.4).

For citation: Podlegaeva TV, Kozlova OV, Kriger OV, Poturaeva NL. Reducing Allergenicity by Biocatalytic Conversion of Whey Protein Using *Aspergillus oryzae*. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):415–424. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-415-424>.

Введение

Пищевая аллергия и пищевая непереносимость являются серьезным и опасным заболеванием. Проявления аллергии могут наблюдаться как в детском (или быть наследованными), так и быть приобретенными уже во взрослом возрасте. С проблемами непереносимости и проявлением аллергии той или иной степени тяжести в настоящее время сталкивается более 20 % населения планеты, из них более 50 % – дети грудного возраста. Данные цифры постоянно растут. По сообщению Центров по контролю и профилактике заболеваний (США) распространенность пищевой аллергии у детей с 1997 года увеличилась на 50 % [1].

Более 170 пищевых продуктов могут вызывать у человека аллергические реакции. Несмотря на то, что степень аллергенности, в зависимости от региона проживания, меняется, наиболее распространенными пищевыми аллергенами считаются продукты, называемые во многих странах «большой восьмеркой». Одно из первых мест в этой восьмерке занимает молоко. В частности, это молочные белки, которые содержатся в коровьем молоке и продуктах его переработки.

Чтобы избежать аллергической реакции, следует соблюдать строгую диету. Определить количество аллергенной пищи, вызывающее реакцию организма, довольно затруднительно. Поэтому медики советуют избегать ее полного употребления.

В настоящее время исследование и лечение пищевой аллергии находится на переломном этапе. Для поддержания здоровья ученые всего мира находят вспомогательные источники безопасных и необходимых для здоровья продуктов.

Технология производства молочных продуктов функционального питания берет в расчет современные достижения науки в области энзимологии, микробиологии, биоорганической химии и др. Предпочтение отдается достижению функциональных свойств за счет биологической обработки.

Пищевыми аллергенами чаще всего являются сложные белки, имеющие молекулярную массу в пределах 10–70 кДа, реже – полипептиды и гаптены, которые соединяются с белками пищи. Они имеют трехмерную структуру и хорошо растворяются в воде. Некоторые из них проявляют значительную термостабильность и устойчивость к воздействию протеолитических ферментов [1].

Биокаталитическая конверсия молочных белков, направленная на получение их гидролизатов с заданным молекулярно-массовым распределением и остаточной аллергенностью, является наиболее перспективным подходом для снижения аллергических проявлений. Ярко выраженными антигенными свойствами обладает сывороточный белок β -лактоглобулин, содержащийся в коровьем молоке. Для снижения антигенных свойств молочное сырье можно подвергнуть тепловой обработке. Однако длительное нагревание приводит к снижению питательной ценности молока, к уменьшению растворимости и слабой перевариваемости продукта. Современные научные исследования показывают, что проведение биокаталитической конверсии является эффективным способом уменьшения аллергенности белков молочной сыворотки [5–7].

Главная задача биоконверсии белка сводится к такому расщеплению белковой формулы, при котором организм не сможет распознать в измененном коровьем белке аллерген. Чем более мелкие части белка образуются в процессе расщепления, тем меньше вероятность того, что организм их распознает и ответит аллергической реакцией.

Среди веществ, оказывающих воздействие на модификацию молочных белков, значительное место занимают протеолитические ферменты различного происхождения. Под действием протеаз в белковой молекуле происходит специфическое расщепление пептидных связей. В результате уменьшается ее молекулярная масса, повышаются гидрофобность белка и его усвояемость организмом.

Наиболее популярным источником протеиназ являются микроорганизмы, относящиеся к родам *Bacillus*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Streptomyces* [8–11]. Для гидролиза белков молочной сыворотки также используются протеиназы животного происхождения и микробиологические препараты.

Цель исследования – изучение процесса и определение рациональных параметров биокаталитической конверсии молочной сыворотки микроорганизмами рода *Aspergillus oryzae* для снижения аллергенности.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований выбрана деминерализованная молочная сыворотка (ГОСТ 53438-2009) с

содержанием белка 0,7 %, рН реакционной смеси 4,45. Для доведения рН до исследуемых значений действия ферментов использовали 5 % КОН. Инактивация ферментов проводилась инкубированием смеси в течение 10 мин при температуре 85 ± 1 °С.

Деминерализацию молочной сыворотки проводили методом электродиализа на лабораторной электродиализной установке ЭДУ при температуре 20 ± 2 °С в течение 1 ч с использованием ионообменной колонки с катионитами и анионитами марками КУ 2-8 и АВ-17-8. Метод основан на мембранном разделении, в котором ионы растворенного вещества переносятся через мембрану, под действием электрического поля.

На начальном этапе молочную сыворотку подвергали деминерализации, процесс которой описан ранее [9]. В результате получили основу со следующими физико-химическими показателями (табл. 1).

Результаты проведенных исследований показали, что в процессе электродиализной обработки молочной сыворотки происходит снижение содержания одно- и двухвалентных металлов на 50 %.

Для исследований использовали стандартные общепринятые методы исследований. Массовую долю растворимых сухих веществ определяли по методике ГОСТ 28562-90 на рефрактометре ИРФ-45452 М; массовую долю жира – по ГОСТ 29247-91; массовую долю белка – по ГОСТ 23621-79; массовую долю влаги выявляли по ГОСТ 29246-91 высушиванием навески на приборе КВАРЦ-21 М (аналог прибора Чижовой) при температуре 160 ± 2 °С. Титруемую кислотность устанавливали по ГОСТ 25555.0-82.

Для исследования процесса биокаталитической конверсии использовали ферментный комплекс грибной протеазы и экзо-пептидазы, продуцируемых *Aspergillus oryzae* (Дания). Эндо- и экзо-пептидазы в сочетании создают оптимальные условия для проведения реакции: первые расщепляют молекулу белка на более мелкие фрагменты, ферменты второй группы отщепляют одну за другой концевые аминокислоты. Оптимальными условиями активности данного фермента являются: температура 30–75 °С, рН 2,0–4,0; пептидаза – диапазон температуры 30–65 °С, рН 4,0–9,0.

Комплекс микроорганизмов рода *Aspergillus oryzae* характеризуется сочетанием ферментов, в

Таблица 1. Физико-химические показатели сыворотки после ЭД-обработки

Table 1. Physicochemical profile of whey after demineralization

Сырье	Массовая доля, %					Кислотность	
	сухих веществ	в том числе, %				титруемая, °Т	активная
		белка	жира	лактозы	зола		
Сыворотка подсырная	6,04 ± 0,20	0,64 ± 0,30	0,3 ± 0,02	4,9 ± 0,01	0,3 ± 0,01	12,0 ± 0,5	6,2 ± 0,10
Сыворотка творожная	5,42 ± 0,20	0,52 ± 0,30	0,3 ± 0,02	4,3 ± 0,01	0,2 ± 0,01	33,0 ± 0,5	6,0 ± 0,10

котором протеаза проявляет свою активность при температурном режиме 30–45 °С, а экзо-пептидаза – при 30–55 °С. Поэтому для экспериментов были выбраны температурные режимы: 30 ± 1 °С, 35 ± 1 °С, 45 ± 1 °С, 55 ± 1 °С и значения рН среды: 3,0 ± 0,1; 4,0 ± 0,1; 5,0 ± 0,1.

В ходе проведения реакции определяли:

- рациональную концентрацию ферментного препарата (фермент-субстратного соотношения);
- рациональные значения температурного режима и продолжительности реакции протеолиза;
- влияния рН на интенсивность процесса.

Ферментативный гидролиз деминерализованной сыворотки проводили на термостатируемой качалке в герметично закрытых колбах объемом 1 см³ при частоте вращения 66 об/мин.

В исследуемом образце ферментированной сыворотки определяли массовую долю свободных аминокислот методом распределительной хроматографии после гидролиза белков на аминокислотном анализаторе «ARACUS». Принцип метода состоит в том, что навеску вещества помещают в двухфазную систему, между которыми происходит распределение аминокислот в зависимости от коэффициента подвижности.

Результаты и их обсуждение

Основной задачей следующей стадии исследования является определение рациональных технологических параметров проведения биоконверсии молочной сыворотки микроорганизмом рода *Aspergillus oryza* в целях получения сывороточной основы со сниженной аллергенностью.

На рисунках 1–3 представлены кинетические зависимости степени гидролиза от продолжитель-

ности действия ферментного препарата с различной концентрацией температурных режимов и рН среды.

Анализ результатов, представленных на рисунке 1, показал, что в ходе реакции наибольшая степень гидролиза отмечена у образцов сыворотки, имеющих рН 4,0 ± 0,1. Интенсивное нарастание содержания свободных аминокислот, отражающее изменение степени гидролиза, происходит до 90 мин ферментативного воздействия (67 %). Далее изменение данных происходит незначительно: по истечении 105 мин – 68,8 %, после 120 мин – 69 %, 135 мин – 70,1 %, после 150 мин – 71 %. Это связано с образованием побочных продуктов гидролиза, ингибирующих реакцию.

При рН ферментируемой смеси 3,0 ± 0,1 и 5,0 ± 0,1 наблюдается увеличение количества расщепленного белка. Но при этом степень гидролиза меньше предыдущего показателя на 30,4 % и 6 % после ферментации в течение 60 мин и на 33,5 % и 9,7 % через 2,5 ч соответственно. Таким образом, на степень гидролиза белков молочной сыворотки оказывает влияние не только продолжительность реакции, но и активная кислотность смеси.

Аналогичная зависимость прослеживается при фермент-субстратном соотношении 1:2000. Основываясь на данных рисунка 2, наибольшая степень гидролиза после окончания процесса отмечается у сыворотки с рН среды 4,0 ± 0,1 – 38,1 %. При рН ферментируемой смеси 3,0 ± 0,1 этот показатель составил 29,8 %, при рН 5,0 ± 0,1 – 35,9 %.

При фермент-субстратном соотношении 1:700, используя данные рисунка 3, наблюдается интенсивное увеличение степени гидролиза при всех значениях рН среды. Максимальное значение характерно для образцов сыворотки с рН 4,0 ± 0,1:

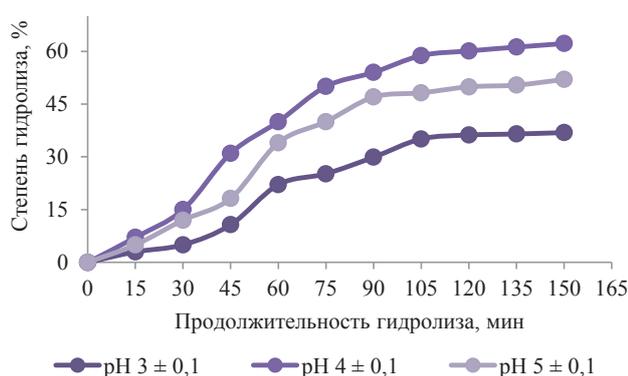


Рисунок 1. Влияние продолжительности биоконверсии на степень гидролиза белков молочной сыворотки при использовании препарата микроорганизмов рода *Aspergillus oryza* (соотношение фермент-субстрат 1:1000)

Figure 1. Effect of bioconversion time on the degree of hydrolysis of whey proteins when using *Aspergillus oryza* (enzyme-substrate ratio – 1:1,000)

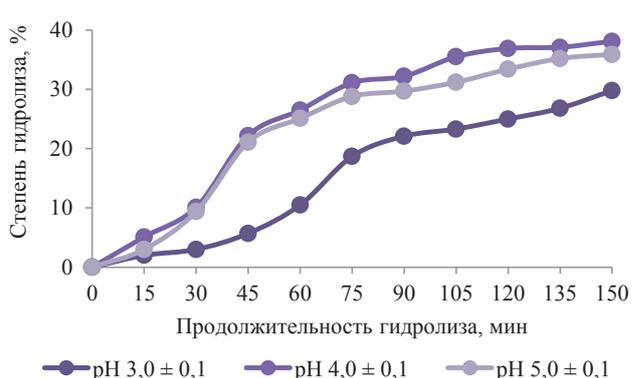


Рисунок 2. Влияние продолжительности биоконверсии на степень гидролиза белков молочной сыворотки при использовании препарата микроорганизмов рода *Aspergillus oryza* (соотношение фермент-субстрат 1:2000)

Figure 2. Effect of bioconversion time on the degree of hydrolysis of whey proteins when using *Aspergillus oryza* (enzyme-substrate ratio – 1:2,000)

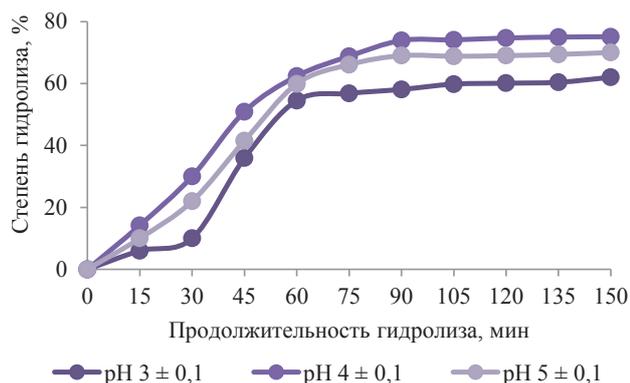


Рисунок 3. Влияние продолжительности биоконверсии на степень гидролиза белков молочной сыворотки при использовании ферментного препарата микроорганизмов рода *Aspergillus oryzae* (соотношение фермент-субстрат 1:700)

Figure 3. Effect of bioconversion time on the degree of hydrolysis of whey proteins when using *Aspergillus oryzae* (enzyme-substrate ratio – 1:700)

после 60 мин гидролиза степень гидролиза составила 62,4 %, после 90 мин – 73,9 %, после окончания процесса (150 мин) – 75,0 %. Таким образом, можно сделать вывод о сокращении продолжительности биокаталитической конверсии при повышении концентрации ферментного препарата. Значительный рост количества расщепленного белка происходит до 60 мин процесса. В дальнейшем этот показатель меняется незначительно.

Анализируя полученные данные, представленные на рисунках 1–3, установлена зависимость величины степени гидролиза сывороточных белков от продолжительности ферментативной обработки и pH реакционной смеси. Кроме того, на показатель степени гидролиза и его продолжительности сказывается концентрация вносимого ферментного препарата. Максимальная степень расщепления наблюдается при pH смеси 4,0 ± 0,1 при фермент-субстратном соотношении 1:700.

Отмечено, что степень протеолиза в точке максимального роста (после 90 мин ферментативного процесса) в образцах с фермент-субстратном соотношении 1:1000 и 1:700 (pH 4,0 ± 0,1) отличается незначительно: 67 % и 73,9 % соответственно. Поэтому, с точки зрения экономичности процесса,

целесообразно принять за основу фермент-субстратное соотношение 1:1000. Кроме того, по истечении 90 мин и увеличении времени в дальнейшем в образцах сыворотки с большей концентрацией появляется горечь, что значительно ухудшает органолептические показатели сывороточной основы. Это связано с образованием большого количества свободных аминокислот, придающих ферментированной сыворотке горький привкус.

Следующим этапом исследований было изучение влияния температуры на процесс ферментативного гидролиза. Эксперименты проводились на установленных ранее данных: рациональное соотношение фермент-субстрат 1:1000, pH среды 4,0 ± 0,1. Результаты данных эксперимента представлены в таблице 2.

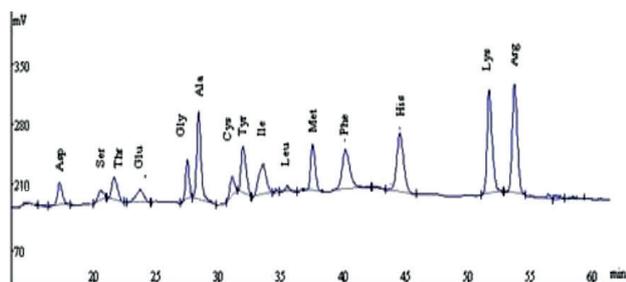
Анализ данных таблицы 2 показывает, что практически во всех образцах наблюдается значительное увеличение количества расщепленного белка. Наиболее заметные изменения у образцов, подвергавшихся расщеплению при температурах 35 и 45 °C при продолжительности 120 мин – 68,8 % и 62,0 % соответственно. Уменьшение температуры гидролиза до 30 °C снижает активность ферментного препарата, что выражается в относительно невысокой степени гидролиза – 40 % и 53 % после 90 мин и 120 мин соответственно. Увеличение температуры до 55 °C выражается несколько меньшими значениями степени гидролиза, чем у температурных режимов в 35–45 °C. В данном случае это показатели 40,1 % при 60 мин процесса и 63,1 % после 120 мин с начала ферментации. Заметный рост количества гидролизованного белка наблюдался до 90 мин протеолиза. В течение следующих 60 мин количество свободных аминокислот увеличивается незначительно. Поэтому считаем, что дальнейшее продолжение процесса нецелесообразно. Величина pH практически не изменяется на протяжении всей реакции и находится в пределах ранее определенных значений pH для ферментации данным комплексом.

Исследования данного этапа эксперимента позволили определить рациональные параметры биокаталитической конверсии молочной сыворотки ферментным комплексом рода *Aspergillus oryzae*: соотношение фермент-субстрат – 1:1000, продолжительность процесса – 60–90 мин, pH среды – 4,0 ± 0,1, температура – 35–45 °C.

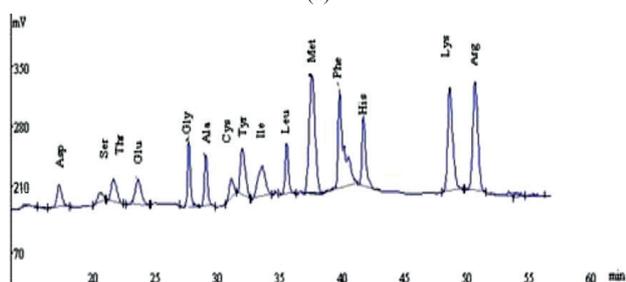
Таблица 2. Состав и свойства гидролизатов, полученных при биокаталитической конверсии сывороточных белков комплексом микроорганизмов рода *Aspergillus oryzae*

Table 2. Composition and properties of hydrolysates obtained by biocatalytic conversion of whey proteins by *Aspergillus oryzae*

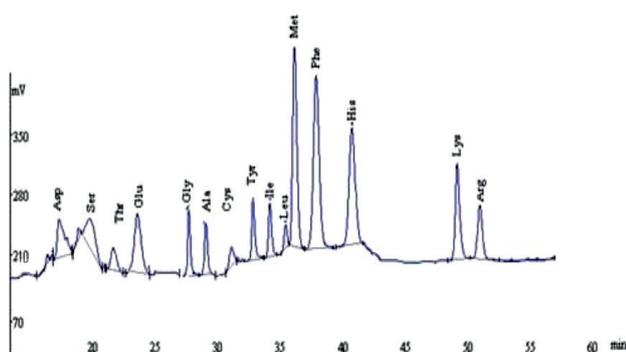
Показатель	Контроль	Температура гидролиза (°C) при продолжительности (мин)											
		30			35			45			55		
		60	90	120	60	90	120	60	90	120	60	90	120
Степень гидролиза, %	0	27,0	40,0	53,0	45,3	65,0	68,8	32,0	47,0	62,0	40,1	61,2	63,1
pH	4,00	3,78	3,63	3,56	3,79	3,76	3,69	3,80	3,69	3,66	3,76	3,68	3,65



(a)



(b)



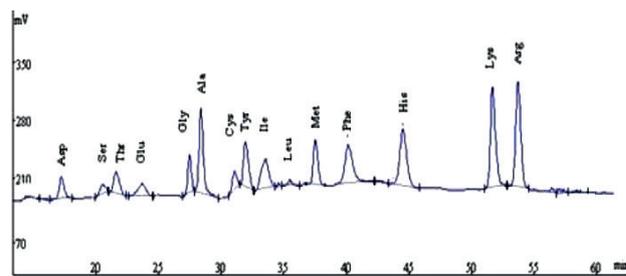
(c)

Рисунок 4. Хроматограммы свободных аминокислот, полученных в результате биокаталической конверсии белков молочной сыворотки ферментным препаратом микроорганизмов рода *Aspergillus oryza* при температуре $45 \pm 1^\circ\text{C}$ и ферментсубстратном отношении 1:2000: а) $2,00 \pm 0,05$ ч; б) $4,00 \pm 0,05$ ч; в) $8,00 \pm 0,05$ ч

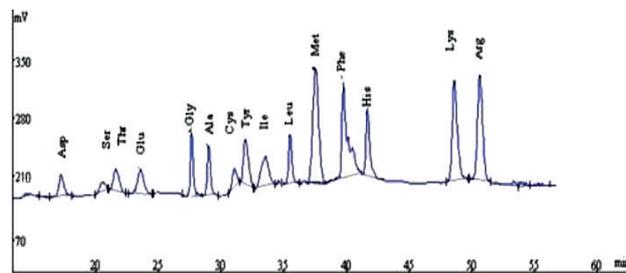
Figure 4. Chromatograms of free amino acids obtained as a result of biocatalytic conversion of whey proteins by an enzyme preparation of *Aspergillus oryza* at $45 \pm 1^\circ\text{C}$ and an enzyme substrate ratio of 1:2,000: a) 2.00 ± 0.05 h; b) 4.00 ± 0.05 h; c) 8.00 ± 0.05 h

Степень гидролиза является объективной характеристикой, отражающей совокупные изменения аминокислотного состава сывороточных белков. В связи с этим актуальным является изучение аминокислотного состава полученного гидролизата.

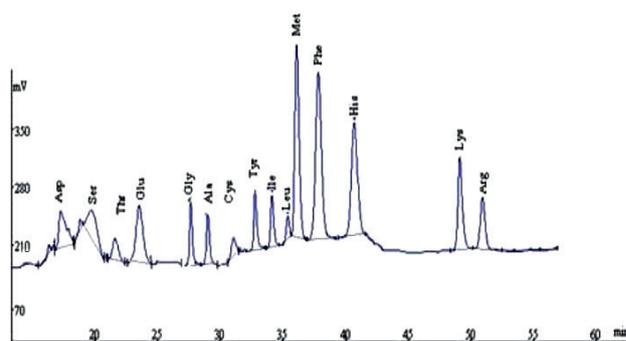
Проанализирована динамика накопления свободных аминокислот в процессе реакции биоконверсии, проводимой при различных условиях. Для более полного гидролиза процесс проводили в течение 2, 4 и 8 ч. Результаты исследований при проведении ферментативного гидролиза с ферментным препаратом микроорганизмов рода *Aspergillus oryza* приведены на рисунках 4–6 и таблице 3.



(a)



(b)



(c)

Рисунок 5. Хроматограммы свободных аминокислот, полученных в результате биокаталической конверсии белков молочной сыворотки ферментным препаратом микроорганизмов рода *Aspergillus oryza* при температуре $45 \pm 1^\circ\text{C}$ и ферментсубстратном отношении 1:1000: а) $2,00 \pm 0,05$ ч; б) $4,00 \pm 0,05$ ч; в) $8,00 \pm 0,05$ ч

Figure 5. Chromatograms of free amino acids obtained as a result of biocatalytic conversion of whey proteins by an enzyme preparation of *Aspergillus oryza* at $45 \pm 1^\circ\text{C}$ and an enzyme substrate ratio of 1:1,000: a) 2.00 ± 0.05 h; b) 4.00 ± 0.05 h; c) 8.00 ± 0.05 h

При фермент-субстратном соотношении 1:1000 и продолжительности процесса $8,00 \pm 0,05$ ч накопление свободных аминокислот происходит значительно интенсивнее. Это связано с глубоким гидролизом молочной сыворотки под действием фермента. При соотношениях 1:2000 и 1:700 с увеличением продолжительности реакции наблюдается аналогичная ситуация с накоплением свободных аминокислот, а именно лизина, лейцина, аргинина, метионина и фенилаланина.

По результатам анализа данных, представленных в таблице 3, видно, что в процессе ферментативного гидролиза концентрация многих важных аминокислот существенно возрастает. Это говорит о гидролитическом расщеплении белка. Среди

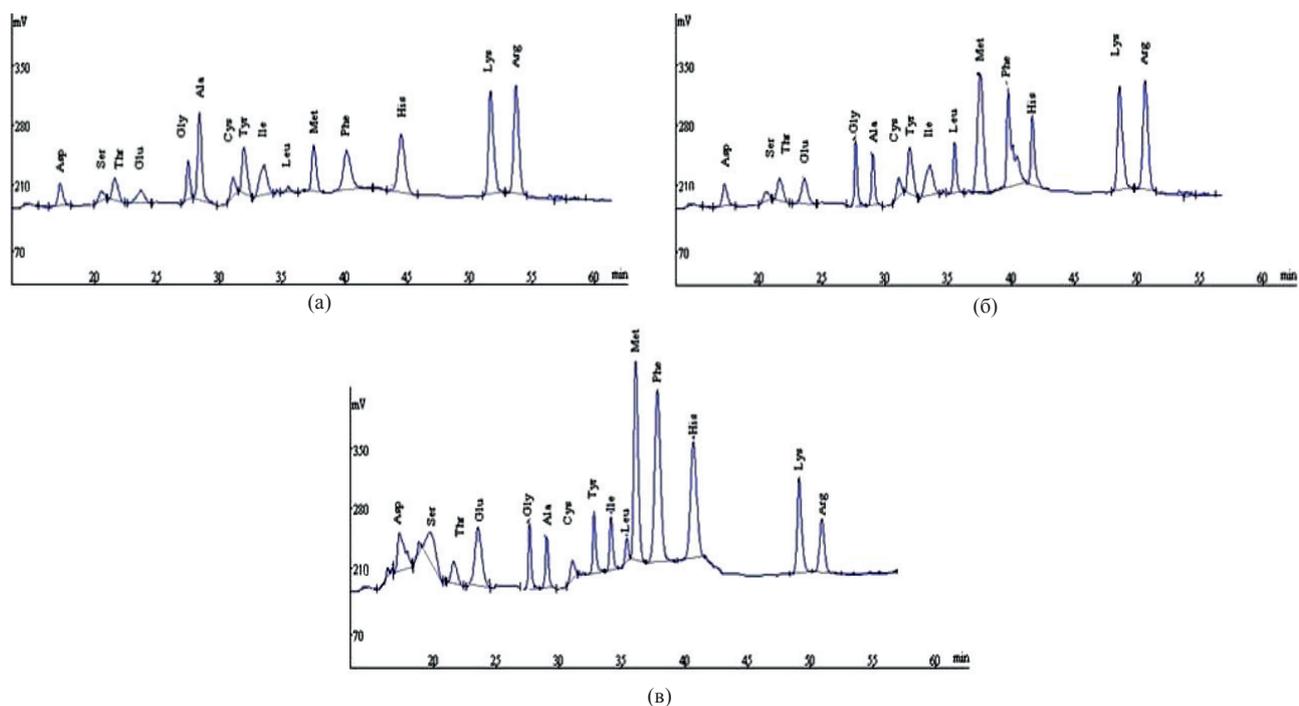


Рисунок 6. Хроматограммы свободных аминокислот, полученных в результате биокаталической конверсии белков молочной сыворотки ферментным препаратом микроорганизмов рода *Aspergillus oryza* при температуре $45 \pm 1^\circ\text{C}$ и фермент-субстратном отношении 1:700: а) $2,00 \pm 0,05$ ч; б) $4,00 \pm 0,05$ ч; в) $8,00 \pm 0,05$ ч

Figure 6. Chromatograms of free amino acids obtained as a result of biocatalytic conversion of whey proteins by an enzyme preparation of *Aspergillus oryza* at $45 \pm 1^\circ\text{C}$ and an enzyme substrate ratio of 1:700: a) 2.00 ± 0.05 h; б) 4.00 ± 0.05 h; в) 8.00 ± 0.05 h

Таблица 3. Динамика накопления свободных аминокислот в результате обработки ферментным комплексом микроорганизмов рода *Aspergillus oryza*

Table 3. Dynamics of accumulation of free amino acids as a result of treatment with *Aspergillus oryza* enzyme complex

Аминокислоты, мкмоль/л	Контроль, г/100 г белка	Фермент-субстратное соотношение								
		1:700			1:1000			1:2000		
		продолжительность ферментативного гидролиза, ч								
		2,00 ± 0,05	4,00 ± 0,05	8,00 ± 0,05	2,00 ± 0,05	4,00 ± 0,05	8,00 ± 0,05	2,00 ± 0,05	4,00 ± 0,05	8,00 ± 0,05
Фенилаланин (Phe)	Сл.	0,115 ± 0,02	0,171 ± 0,02	0,116 ± 0,02	0,115 ± 0,02	0,116 ± 0,02	0,117 ± 0,02	0,116 ± 0,02	0,117 ± 0,02	0,119 ± 0,02
Лейцин (Leu)	Сл.	4,060 ± 0,02	4,235 ± 0,02	4,378 ± 0,02	3,872 ± 0,02	4,312 ± 0,02	4,345 ± 0,02	2,596 ± 0,02	2,761 ± 0,02	2,915 ± 0,02
Треонин (Thr)	Сл.	0,077 ± 0,02	0,100 ± 0,02	0,132 ± 0,02	0,022 ± 0,02	0,132 ± 0,02	0,286 ± 0,02	0,0198 ± 0,02	0,561 ± 0,02	1,375 ± 0,02
Метионин (Met)	Сл.	0,198 ± 0,02	0,220 ± 0,02	0,308 ± 0,02	0,121 ± 0,02	0,143 ± 0,02	0,198 ± 0,02	0,220 ± 0,02	0,363 ± 0,02	0,836 ± 0,02
Лизин (Lys)	0,151	1,254 ± 0,02	2,112 ± 0,02	2,816 ± 0,02	0,946 ± 0,02	1,397 ± 0,02	2,618 ± 0,02	2,475 ± 0,02	5,544 ± 0,02	6,248 ± 0,02
Валин (Val)	Сл.	0,088 ± 0,02	0,165 ± 0,02	0,198 ± 0,02	0,100 ± 0,02	0,121 ± 0,02	0,187 ± 0,02	0,308 ± 0,02	0,495 ± 0,02	1,375 ± 0,02
Гистидин (His)	Сл.	0,726 ± 0,02	0,792 ± 0,02	1,045 ± 0,02	0,150 ± 0,02	0,274 ± 0,02	0,278 ± 0,02	0,310 ± 0,02	0,352 ± 0,02	0,900 ± 0,02
Аргенин (Arg)	Сл.	0,100 ± 0,02	0,124 ± 0,02	0,189 ± 0,02	0,121 ± 0,02	0,144 ± 0,02	0,229 ± 0,02	0,304 ± 0,02	0,519 ± 0,02	1,088 ± 0,02
Аланин (Ala)	Сл.	0,123 ± 0,02	0,156 ± 0,02	0,178 ± 0,02	0,097 ± 0,02	0,135 ± 0,02	0,178 ± 0,02	0,211 ± 0,02	0,392 ± 0,02	0,944 ± 0,02
Серин (Ser)	0,039	0,012 ± 0,02	0,019 ± 0,02	0,034 ± 0,02	0,036 ± 0,02	0,085 ± 0,02	0,167 ± 0,02	0,031 ± 0,02	0,130 ± 0,02	0,702 ± 0,02
Глутаминовая кислота (Glu)	0,908	0,490 ± 0,02	0,590 ± 0,02	3,520 ± 0,02	0,410 ± 0,02	0,654 ± 0,02	2,760 ± 0,02	6,480 ± 0,02	8,701 ± 0,02	5,461 ± 0,02
Аспарагиновая кислота (Asp)	Сл.	0,034 ± 0,02	0,211 ± 0,02	0,240 ± 0,02	0,068 ± 0,02	0,389 ± 0,02	0,459 ± 0,02	0,024 ± 0,02	0,178 ± 0,02	0,366 ± 0,02
Цистеин (Cys)	Сл.	0,450 ± 0,02	0,530 ± 0,02	0,688 ± 0,02	0,308 ± 0,02	0,440 ± 0,02	0,539 ± 0,02	0,668 ± 0,02	0,932 ± 0,02	0,966 ± 0,02
Тирозин (Tyr)	0	0,040 ± 0,02	0,041 ± 0,02	0,044 ± 0,02	0,042 ± 0,02	0,046 ± 0,02	0,047 ± 0,02	0,090 ± 0,02	0,092 ± 0,02	0,095 ± 0,02
Глицин (Gly)	0,209	0,477 ± 0,02	0,511 ± 0,02	0,681 ± 0,02	0,101 ± 0,02	0,170 ± 0,02	0,177 ± 0,02	0,020 ± 0,02	0,244 ± 0,02	0,633 ± 0,02

обнаруженных после процесса биокаталической конверсии аминокислот около 25,8 % приходится на долю лизина, лейцина, аргинина, метионина и фенилаланина.

Выводы

В ходе работы были определены рациональные параметры процесса биокаталической конверсии ферментным комплексом микроорганизмов рода

Aspergillus oryzae season: соотношение фермент-субстрат – 1:1000, продолжительность процесса – 60–90 мин, pH среды – 4,0 ± 0,1, температура – 35–45 °C.

Результаты исследований образцов сыворотки в результате реакции показали присутствие в своем составе низкомолекулярных пептидов. Это говорит об эффективности процесса и снижения аллергенности сывороточного белка.

Критерии авторства

Т. В. Подлегаева руководила проектом. О. В. Козлова, О. В. Кригер и Н. Л. Потураева принимали участие

в экспериментальных исследованиях.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет

Contribution

T.V. Podlegaeva supervised the project. O.V. Kozlova, O.V. Krieger, and N.L. Poturaeva took part in the experimental studies.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Лусс, Л. В. Пищевые аллергены и пищевые добавки: роль в формировании пищевой аллергии и пищевой непереносимости / Л. В. Лусс // Эффективная фармакотерапия. – 2014. – № 33. – С. 12–19.
2. EAACI food allergy and anaphylaxis guidelines: diagnosis and management of food allergy / A. Muraro, T. Werfel, K. Hoffmann-Sommergruber [et al.] // Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology. – 2014. – Vol. 69, № 8. – P. 1008–1025. DOI: <https://doi.org/10.1111/all.12429>.
3. К вопросу о перспективных направлениях борьбы с аллергией / В. Д. Харитонов, В. Г. Будрик, Е. Ю. Агаркова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – Т. 27, № 4. – С. 3–6.
4. Immunomodulatory properties of the milk whey products obtained by enzymatic and microbial hydrolysis / S.-M. Huang, K.-N. Chen, Y.-P. Chen [et al.] // International Journal of Food Science and Technology. – 2010. – Vol. 45, № 5. – P. 1061–1067. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02239.x>.
5. Gauthier, S. F. Immunomodulatory peptides obtained by the enzymatic hydrolysis of whey proteins / S. F. Gauthier, Y. Pouliot, D. Saint-Sauveur // International Dairy Journal. – 2006. – Vol. 16, № 11. – P. 1315–1323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2006.06.014>.
6. Screening of whey protein isolate hydrolysates for their dual functionality: Influence of pre-treatment and enzyme specificity / R. Ajonu, G. Doran, P. Torley [et al.] // Food Chemistry. – 2013. – Vol. 136, № 3–4. – P. 1435–1443. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.053>.
7. A study of polyfunctional properties of biologically active peptides / A. Prosekov, O. Babich, L. Dyshlyuk [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – Vol. 7, № 4. – P. 2391–2400.
8. Fibrinolytic and collagenolytic activity of extracellular proteinases of the strains of micromycetes *Aspergillus ochraceus* L-1 and *Aspergillus ustus* 1 / A. A. Osmolovskiy, E. A. Popova, V. G. Kreyer [et al.] // Moscow University Biological Sciences Bulletin. – 2016. – Vol. 71, № 1. – P. 62–66. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0096392516010053>.
9. Deriving biologically active peptides and study of their qualities / I. S. Milenteva, L. S. Dyshlyuk, A. Yu. Prosekov [et al.] // Science Evolution. – 2016. – Vol. 1, № 2. – P. 20–33. DOI: <https://doi.org/10.21603/2500-1418-2016-1-2-20-33>.
10. The proteolytic activity research of the lactic acid microorganisms of different taxonomic groups / A. Prosekov, O. Babich, S. Asukhikh [et al.] // World Applied Sciences Journal. – 2013. – Vol. 23, № 10. – P. 1284–1290.
11. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.05.003>.
12. Identification of bioactive peptides in a functional yoghurt by micro liquid chromatography time-of-flight mass spectrometry assisted by retention time prediction / P. B. Kunda, F. Benavente, S. Catala-Clariana [et al.] // Journal of Chromatography A. – 2012. – Vol. 1229. – P. 121–128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.12.093>.
13. Baldasso, C. A comparison of different electrodes solutions on demineralization of permeate whey / C. Baldasso, L. D. F. Marczak, I. C. Tessaro // Separation Science and Technology. – 2014. – Vol. 49, № 2. – P. 179–185.
14. Деминерализация молочной сыворотки для производства продуктов с пониженной аллергенностью / Н. Л. Потураева, О. В. Кригер, Т. В. Подлегаева [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2013. – № 8. – С. 24–26.
15. Use of cation-coated filtration membranes for demineralization by electro dialysis / W. Villeneuve, V. Perreault, P. Chevallier [et al.] // Separation and Purification Technology. – 2019. – Vol. 218. – P. 70–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.02.032>.
16. Modeling the angiotensin-converting enzyme inhibitory activity of peptide mixtures obtained from cheese whey hydrolysates using concentration-response curves / N. Estévez, P. Fuciños, A. C. Sobrosa [et al.] // Biotechnology Progress. – 2012. – Vol. 28, № 5. – P. 1197–1206. DOI: <https://doi.org/10.1002/btpr.1587>.
17. Proteolytic activity of *Enterococcus faecalis* VB63F for reduction of allergenicity of bovine milk proteins / V. Biscola, F. L. Tulini, Y. Choiset [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2016. – Vol. 99, № 7. – P. 5144–5154. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11036>.

18. Prosekov, A. Yu. Foresight of food industry development up to 2030: challenges and solutions / A. Yu. Prosekov, T. F. Kiseleva // Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2019. – Vol. 139. – P. 349–356. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-18553-4_44.

19. Prosekov, A. Yu. Identification of industrially important lactic acid bacteria in foodstuffs / A. Yu. Prosekov, O. O. Babich, K. V. Bespomestnykh // Foods and Raw Materials. – 2013. – Vol. 1, № 2. – P. 42–45. DOI: <https://doi.org/10.12737/2053>.

References

1. Luss LV. Food allergens and food additives: the role in the development of food allergy and food intolerance. Effective Pharmacotherapy. 2014;(33):12–19. (In Russ.).

2. Muraro A, Werfel T, Hoffmann-Sommergruber K, Roberts G, Beyer K, Bindslev-Jensen C, et al. EAACI food allergy and anaphylaxis guidelines: diagnosis and management of food allergy. Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology. 2014;69(8):1008–1025. DOI: <https://doi.org/10.1111/all.12429>.

3. Kharitonov VD, Budrik VG, Agarkova EJ, Botina SG, Berezkina KA, Kruchinin AG, et al. Perspective directions of struggle with allergy. Food Processing: Techniques and Technology. 2012;27(4):3–6. (In Russ.).

4. Huang S-M, Chen K-N, Chen Y-P, Hong W-S, Chen M-J. Immunomodulatory properties of the milk whey products obtained by enzymatic and microbial hydrolysis. International Journal of Food Science and Technology. 2010;45(5):1061–1067. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02239.x>.

5. Gauthier SF, Pouliot Y, Saint-Sauveur D. Immunomodulatory peptides obtained by the enzymatic hydrolysis of whey proteins. International Dairy Journal. 2006;16(11):1315–1323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2006.06.014>.

6. Ajonu R, Doran G, Torley P, Agboola S. Screening of whey protein isolate hydrolysates for their dual functionality: Influence of pre-treatment and enzyme specificity. Food Chemistry. 2013;136(3–4):1435–1443. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.053>.

7. Prosekov A, Babich O, Dyshlyuk L, Noskova S, Suhih S. A study of polyfunctional properties of biologically active peptides. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016;7(4):2391–2400.

8. Osmolovskiy AA, Popova EA, Kreyer VG, Baranova NA, Egorov NS. Fibrinolytic and collagenolytic activity of extracellular proteinases of the strains of micromycetes *Aspergillus ochraceus* L-1 and *Aspergillus ustus* 1. Moscow University Biological Sciences Bulletin. 2016;71(1):62–66. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0096392516010053>.

9. Milenteva IS, Dyshlyuk LS, Prosekov AYU, Babich OO, Shishin MV. Deriving biologically active peptides and study of their qualities. Science Evolution. 2016;1(2):20–33. DOI: <https://doi.org/10.21603/2500-1418-2016-1-2-20-33>.

10. Prosekov A, Babich O, Asukhikh S, Noskova S, Dushlyuk L. The proteolytic activity research of the lactic acid microorganisms of different taxonomic groups. World Applied Sciences Journal. 2013;23(10):1284–1290.

11. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.05.003>.

12. Kunda PB, Benavente F, Catala-Clariana S, Giménez E, Barbosa J, Sanz-Nebot V. Identification of bioactive peptides in a functional yoghurt by micro liquid chromatography time-of-flight mass spectrometry assisted by retention time prediction. Journal of Chromatography A. 2012;1229:121–128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.12.093>.

13. Baldasso C, Marczak LDF, Tessaro IC. A comparison of different electrodes solutions on demineralization of permeate whey. Separation Science and Technology. 2014;49(2):179–185.

14. Poturaeva NL, Kriger OV, Podlegaeva TV, Drozdova TM. Demineralization of whey for the production of products with low allergenicity. Storage and Processing of Farm Products. 2013;(8):24–26. (In Russ.).

15. Villeneuve W, Perreault V, Chevallier P, Mikhaylin S, Bazinet L. Use of cation-coated filtration membranes for demineralization by electrodialysis. Separation and Purification Technology. 2019;218:70–80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.02.032>.

16. Estévez N, Fuciños P, Sobrosa AC, Pastrana L, Pérez N, Luisa Rúa M. Modeling the angiotensin-converting enzyme inhibitory activity of peptide mixtures obtained from cheese whey hydrolysates using concentration-response curves. Biotechnology Progress. 2012;28(5):1197–1206. DOI: <https://doi.org/10.1002/btpr.1587>.

17. Biscola V, Tulini FL, Choiset Y, Rabesona H, Ivanova I, Chobert J-M, et al. Proteolytic activity of *Enterococcus faecalis* VB63F for reduction of allergenicity of bovine milk proteins. Journal of Dairy Science. 2016;99(7):5144–5154. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11036>.

18. Prosekov AYU, Kiseleva TF. Foresight of food industry development up to 2030: challenges and solutions. Smart Innovation, Systems and Technologies. 2019;139:349–356. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-18553-4_44.

19. Prosekov AYU, Babich OO, Bespomestnykh KV. Identification of industrially important lactic acid bacteria in foodstuffs. Foods and Raw Materials. 2013;1(2):42–45. DOI: <https://doi.org/10.12737/2053>.

Сведения об авторах

Подлегаева Татьяна Викторовна

канд. техн. наук, доцент 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: tpodlegaeva@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8542-9601>

Козлова Оксана Васильевна

канд. техн. наук, доцент кафедры бионанотехнологии, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-00-51, e-mail: ms.okvk@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2960-0216>

Кригер Ольга Владимировна

д-р техн. наук, профессор Института живых систем, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», 236016, Россия, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14, ведущий научный сотрудник НИИ биотехнологии, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (923) 498-45-64, e-mail: olgakruger58@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1489-0716>

Потураева Наталья Леонидовна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (960) 920-03-61, e-mail: 020678@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5950-2986>

Information about the authors

Tatiana V. Podlegaeva

Cand.Sci.(Eng.), Associate 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: tpodlegaeva@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8542-9601>

Oksana V. Kozlova

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Bionanotechnology, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-00-51, e-mail: ms.okvk@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2960-0216>

Olga V. Kriger

Dr.Sci.(Eng.), Professor of the Institute of Living Systems, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14, A. Nevskogo Str., Kaliningrad, 236016, Russia, Leading Researcher of the Institute of Biotechnology, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (923) 498-45-64, e-mail: olgakruger58@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1489-0716>

Natalia L. Poturaeva

Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (960) 920-03-61, e-mail: 020678@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5950-2986>

Построение математической модели охлаждения карамели в этиловом спирте

А. А. Хвостов^{1,3}, Г. О. Магомедов², В. И. Рязских^{1,3}, И. В. Плотникова^{2,*},
А. А. Журавлев¹, М. Г. Магомедов²



¹ Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора
Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»,
394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А

² ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет
инженерных технологий»,
394036, Россия, г. Воронеж, пр. Революции, 19

³ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»,
394026, Россия, г. Воронеж, пр. Московский, 14

Дата поступления в редакцию: 09.04.2020
Дата принятия в печать: 28.08.2020

*e-mail: plotnikova_2506@mail.ru



© А. А. Хвостов, Г. О. Магомедов, В. И. Рязских, И. В. Плотникова, А. А. Журавлев, М. Г. Магомедов, 2020

Аннотация.

Введение. Основной проблемой охлаждения карамели воздухом является длительность процесса и использование многоярусных охлаждающих агрегатов. Актуальным является разработка инновационного способа охлаждения карамели в «холодном» пищевом этиловом спирте. Это позволит упростить и интенсифицировать технологический процесс, сократить производственные площади за счет исключения отдельных технологических стадий и сложных единиц металлоемкого и энергоемкого оборудования при охлаждении карамели, получить карамель с антисептическими свойствами, с идеально гладкой, блестящей и сухой поверхностью.

Объекты и методы исследования. Для реализации принципиально новой и перспективной технологии карамели, экспериментальные исследования по получению и охлаждению карамельной массы проводились в универсальной смесительно-формующей установке с высокопроизводительной охлаждающей камерой с «холодным» пищевым этиловым спиртом, которая характеризуется высоким уровнем автоматизации измерений и управления основными параметрами процесса охлаждения.

Результаты и их обсуждение. Предложена математическая модель процесса охлаждения карамели в этиловом спирте, включающая в себя процессы теплопередачи в спирте, в объеме карамели, а также на их границе. В основу положены уравнения нестационарной теплопроводности в шаре. Процесс теплообмена с окружающей средой (спиртом) характеризуется коэффициентом теплоотдачи от шара. На основе известных экспериментальных данных проведена аппроксимация параметров модели (динамической вязкости, плотности, коэффициента теплопроводности, удельной теплоемкости) как функции температуры многочленом третьего порядка.

Выводы. Разработанная математическая модель позволяет оценить радиальное распределение температуры карамели в форме шара при ее конвективном охлаждении в этиловом спирте, а также прогнозировать изменение среднеобъемной температуры карамели и энергетических затрат в зависимости от продолжительности охлаждения, скорости движения потока этилового спирта, теплофизических свойств карамели и охлаждающего агента. Предложенные математические соотношения могут быть использованы для расчета потребного расхода этилового спирта для охлаждения, а также расчета и подпора оборудования поточной линии производства карамели.

Ключевые слова. Охлаждение, карамель, спирт, теплообмен, математическое моделирование

Для цитирования: Построение математической модели охлаждения карамели в этиловом спирте / А. А. Хвостов, Г. О. Магомедов, В. И. Рязских [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 425–438. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-425-438>.

Cooling Caramel in Ethyl Alcohol: Constructing a Mathematical Model

Anatoly A. Khvostov^{1,3}, Gazibeg O. Magomedov², Victor I. Ryazhskih^{1,3},
Inessa V. Plotnikova^{2,*}, Aleksey A. Zhuravlev¹, Magomed G. Magomedov²

¹ Military Educational and Scientific Centre of the
Air Force N.E. Zhukovskiy and Y.A. Gagarin
Air Force Academy,
54A, Starykh Bol'shevikov Str., Voronezh, 394064, Russia

² Voronezh State University of Engineering Technologies,
19, Revolutsii Ave., Voronezh, 394036, Russia

³ Voronezh State Technical University,
14, Moskovskiy Ave., Voronezh, 394026, Russia

Received: April 09, 2020
Accepted: August 28, 2020

*e-mail: plotnikova_2506@mail.ru



© A.A. Khvostov, G.O. Magomedov, V.I. Ryazhskih, I.V. Plotnikova, A.A. Zhuravlev, M.G. Magomedov, 2020

Abstract.

Introduction. The process of air-cooling caramel remains one of the most complicated issues of contemporary food industry, since it is time-consuming and requires multi-level cooling units. Therefore, the development of an innovative method of cooling caramel in “cold” potable ethanol is an urgent task the modern food science has to solve. The method optimizes and intensifies the technological process, as it reduces production areas by eliminating some technological stages and complex units of metal-intensive and energy-intensive equipment. It gives caramel antiseptic properties and a perfectly smooth, shiny, and dry surface.

Study objects and methods. The research objective was to develop a fundamentally new and promising caramel technology. The experimental studies on the production and cooling were performed in a mixing and forming multi-unit with a high-performance cooling chamber. The chamber had functions of automatic measurements and control of the main parameters of the cooling process. The research used “cold” potable ethanol.

Results and discussion. The paper introduces a mathematical model of the process of cooling caramel in ethanol. It includes heat transfer processes in alcohol, in the caramel mass, and on their border. The model was based on equations of transient heat conduction in a sphere. The process of heat exchange with the environment, i.e. alcohol, was characterized by the coefficient of heat transfer from the sphere. The model parameters included dynamic viscosity, density, thermal conductivity coefficient, and specific heat capacity. Based on the experimental data, the parameters were approximated as a function of temperature by a cubic polynomial.

Conclusion. The developed mathematical model made it possible to estimate the radial temperature distribution of caramel in the form of a sphere during its convective cooling in ethanol. The model also predicted the change in the average volume temperature of the caramel and energy costs depending on the cooling period, the flow speed of the ethanol, the thermophysical properties of the caramel and the cooling agent. The proposed mathematical model can be used to calculate the required consumption of ethanol for cooling and backwater of the caramel production line.

Keywords. Cooling, sweets, ethanol, heat exchange, mathematical modeling

For citation: Khvostov AA, Magomedov GO, Ryazhskih VI, Plotnikova IV, Zhuravlev AA, Magomedov MG. Cooling Caramel in Ethyl Alcohol: Constructing a Mathematical Model. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):425–438. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-425-438>.

Введение

Одной из важных технологических стадий производства карамели является ее формование с последующим охлаждением перед заверткой и упаковкой. Для получения карамели удовлетворительного качества – твердой, прочной и хрупкой структуры – отформованную карамель охлаждают до температуры 30–35 °С [1].

Охлаждение карамели на производстве достигается за счет обдувания ее воздухом из помещения, подаваемого вентилятором через воздуховоды. Причем, чем ниже температура воздуха, тем эффективнее процесс охлаждения. Если у воздуха низкая температура из-за малой теплопроводности карамельной массы, то карамель может охлаждаться неравномерно. На поверхности температура снижается, но внутри остается высокой. При этом наружные размеры карамели сокращаются, тогда как внутри карамели такие изменения незначительны, что приводит к появлению на поверхности карамели

трещин. В зимнее время используют наружный воздух, к которому частично добавляют воздух из помещения, а в летнее время – воздух, охлажденный в кондиционерах. Относительная влажность воздуха должна быть не выше 60 %, его температура должна быть на 2–3 °С выше точки росы воздуха в цехе [2].

На предприятиях используют несколько способов формования карамели: I – путем формирования карамельного батона и калибровки карамельного жгута из карамельной массы температурой 75–80 °С с последующим его разделением с помощью цепных режущих, штампующих и ротационных машин или карамелеформирующе-заверточных автоматов на отдельные карамельки определенной формы; II – методом экструзии карамельной массы в виде карамельного жгута температурой 75–80 °С с последующей его резкой на отдельные карамельки; III – отливкой горячей карамельной массы температурой 128–133 °С в жесткие силиконовые, поликарбонатные или металлические с тефлоновым

покрытием формы различной конфигурации с помощью отливочных машин с поршневыми или ротационными дозаторами, смонтированных в комплекте с охлаждающими туннелями или шкафами [3, 4].

Охлаждение карамели после ее формования первым и вторым способами проводят в два этапа. Вначале карамель в виде отдельных карамелек, соединенных между собой перемычками, охлаждают на узком охлаждающем транспортере до температуры 65–70 °С, а затем в специальных охлаждающих шкафах или установках закрытого типа. Продолжительность охлаждения карамели на узком охлаждающем транспортере составляет 10–15 с. Однако, в связи с высокой скоростью формования карамели на цепных, штампующих и ротационных машинах, требуется транспортер большой длины (до 30 м). При этом общая длина поточной линии значительно увеличивается, затрудняется работа по ее обслуживанию и для этого требуются большие производственные площади. Для окончательного охлаждения карамели применяют охлаждающие устройства различной конфигурации. Например, многоярусный (от двух до пяти ярусов) вибрационный агрегат марки АОК закрытого типа производительностью 1000 кг/ч комбинированного (конвективно-радиационного) отвода теплоты, ускоряющего процесс охлаждения карамели. Данный агрегат представляет собой камеру, внутри которой проходит сетчатый конвейер и установленные две автономные системы охлаждения и транспортирования воздуха. Система охлаждения состоит из воздухоохладителя, вентилятора, воздуховода и распределительного короба. Горячая карамель поступает на сетчатый конвейер и перемещается под распределительным коробом. Из короба через щели поступает холодный воздух, который охлаждает карамель и направляется на повторное охлаждение. Кроме того, поверхности распределительного короба, обращенные к охлаждаемой карамели, окрашены черной краской, что приводит к поглощению ими теплоты, излучаемой карамелью. От нагретых поверхностей теплота отбирается воздухом. Во время работы агрегата температуру охлаждающего воздуха поддерживают на уровне 0–3 °С, относительную влажность – не выше 60 %. Температура рассола в воздухоохладителе должна быть от –12 °С до –15 °С, давление – 0,5–0,6 МПа, продолжительность охлаждения карамели в агрегате составляет до 3 мин, расход холодного воздуха – 8500 м³/ч, расход холода – 22000 ккал/ч, суммарная мощность электродвигателей равна 9,4 кВт. При охлаждении карамели на двухъярусном охлаждающем инерционном транспортере ШТ2-В производительностью 1000 кг/ч расход холодного воздуха составляет 60 000 м³/ч, продолжительность охлаждения – до 4 мин [5].

Карамель, отформованную по третьему способу (методом отливки), охлаждают в один этап: путем охлаждения заполненных карамельной массой форм в охлаждающем туннеле или шкафу при температуре воздуха не более 10 °С в течении 15 мин. Для этого применяют охлаждающие многоярусные (до пять ярусов) туннели или шкафы фирмы Bosch, Winkler und dunnebler, Klockner Hansel, Sollich (Германия), D&R Industries (Китай) производительностью до 2000 кг/ч [3]. Они состоят из чередующихся последовательно вентиляционных и холодильных секций, оснащенных испарителями и мощными вентиляторами.

Основной проблемой охлаждения карамели воздухом является длительность процесса (12–16 мин) и использование многоярусных охлаждающих агрегатов, которые из-за своих габаритных размеров занимают значительную площадь. Данное оборудование необходимо регулярно выключать, чтобы с воздухоохладителей стайвала снежная «шуба», периодически очищать и просушивать камеры. Кроме того, периодически следует удалять пыль и загрязнения с поверхностей воздухоохладителей и радиационных панелей. Наружные поверхности узлов, соприкасающиеся с рассолом (или фреоном), имеют температуру, при которой происходит конденсация воздушной влаги, поэтому они должны быть покрыты теплоизоляцией [6]. В связи с этим необходимо проведение новых научных исследований по усовершенствованию процесса охлаждения отформованной карамели в различных охлаждающих средах.

Для совершенствования и интенсификации технологического процесса охлаждения карамели, устранения имеющихся недостатков, исключения отдельных технологических стадий и единиц оборудования, сокращения производственных площадей, снижения энергозатрат на обработку, формование и охлаждение карамели, повышение производительности и качества карамели актуальным является разработка инновационного способа охлаждения карамели в «холодном» пищевом этиловом спирте.

«Холодный» пищевой этиловый спирт имеет ряд преимуществ перед воздухом по теплофизическим и технологическим характеристикам. Этиловый спирт обезвоженный 100 % концентрацией не растворяет карамель и не замерзает при низких температурах, даже при температуре (–100 °С) [7]. Продолжительность охлаждения карамели в «холодном» спирте в несколько раз меньше, чем на воздухе. Быстрое охлаждение карамели позволяет предотвратить процесс кристаллизации карамельной массы после ее уваривания, получить карамель с идеально гладкой, блестящей и сухой поверхностью, т. к. спирт обладает свойствами осушителя.

Полученная карамель при упаковке и хранении не слеживается, не засахаривается, не намокает и не прилипает к упаковочному материалу. Еще одним плюсом использования спирта является то, что полученная карамель обладает антисептическими свойствами и долго хранится без специальной упаковки. Преимуществом процесса охлаждения карамели в «холодном» пищевом этиловом спирте являются: непрерывность технологического потока, компактность технологического оборудования, универсальность, низкий удельный расход энергии, небольшие капитальные затраты и снижение количества обслуживающего персонала. Данный метод позволяет повысить производительность и эффективность производства, качество продукции, открывает возможность создания новых видов карамели [8].

Целью работы являлась разработка математической модели, описывающей процессы теплообмена охлаждаемой карамели с потоком этилового спирта, что позволит провести сравнительные численные исследования и выявить преимущества инновационного способа охлаждения карамели.

Объекты и методы исследования

Для реализации принципиально новой и перспективной технологии карамели экспериментальные исследования по получению и охлаждению карамельной массы проводились в универсальной смесительно-формующей установке (УСФУ). Ее преимуществом является совмещение процессов уваривания, смешивания, формования и охлаждения в одной установке. При этом достигается непрерывность технологического процесса, низкий удельный расход энергии, небольшие капитальные затраты, что позволяет значительно повысить эффективность производства и улучшить качество продукции. Данная установка отличается высокой интенсивностью получения карамели путем уваривания карамельной массы в вакуум-варочном котле с последующим смешиванием ее с другими рецептурными компонентами перед формованием и отливкой в жесткие формы, которые плавно переходят в закрытую теплоизолированную охлаждающую камеру, заполненную «холодным» пищевым этиловым спиртом [9].

Карамель леденцовую готовили без добавления сахара на основе патоки крахмальной по рецептуре (табл. 1) следующим образом. Крахмальную патоку влажностью 20 ± 2 % и температурой 85–90 °С подавали на уваривание в вакуум-варочную установку. В полученную карамельную массу с массовой долей влаги 1,5–3 % и редуцирующих веществ 45–60 % с помощью дозаторов вносили вкусоароматические и красящие вещества в виде растворов в закрытой камере со шнеком.

Таблица 1. Рецепт карамели без добавления сахара на основе патоки крахмальной

Table 1. Formulation for sugar-free caramel based on starch syrup

Наименование сырья	Расход сырья на 100 кг карамели, кг
Патока крахмальная	98,90
Ароматизатор пищевой или эфирное масло	0,08
Краситель пищевой	0,08
Лимонная кислота	0,94

Приготовленную карамельную массу при температуре 128–133 °С формовали методом отливки в силиконовые формы, диаметр формируемой карамели составлял 0,008 м. Формы с отлитой карамелью опускались в «холодный» пищевой этиловый спирт с температурой 10 ± -5 °С в закрытой охлаждающей камере, в которой карамель охлаждалась до температуры 35 °С. Температура карамели измерялась при помощи быстродействующей термопары типа Т (Cu-CuNi) в виде игловидного зонда, подключенного к цифровому трехканальному термометру марки Testo 735-2. На выходе из камеры карамель обдувалась воздухом для удаления с ее поверхности остатков этилового спирта и затем с помощью сетчатого транспортера карамель с идеально гладкой и блестящей поверхностью передавали на упаковку.

Экспериментальная охлаждающая установка для охлаждения карамели в «холодном» этиловом спирте (рис. 1) состоит из проточной теплоизолированной охлаждающей камеры 9 со съемной верхней крышкой. Внутри камеры 9 расположен сетчатый поддон 13, на который устанавливаются силиконовые формы 14 с горячей отлитой карамелью 10 шарообразной формы диаметром 0,008 м. Охлаждающий спирт из емкости 2 непрерывно прокачивается через охлаждающую камеру 9 при помощи погружного насоса 3. Емкость 2 со спиртом оснащена мешалкой и расположена в холодильной камере с фреоновой батареей 1 с автоматическим поддержанием заданной температуры. Спирт заданной температуры, непрерывно протекая через охлаждающую камеру 9, отбирает теплоту от горячей карамели 10 и через вентиль 12 направляется в емкость 2 для его повторного использования. Температура спирта и отформованной карамели непрерывно измеряется с помощью датчиков температуры 4, 7, 8 (быстродействующие термопары типа Т (Cu-CuNi) в виде игловидных зондов) и отображается на дисплее цифрового трехканального термометра 6 марки Testo 735-2. Линейная скорость потока спирта автоматически измеряется и регулируется при помощи термоанеметрического датчика скорости потока 15 марки FS7, подключенного к цифровому модулю управления 16. Последний состоит из модуля

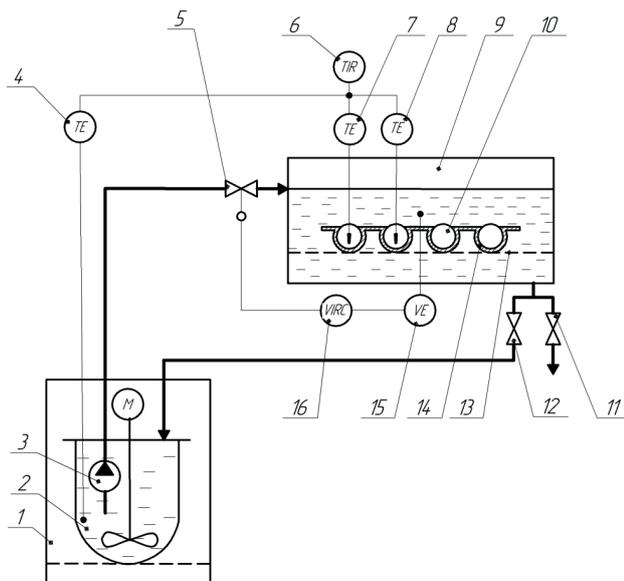


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки: 1 – камера холодильная; 2 – емкость с мешалкой; 3 – насос погружной; 4, 7 и 8 – датчик температуры; 5 – вентиль регулировочный; 6 – термометр цифровой трехканальный; 9 – камера охлаждающая; 10 – отлитая карамель; 11 – вентиль сливной; 12 – вентиль; 13 – поддон сетчатый; 14 – форма силиконовая; 15 – датчик скорости потока термоанемометрический; 16 – модуль управления

Figure 1. Scheme of the experimental set: 1 – refrigerating chamber; 2 – container with a stirrer; 3 – submersible pump; 4, 7, and 8 – temperature sensor; 5 – control valve; 6 – digital three-channel thermometer; 9 – cooling chamber; 10 – cast caramel; 11 – drain valve; 12 – valve; 13 – mesh pallet; 14 – silicone mold; 15 – hot-wire flow velocity sensor; 16 – control module

сопряжения FS-Flowmodul, управляющего модуля SLSTK3400A (Silicon Labs) на базе микроконтроллера серии EFM32 Gecko и сенсорного TFT-дисплея Riverdi, оснащенного встроенным графическим контроллером FT801. Модуль 16 управляет работой регулировочного вентиля 5, обеспечивая постоянство объемного расхода спирта и линейную скорость потока спирта в охлаждающей камере 9. Для слива спирта из камеры 9 и проведения ее санитарной обработки предусмотрен сливной вентиль 11.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе работы проводился сравнительный анализ кинетических кривых охлаждения карамели с помощью воздуха в холодильной установке с регулируемой температурой и в «пищевом» этиловом спирте, охлаждаемом в холодильной камере с фреоновой батареей, при разных температурах – от 10 °С (это температура охлаждения карамели по традиционной технологии) до максимально возможной низкой температуры с позиции приемлемости и технологичности –5 °С. На рисунке 2 показано, что

продолжительность охлаждения карамели в спирте меньше, чем на воздухе. Это можно объяснить различными теплофизическими свойствами данных агентов, т. к. теплоемкость, теплопроводность и температуропроводность спирта выше, чем у воздуха при одинаковых условиях. Характер кривых охлаждения для всех температурных режимов идентичен. Причем, чем ниже температура охлаждающего агента, тем интенсивнее происходит охлаждение карамели до необходимой прочности. В начальный период охлаждения происходит быстрое снижение температуры карамели, особенно при охлаждении в спирте, что свидетельствует о высокой скорости охлаждения карамели в первый период. В дальнейшем скорость охлаждения снижается, а затем постепенно стабилизируется и температура карамели постепенно приближается к температуре охлаждающей среды. Следовательно, продолжительность охлаждения карамели во многом зависит от температуры охлаждающей среды. Например, если для охлаждения карамели от 120 до 35 °С на воздухе с температурой от 10 до –5 °С необходимо 1200–400 с (или 20–6,7 мин), то для охлаждения карамели в «холодном» пищевом этиловом спирте при тех же температурах потребуется 180–95 с (или 3–1,6 мин).

Таким образом, охлаждение карамели в спирте, по сравнению с воздухом, происходит в 6,6–4,2 раза быстрее. Причем при снижении температуры охлаждающей среды процесс охлаждения интенсифицируется. Об этом свидетельствуют данные экстраполяции кривых зависимости температуры от продолжительности постепенного

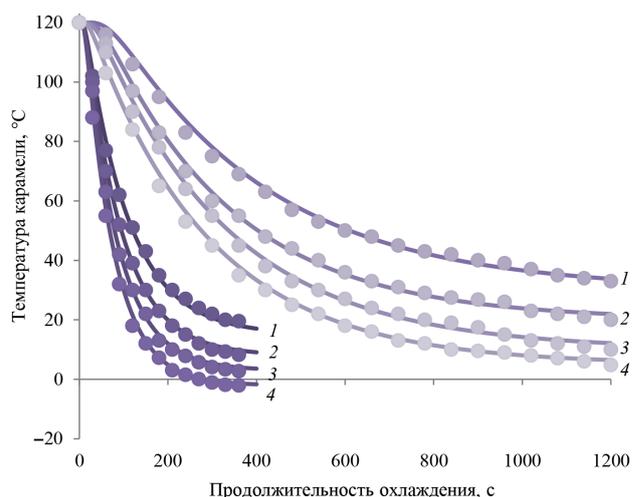


Рисунок 2. Динамика изменения температуры карамели в процессе ее охлаждения с помощью воздуха (●) и в пищевом этиловом спирте (◆) при температуре охлаждающих агентов, °С: 1 – 10; 2 – 5; 3 – 0; 4 – –5

Figure 2. Changes in the temperature of the caramel during cooling with air (●) and in potable ethanol (◆) at a temperature of cooling agents: 1 – 10°C; 2 – 5°C; 3 – 0°C; 4 – –5°C

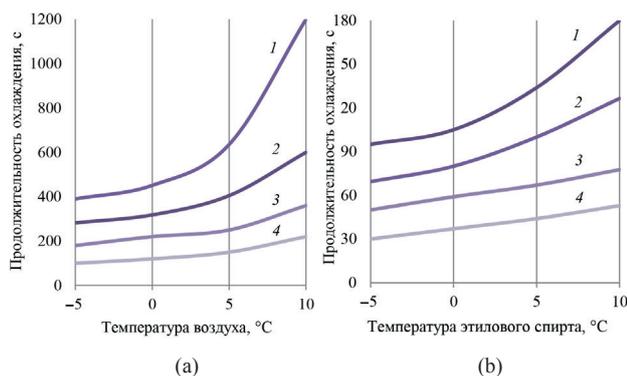


Рисунок 3. Номограммы охлаждения карамели с помощью воздуха (а) и пищевого этилового спирта (б) до температуры, °С: 1 – 35; 2 – 50; 3 – 70; 4 – 90

Figure 3. Nomograms of caramel air-cooling (a) and ethanol-cooling (b) to temperatures: 1 – 35°C; 2 – 50°C; 3 – 70°C; 4 – 90°C

охлаждения карамели до разной температуры – 90, 70, 50 и 35 °С (рис. 3). По полученным номограммам можно определить продолжительность охлаждения карамели в охлаждающей среде и рассчитать объем рабочей камеры для охлаждения карамели. Дальнейшее снижение температуры спирта в области низких температур от –10 °С до –20 °С позволит повысить интенсивность охлаждения карамели. Это подтверждает целесообразность применения этилового спирта в качестве охлаждающего агента для охлаждения карамели.

Для исследования динамики конвективного охлаждения карамели при разной скорости потока этилового спирта и выбора оптимальных режимов процесса охлаждения была изготовлена экспериментальная установка. Она характеризуется высоким уровнем автоматизации измерений и управления основными параметрами процесса охлаждения и возможностью одновременного проведения двух параллельных измерений, что повышает достоверность экспериментальных данных.

При разработке математической модели конвективного охлаждения карамели в этиловом спирте приняты следующие допущения: 1) карамель имеет сферическую форму радиусом R ; 2) внутренние источники тепловыделения (телопоглощения) в карамели отсутствуют; 3) карамель в форме шара является изотропным телом; 4) теплофизические характеристики карамели и охлаждающей среды (этилового спирта) неизменны во времени; 5) температура охлаждающей среды постоянна; 6) перенос тепла из центра карамели к ее поверхности осуществляется за счет теплопроводности, дальнейший отвод тепла с поверхности карамели к охлаждающей среде осуществляется за счет конвекции; 7) задача теплопроводности карамели в форме шара является симметричной относительно ее центра; 8) теплоинерционными свойствами материала формы, в которой расположена карамель, пренебрегаем.

Карамель в форме шара с радиусом R , равномерно нагретая до температуры T_0 , погружена в пищевой этиловый спирт с температурой T_c , причем $T_c < T_0$. Этиловый спирт движется относительно карамели с постоянной скоростью \mathcal{G} .

Общее уравнение нестационарной теплопроводности карамели в форме шара в сферической системе координат имеет вид [10, 11]:

$$\frac{\partial T(\varphi, \theta, r, \tau)}{\partial \tau} = a \Delta T(\varphi, \theta, r, \tau) \quad (1)$$

где φ, θ – углы между радиус-вектором температуры и осями абсцисс и аппликат; r – расстояние от начала координат до точки $T(\varphi, \theta, r, \tau)$, м; t – время, с; $T(\varphi, \theta, r, \tau)$ – температура в точке пространства с координатами (φ, θ, r) в момент времени t , °С; a – коэффициент температуропроводности карамели, м²/с; Δ – оператор Лапласа.

Раскрывая оператор Лапласа, представим уравнение (1) в следующем виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial T(\varphi, \theta, r, \tau)}{\partial \tau} = a & \left(\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T(\varphi, \theta, r, \tau)}{\partial r} \right) + \right. \\ & + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 T(\varphi, \theta, r, \tau)}{\partial \varphi^2} + \\ & \left. + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial T(\varphi, \theta, r, \tau)}{\partial \theta} \right) \right) \end{aligned} \quad (2)$$

В силу принятых допущений о симметричности уравнение нестационарной теплопроводности карамели в форме шара окончательно примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial \tau} = a & \left(\frac{\partial^2 T(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} \right) \\ \tau > 0, \quad 0 < r < R \end{aligned} \quad (3)$$

Уравнение нестационарной теплопроводности карамели (3) должно быть дополнено с соответствующими начальными и граничными условиями.

Начальное условие задает распределение температуры по объему карамели в начальный момент времени (в момент времени $t = 0$ температура карамели имеет постоянное значение T_0):

$$T(r, 0) = T_0, \quad 0 < r < R \quad (4)$$

На поверхности карамели ($r = R$) реализуется конвективный теплообмен между карамелью и пищевым этиловым спиртом (граничное условие третьего рода):

$$-\lambda \frac{\partial T(R, \tau)}{\partial r} = \alpha (T(R, \tau) - T_c), \quad \tau > 0 \quad (5)$$

где a – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); λ – коэффициент теплопроводности карамели, Вт/(м·К); $T(R, \tau)$ – температура на поверхности карамели, °С; T_c – температура этилового спирта, °С.

Поскольку рассматриваемая задача является осесимметричной, то граничные условия должны

быть дополнены условием адиабатичности поверхности:

$$\frac{\partial T(0, \tau)}{\partial r} = 0, \tau > 0 \quad (6)$$

Таким образом, задача нестационарной теплопроводности карамели в форме шара примет вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} \right), & \tau > 0, 0 < r < R; \\ T(r, 0) = T_0, & 0 < r < R; \\ -\lambda \frac{\partial T(R, \tau)}{\partial r} = \alpha (T(R, \tau) - T_c), & \tau > 0; \\ \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial r} = 0, & \tau > 0 \end{cases} \quad (7)$$

Задача нестационарной теплопроводности карамели в постановке (7) представлена в размерном виде и содержит восемь физических переменных, что усложняет ее решение и анализ. С целью сокращения количества переменных и упрощения граничных условий проведена операция нормирования переменных, т. е. приведение их к безразмерному виду. Для этого введем безразмерные переменные и параметры:

$$X = \frac{r}{R} \quad (8)$$

$$\Theta = \frac{T(r, \tau) - T_0}{T_c - T_0} \quad (9)$$

$$Fo = \frac{a\tau}{R^2} \quad (10)$$

$$Bi = \frac{\alpha R}{\lambda} \quad (11)$$

где X – безразмерная координата; Θ – безразмерная избыточная температура; Fo – число Фурье; Bi – критерий Био.

С учетом этого третья начально-краевая задача нестационарной теплопроводности карамели (5) принимает вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Theta}{\partial Fo} = \frac{1}{X^2} \frac{\partial}{\partial X} \left(X^2 \frac{\partial \Theta}{\partial X} \right), \\ \Theta = 0, & Fo = 0; \\ -\frac{\partial \Theta}{\partial X} = Bi\Theta, & X = 1; \\ \frac{\partial \Theta}{\partial X} = 0, & X = 0 \end{cases} \quad (12)$$

Решая задачу вида (12) методом Фурье, получим закон изменения безразмерной избыточной температуры карамели в форме шара при ее охлаждении в этиловом спирте [12]:

$$\Theta = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \frac{\sin(\mu_n X)}{X \mu_n} \exp(-\mu_n^2 Fo) \quad (13)$$

где A_n – тепловые амплитуды; μ_n – собственные

значения, являющиеся корнями трансцендентного уравнения:

$$\operatorname{tg} \mu = -\frac{1}{Bi-1} \mu \quad (14)$$

Тепловые амплитуды:

$$A_n = \frac{2(\sin(\mu_n) - \mu_n \cos(\mu_n))}{\mu_n - \sin(\mu_n) \cos(\mu_n)} \quad (15)$$

Заменяя в последнем выражении $\sin(\mu_n)$ и $\cos(\mu_n)$ через μ_n и Bi , получим выражения для расчета тепловых амплитуд A_n :

$$A_n = (-1)^{n+1} \frac{2Bi \sqrt{\mu_n^2 + (Bi-1)^2}}{\mu_n^2 + Bi^2 - Bi} \quad (16)$$

Переходя от безразмерного вида (13) к размерным переменным с учетом выражений (8), (9) и (10), получим уравнение:

$$T(r, \tau) = T_0 + (T_c - T_0) \left[1 - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \frac{R \sin \mu_n \frac{r}{R}}{r \mu_n} \exp\left(-\mu_n^2 \frac{a}{R^2} \tau\right) \right] \quad (17)$$

Среднеобъемная температура карамели:

$$\bar{T}(\tau) = \frac{3}{R^3} \int_0^R r^2 T(r, \tau) dr \quad (18)$$

Подставляя в (18) вместо $T(r, \tau)$ решение (17), после интегрирования получим закон изменения среднеобъемной температуры карамели:

$$\bar{T}(\tau) = T_0 + (T_c - T_0) \left[1 - \sum_{n=1}^{\infty} B_n \exp\left(-\mu_n^2 \frac{a}{R^2} \tau\right) \right] \quad (19)$$

где коэффициент B_n определяется как:

$$B_n = \frac{6 Bi^2}{\mu_n^2 (\mu_n^2 + Bi^2 - Bi)} \quad (20)$$

Количество теплоты Q^* , Дж, отведенной при охлаждении от карамели за промежуток времени от $\tau = 0$ до $\tau = \tau^*$, составит:

$$Q^* = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho c (T_0 - \bar{T}^*) \quad (21)$$

где \bar{T}^* – среднеобъемная температура карамели к моменту времени $\tau = \tau^*$, находится интегрированием:

$$\begin{aligned} \bar{T}^* &= \frac{3}{R^3} \int_0^R r^2 T(r, \tau^*) dr = T_0 + \\ &+ (T_c - T_0) \left[1 - \sum_{n=1}^{\infty} B_n \exp\left(-\mu_n^2 \frac{a}{R^2} \tau^*\right) \right] \end{aligned} \quad (22)$$

где коэффициент B_n определяется по формуле (20).

Задача о нестационарной теплопроводности карамели в виде (7) должна быть дополнена расчетными соотношениями, характеризующими условия конвективного теплообмена между карамелью и этиловым спиртом.

Критерий Нуссельта Nu для шара в случае вынужденной конвекции в виде известной аппроксимации Ранда-Маршалла [13]:

$$Nu = 2 + 0,6Re_c^{0,5}Pr_c^{0,33} \quad (23)$$

где Re_c , Pr_c – критерии Рейнольдса и Прандтля, рассчитываемые для этилового спирта при его температуре T_c в ядре потока [14].

Критерий Рейнольдса Re_c характеризует интенсивность вынужденного движения спирта. Представляет собой отношение сил инерции (скоростного напора) к силам вязкого трения:

$$Re_c = \frac{\mathcal{G}_c \cdot d \cdot \rho_c}{\mu_c} \quad (24)$$

где \mathcal{G}_c – скорость движения этилового спирта, м/с; d – диаметр карамели, м; ρ_c – плотность спирта, кг/м³; μ_c – динамическая вязкость спирта, Па·с.

Критерий Прандтля Pr_c характеризует влияние физико-химических свойств этилового спирта на интенсивность теплообмена:

$$Pr_c = \frac{\mu_c c_c}{\lambda_c} \quad (25)$$

где c_c – удельная теплоемкость спирта, Дж/(кг·м³); λ_c – коэффициент теплопроводности спирта, Вт/(м·К).

Критерий Нуссельта Nu , характеризует подобие процессов теплопереноса на границе между карамелью и потоком этилового спирта:

$$Nu = \frac{\alpha_c \cdot d}{\lambda_c} \quad (26)$$

где α_c – коэффициент теплоотдачи от карамели к спирту, Вт/(м²·К).

Располагая значением критерия Нуссельта, вычисленным по (23), из формулы (26) можно определить значение коэффициента теплоотдачи α_c :

$$\alpha_c = \frac{Nu \cdot \lambda_c}{d} \quad (27)$$

Физико-химические и теплофизические характеристики пищевого этилового спирта и его водных растворов изучались многими исследователями. Теоретические и экспериментальные данные проанализированы и обобщены в соответствующих справочных изданиях. Среди справочников прошлого столетия, которые актуальны и в наши дни и доступных широкой научной общественности, следует отметить справочники Н. Б. Варгафтика, R. C. Reid, J. M. Prausnitz and T. K. Sherwood, S. Bretznajder, выдержавшие несколько переизданий. В данных справочных пособиях представлены теоретические и эмпирические данные о свойствах этилового спирта и его водных растворов при положительных температурах, в широком интервале изменения давления, а также на линии насыщения.

Практический интерес представляет справочник В. П. Стабникова [15]. В нем, помимо свойств этилового спирта и его растворов при положительных температурах, а также фазовых

равновесий в бинарных и многокомпонентных системах, приведены сведения о теплофизических свойствах этилового спирта при отрицательных температурах (до –100 °С). Это является важным при моделировании и расчетах параметров низкотемпературных процессов пищевых технологий.

В связи с совершенствованием инструментальных методов термического и калориметрического анализа, а также приборной техники для их реализации уточнены фазовые диаграммы, уравнения состояния и основные термодинамические свойства этилового спирта и его водных растворов в широких диапазонах параметров состояния [16–20].

Обработка экспериментальных данных по методике, изложенной в работе [21], позволила получить эмпирические зависимости основных теплофизических характеристик этилового спирта от его температуры T_c в интервале от –40 °С до 20 °С [15–20]:

– динамическая вязкость μ_c , Па·с:

$$\mu_c = -1,7 \cdot 10^{-7} T_c^3 - 4,0 \cdot 10^{-6} T_c^2 - 4,0 \cdot 10^{-5} T_c + 0,0018 \quad (28)$$

– удельная теплоемкость c_c , Дж/(кг·К):

$$c_c = 0,0011 T_c^3 - 0,0014 T_c^2 + 8,6493 T_c + 2311,4 \quad (29)$$

– плотность ρ_c , кг/м³:

$$\rho_c = -0,00048 T_c^3 - 0,0115 T_c^2 - 0,8548 T_c + 807,02 \quad (30)$$

– коэффициент теплопроводности λ_c , Вт/(м·К):

$$\lambda_c = -2,0 \cdot 10^{-8} T_c^3 - 1,0 \cdot 10^{-6} T_c^2 - 0,0003 T_c + 0,1749 \quad (31)$$

Максимальная относительная ошибка вычислений по уравнениям (28)–(31) не превышает 1,2 %.

Коэффициент температуропроводности карамели a , м²/с, входящий в уравнение (7), характеризует теплоинерционные свойства карамели:

$$a = \frac{\lambda}{c \rho} \quad (32)$$

где λ – коэффициент теплопроводности карамели, Вт/(м·К); c – удельная теплоемкость карамели, Дж/(кг·м³); ρ – плотность карамели, кг/м³.

В современной библиографии отсутствуют надежные данные о теплофизических характеристиках карамельных масс. В части опубликованных работ, доступных для ознакомления, приводятся значения теплофизических свойств полуфабрикатов и готовых изделий карамельного производства в виде интервальных оценок без указания физико-химического состава, рецептуры и параметров их приготовления [22, 23].

Более информативными являются справочные издания, где представлены экспериментальные данные о теплофизических характеристиках карамельных масс с массовой долей влаги 2,0 и 3,0–5,0 % в интервале температур от 20 до 80 °С [24, 25]. Большинство авторов в своих работах ссылаются именно на эти справочные издания.

Обработка экспериментальных данных, представленных в [24, 25] с привлечением

рекомендуемых значений из [22, 23], по методике, изложенной в работе [21], позволила получить эмпирические зависимости основных теплофизических характеристик карамельной массы с массовой долей влаги 2,0–5,0 % от температуры T в интервале от 20 °С до 120 °С:

– удельная теплоемкость c , Дж/(кг·К):

$$c = 1417,7 + 5,0854T \quad (33)$$

– плотность ρ , кг/м³:

$$\rho = 1601,3 - 1,1847T \quad (34)$$

– коэффициент теплопроводности λ Вт/(м·К):

$$\lambda = 0,3881 - 0,0021T \quad (35)$$

Максимальная относительная ошибка вычислений по уравнениям (33)–(35) не превышает 8,5 %.

С целью верификации математической модели охлаждения карамели в пищевом этиловом спирте и оценки влияния некоторых технологических параметров на динамику охлаждения карамели была проведена серия вычислительных экспериментов с использованием математического пакета Mathcad ver. 15.0 [26].

Исходные данные для вычислительного эксперимента: радиус карамели $R = 0,004$ м; начальная температура карамели $T_0 = 120$ °С; удельная теплоемкость, плотность, коэффициент теплопроводности и коэффициент температуропроводности карамели, рассчитанные при средней температуре карамели 75 °С по формулам (33)–(35) и (32), равны $c = 1799,105$ Дж/(кг·К), $\rho = 1512,447$ кг/м³, $\lambda = 0,231$ Вт/(м·К) и $a = 8,475 \times 10^{-8}$ м²/с.

Вычислительный эксперимент № 1 связан с верификацией математической модели и оценкой влияния температуры этилового спирта на динамику охлаждения карамели. Скорость движения спирта $g = 0,0001$ м/с, что близко к условиям теплообмена

при естественной конвекции. Вычисления проведены для температуры спирта $T_c = 10, 0$ и -10 °С. В таблице 2 представлены значения теплофизических характеристик этилового спирта при данных температурах, вычисленных по формулам (28)–(31). Расчет значений критериев Рейнольдса, Прандтля и Нуссельта, а также коэффициента теплоотдачи и критерия Био проведен по формулам (24)–(25), (23) и (11) (табл. 3).

Рассчитанные значения критерия Био (табл. 3) определяет набор собственных чисел m , которые являются корнями трансцендентного уравнения (14). Поиск первых двадцати корней уравнения (14) осуществлен по методу Ньютона [27].

Расчет динамики изменения среднеемкой температуры карамели при ее охлаждении в этиловом спирте проведен по формуле (19). На рисунке 4 представлены экспериментальные данные (в виде графических пиктограмм), полученные на экспериментальной установке (рис. 3). На рисунке 4 приведены результаты вычислительного эксперимента № 1 в виде соответствующих графических зависимостей.

Скорость охлаждения карамели изменяется в ходе процесса охлаждения. Это обусловлено механизмом конвективного теплообмена на границе «карамель-спирт», «карамель-воздух», при котором скорость пропорциональна разности температур между охлаждаемым телом и хладагентом. В этом случае осуществляется интенсивное охлаждение на начальном этапе, когда разница температур существенна. Охлаждение снижается по мере выравнивания температур.

Вычислительный эксперимент № 2 связан с верификацией математической модели и оценкой влияния скорости движения спирта на динамику охлаждения карамели. Температура этилового спирта

Таблица 2. Значения теплофизических характеристик этилового спирта

Table 2. Thermophysical profile of ethanol

Температура спирта T_c , °С	Динамическая вязкость m_c , Па·с	Удельная теплоемкость c_c , Дж/(кг·К)	Плотность ρ_c , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ_c , Вт/(м·К)
10	$8,3 \times 10^{-4}$	2399	796,842	0,172
0	$1,8 \times 10^{-3}$	2311	807,02	0,175
-10	$1,97 \times 10^{-3}$	2224	814,898	0,178

Таблица 3. Значения критериев подобия в зависимости от температуры спирта

Table 3. Values of similarity criteria depending on the temperature of ethanol

Температура спирта T_c , °С	Критерий Рейнольдса Re_c	Критерий Прандтля Pr_c	Критерий Нуссельта Nu	Коэффициент теплоотдачи a_c , Вт/(м ² ·К)	Критерий Био Bi
10	0,768	11,591	2,802	60,162	1,043
0	0,359	23,788	2,726	59,595	1,034
-10	0,331	24,635	2,702	60,064	1,042

Таблица 4. Значения критериев подобия в зависимости от скорости движения спирта

Table 4. Values of similarity criteria depending on the flow rate of ethanol

Скорость движения спирта g_c , м/с	Критерий Рейнольдса Re_c	Критерий Прандтля Pr_c	Критерий Нуссельта Nu	Коэффициент теплоотдачи a_c , Вт/(м ² ·К)	Критерий Био Bi
0,0001	0,359	23,788	2,726	59,595	1,034
0,001	3,587	23,788	5,242	114,614	1,988
0,01	35,868	23,788	16,484	360,374	6,251

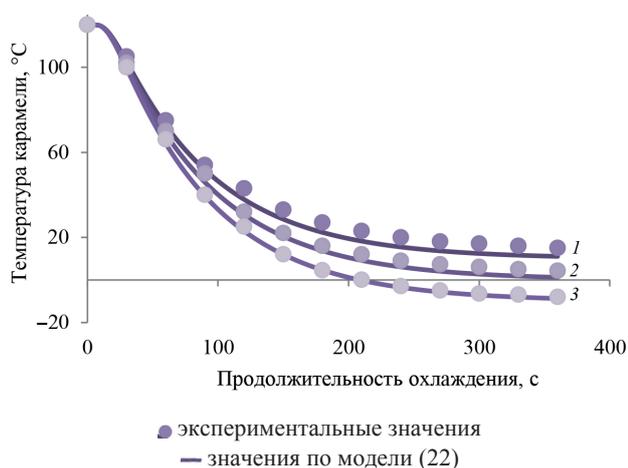


Рисунок 4. Динамика изменения среднеобъемной температуры карамели при постоянной температуре пищевого этилового спирта, °С: 1 – 10; 2 – 0; 3 – –10

Figure 4. Changes in the average volume temperature of caramel at a constant temperature of ethanol: 1 – 10°C; 2 – 0°C; 3 – –10°C

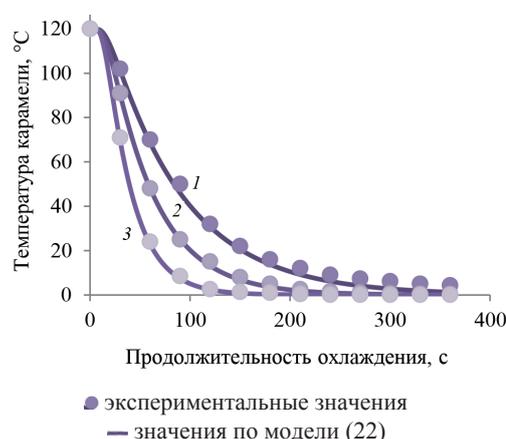


Рисунок 5. Динамика изменения среднеобъемной температуры карамели при постоянной скорости потока пищевого этилового спирта, м/с: 1 – 0,0001; 2 – 0,001; 3 – 0,01

Figure 5. Changes in the average volumetric temperature of caramel at a constant flow rate of ethanol, m/s: 1 – 0.0001; 2 – 0.001; 3 – 0.01

$T_c = 0$ °С. Теплофизические характеристики спирта, рассчитанные по формулам (28)–(31) при температуре $T_c = 0$ °С, составили: удельная теплоемкость $c_c = 2311,4$ Дж/(кг·К), плотность $\rho_c = 807,02$ кг/м³, коэффициент теплопроводности $\lambda_c = 0,175$ Вт/(м·К) и динамическая вязкость $\mu_c = 1,8 \times 10^{-3}$ Па·с. Вычисления проведены для скорости движения спирта $g_c = 0,0001, 0,001$ и $0,01$ м/с. Расчет значений критериев Рейнольдса, Прандтля и Нуссельта, а также коэффициента теплоотдачи и критерия Био проведен по формулам (24)–(25), (23) и (11) (табл. 4).

Первые двадцать корней уравнения (14) рассчитаны также методом Ньютона [27]. Изменение среднеобъемной температуры карамели во времени при ее охлаждении в этиловом спирте вычислено по формуле (19). На рисунке 5 представлены экспериментальные данные (в виде графических пиктограмм), полученные на экспериментальной установке (рис. 3). На рисунке 5 приведены результаты вычислительного эксперимента № 2 в виде соответствующих графических зависимостей.

Сопоставление расчетных и экспериментальных данных (рис. 5) показывает удовлетворительное совпадение результатов вычислительных экспериментов с изменением среднеобъемной температуры карамели в форме шара при ее охлаждении в

этиловом спирте с максимальной относительной погрешностью не более 15,5 %.

Выводы

С точки зрения технологии способ охлаждения карамели в «холодном» пищевом этиловом спирте является инновационным, перспективным и эффективным. Это позволяет получить карамель с антисептическими свойствами, идеально гладкой, блестящей и сухой поверхностью, которая при упаковке и хранении не намокает, не засахаривается, не слеживается и не прилипает к упаковочному материалу. Упростить и интенсифицировать технологический процесс, сократить производственные площади за счет исключения отдельных технологических стадий и сложных единиц металлоемкого и энергоемкого оборудования при охлаждении карамели на узком охлаждающем транспортере и в охлаждающем шкафу типа АОК. При этом данное оборудование заменяется компактной, простой в эксплуатации, энергосберегающей и высокопроизводительной охлаждающей камерой с «холодным» пищевым этиловым спиртом, что позволит повысить производительность карамели и снизить ее себестоимость.

Разработанная математическая модель позволяет оценить радиальное распределение температуры карамели в форме шара при ее конвективном охлаждении в этиловом спирте, а также прогнозировать изменение среднеобъемной температуры карамели и энергетических затрат в зависимости от продолжительности охлаждения, скорости движения потока этилового спирта, теплофизических свойств карамели и охлаждающего агента. Это дает возможность рассчитать оптимальный технологический режим охлаждения, а также определить статические и динамические характеристики процесса охлаждения, необходимые для синтеза автоматизированной системы управления.

Предложенные математические соотношения могут быть использованы для расчета потребного расхода этилового спирта для охлаждения, а также расчета и подбора оборудования поточной линии производства карамели.

Критерии авторства

А. А. Хвостов – предложил методику проведения эксперимента, обработал экспериментальные данные, выполнил расчеты, корректировал рукопись до подачи в редакцию. Г. О. Магомедов – разработал концепцию исследований, руководил и контролировал проведение научного эксперимента, консультировал в ходе эксперимента. В. И. Ряжских – обработал экспериментальные данные, выполнил расчеты, консультировал в ходе эксперимента. И. В. Плотникова – обзор литературных источников по исследуемой проблеме, проведен эксперимент, корректировала рукопись до подачи в редакцию. А. А. Журавлев – обзор литературных источников по исследуемой проблеме, обработал экспериментальные данные, выполнил расчеты, корректировал рукопись ее до подачи в редакцию. М. Г. Магомедов – провел эксперимент, обработал экспериментальные данные, организовал производственные испытания.

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность

Авторы выражают благодарность д-р техн. наук, профессору И. А. Хаустову (заведующий кафедрой информационных и управляющих систем ФГБОУ ВО ВГУИТ) за помощь при автоматизации экспериментальной установки для охлаждения карамели в «холодном» пищевом этиловом спирте.

Contribution

A.A. Khvostov developed the methodology, processed the experimental data, performed calculations, and proof-read the manuscript. G.O. Magomedov developed the research concept, supervised the experiment, and provided consultations. V.I. Ryazhskih processed the experimental data, performed calculations, and provided consultations. I.V. Plotnikova reviewed literary sources and proof-read the manuscript. A.A. Zhuravlev reviewed literary sources, processed experimental data, performed calculations, and proof-read the manuscript. M.G. Magomedov performed the experiment, processed experimental data, and organized production tests.

All authors were equally involved in writing the manuscript and bear equal responsibility for any possible plagiarism.

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 express their sincere gratitude to Professor I.A. Khaustov, Dr.Sci.(Eng.), Head of the Department of Information and Control Systems of Voronezh State University of Engineering Technologies, for his assistance in automating the experimental installation for cooling caramel in “cold” potable ethanol.

Список литературы

1. Дейнека, И. Г. Автоматизированная линия производства карамели с переслойными начинками / И. Г. Дейнека, Т. Л. Риполь-Сарагоси, Г. Б. Бушкова // Наукові 14 праці НУХТ. – 2015. – Т. 21, № 1. – С. 7–14.
2. Минифай, Б. У. Шоколад, конфеты, карамель и другие кондитерские изделия / Б. У. Минифай. – СПб. : Профессия, 2008. – 816 с.
3. Носенко, С. М. Оборудование кондитерского производства XXI века / С. М. Носенко, С. В. Чувахин. – М. : ДеЛи плюс, 2017. – 332 с.
4. Hartel, R. W. Confectionery science and technology / R. W. Hartel, J. H. von Elbe, R. Hofberger. – Cham : Springer, 2018. – 536 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61742-8>.
5. Драгилев, А. И. Основы кондитерского производства / А. И. Драгилев, Г. А. Маршалкин. – СПб. : Лань, 2017. – 532 с.
6. Jeffery, M. S. The technology of caramel and fudge / M. S. Jeffery. – European Federation of Food Science and Technology, 2001. – 110–113 p.

7. Physical and chemical properties of caramel systems / M.-S. Chung, R. R. Ruan, P. L. Chen [et al.] // *LWT – Food Science and Technology*. – 1999. – Vol. 32, № 3. – P. 162–166. DOI: <https://doi.org/10.1006/fstl.1998.0521>.
8. Kasapis, S. Separation of the variables of time and temperature in the mechanical properties of high sugar/polysaccharide mixtures / S. Kasapis, G. Sworn // *Biopolymers*. – 2000. – Vol. 53, № 1. – P. 40–45. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0282\(200001\)53:1<40::AID-BIP4>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0282(200001)53:1<40::AID-BIP4>3.0.CO;2-N).
9. Технология карамели / Г. О. Магомедов, А. Я. Олейникова, И. В. Плотнокова [и др.]. – СПб. : ГИОРД, 2008. – 216 с.
10. Апполонский, С. М. Дифференциальные уравнения математической физике в электротехнике / С. М. Апполонский. – СПб. : Питер, 2012. – 352 с.
11. Rathore, M. M. *Engineering heat transfer* / M. M. Rathore, R. R. Kapuno. – Jones and Bartlett, 2011. – 1178 p.
12. Карташов, Э. М. Аналитические методы теории теплопроводности и ее приложений / Э. М. Карташов, В. А. Кудинов. – М. : ЛЕНАНД, 2018. – 1080 с.
13. Simakov, N. N. Calculation of the drag and heat transfer from a sphere in the gas flow in a cylindrical channel / N. N. Simakov // *Technical Physics*. – 2016. – Vol. 61, № 9. – P. 1312–1318. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063784216090231>.
14. Процессы и аппараты. Расчет и проектирование аппаратов для тепловых и теплообменных процессов / А. Н. Остриков, В. Н. Василенко, Л. Н. Фролова [и др.]. – СПб. : Лань, 2018. – 440 с.
15. Стабников, В. Н. Этиловый спирт / В. Н. Стабников, И. М. Ройтер, Т. Б. Процюк. – М. : Пищевая промышленность, 1976. – 272 с.
16. Safarov, D. T. Investigation of the thermophysical properties of ethyl alcohol + water solutions / D. T. Safarov, A. N. Shakhverdiev // *High Temperature*. – 2001. – Vol. 39, № 3. – P. 395–400. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1017506524963>.
17. Specific heat capacity at constant pressure of ethanol by flow calorimetry / T. Miyazawa, S. Kondo, T. Suzuki [et al.] // *Journal of Chemical and Engineering Data*. – 2012. – Vol. 57, № 6. – P. 1700–1707. DOI: <https://doi.org/10.1021/je2013473>.
18. Ahmadi, P. Density, speed of sound, and other derived properties of ethanol at pressures up to 65 MPa / P. Ahmadi, B. N. Karim Nobakht, A. Chapoy // *Journal of Chemical and Engineering Data*. – 2018. – Vol. 63, № 7. – P. 2486–2499. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jced.7b01018>.
19. Schroeder, J. A. A fundamental equation of state for ethanol / J. A. Schroeder, S. G. Penoncello, J. S. Schroeder // *Journal of Physical and Chemical Reference Data*. – 2014. – Vol. 43, № 4. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4895394>.
20. Dillon, H. E. A fundamental equation for calculation of the thermodynamic properties of ethanol / H. E. Dillon, S. G. Penoncello // *International Journal of Thermophysics*. – 2004. – Vol. 25, № 2. – P. 321–335. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:IJOT.0000028470.49774.14>.
21. Недошивин, С. В. Нелинейный регрессионный анализ в статистическом машинном эксперименте / С. В. Недошивин // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – 2014. – № 10–1. – С. 68–81.
22. Калошин, Ю. А. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции / Ю. А. Калошин, Ю. М. Березовский, Л. В. Верняева. – М. : ДеЛи принт, 2011. – 175 с.
23. Драгилев, А. И. Сборник задач по расчету технологического оборудования кондитерского производства / А. И. Драгилев, М. Д. Руб. – М. : ДеЛи принт, 2005. – 243 с.
24. Чубик, И. А. Справочник по теплофизическим характеристикам пищевых продуктов и полуфабрикатов / И. А. Чубик, А. М. Маслов. – М. : Пищевая промышленность, 1970. – 184 с.
25. Справочник по сырью, полуфабрикатам и готовым изделиям кондитерского производства / М. Я. Антокольская, И. И. Бронштейн, М. И. Мартынов [и др.]. – М. : Пищевая промышленность, 1964. – 231 с.
26. Макаров, Е. Г. Инженерные расчеты в Mathcad 15 / Е. Г. Макаров. – СПб. : Питер, 2011. – 400 с.
27. Linge, S. Solving nonlinear algebraic equations / S. Linge, H. P. Langtangen // *Programming for computations – MATLAB/Octave* / S. Linge, H. P. Langtangen. – Cham : Springer, 2016. – P. 177–201. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-32452-4_6.

References

1. Dejneka IG, Ripol-Saragosi TL, Bushkova GB. Automated production line of caramel with interbedded fillings. *Scientific Works of NUFT*. 2015;21(1):7–14. (In Russ.).
2. Minifie B. *Chocolate, cocoa and confectionery: science and technology*. St. Petersburg: Professija; 2008. 816 p. (In Russ.).
3. Nosenko SM, Chuvakhin SV. *Oborudovanie konditerskogo proizvodstva XXI veka [Equipment for confectionery production of the XXI century]*. Moscow: DeLi plyus; 2017. 332 p. (In Russ.).
4. Hartel RW, von Elbe JH, Hofberger R. *Confectionery science and technology*. Cham: Springer; 2018. 536 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61742-8>.
5. Dragilev AI, Marshalkin GA. *Osnovy konditerskogo proizvodstva [Confectionery basics]*. St. Petersburg: Lan; 2017. 532 p. (In Russ.).
6. Jeffery MS. The technology of caramel and fudge. *European Federation of Food Science and Technology*; 2001. 110–113 p.

7. Chung M-S, Ruan RR, Chen PL, Wang X. Physical and chemical properties of caramel systems. *LWT – Food Science and Technology*. 1999;32(3):162–166. DOI: <https://doi.org/10.1006/fstl.1998.0521>.
8. Kasapis S, Sworn G. Separation of the variables of time and temperature in the mechanical properties of high sugar-polysaccharide mixtures. *Biopolymers*. 2000;53(1):40–45. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0282\(200001\)53:1<40::AID-BIP4>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0282(200001)53:1<40::AID-BIP4>3.0.CO;2-N).
9. Magomedov GO, Oleynikova AY, Plotnikova IV, Brekhov AF. *Tekhnologiya karameli [Caramel technology]*. St. Petersburg: GIOR; 2008. 216 p. (In Russ.).
10. Appolonskiy SM. *Differentsial'nye uravneniya matematicheskoy fizike v ehlektrotekhnike [Differential equations of mathematical physics in electrical engineering]*. St. Petersburg: Piter; 2012. 352 p. (In Russ.).
11. Rathore MM, Kapuno RR. *Engineering heat transfer*. Jones and Bartlett; 2011. 1178 p.
12. Kartashov EhM, Kudinov VA. *Analiticheskie metody teorii teploprovodnosti i ee prilozheniy [Analytical methods of the theory of heat conduction and its applications]*. Moscow: LENAND; 2018. 1080 p. (In Russ.).
13. Simakov NN. Calculation of the drag and heat transfer from a sphere in the gas flow in a cylindrical channel. *Technical Physics*. 2016;61(9):1312–1318. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1063784216090231>.
14. Ostrikov AN, Vasilenko VN, Frolova LN, Terekhina AV. *Protsessy i apparaty. Raschet i proektirovanie apparatov dlya teplovykh i teplomassoobmennyykh protsessov [Processes and equipment. Calculation and design of equipment for thermal and heat-and-mass transfer processes]*. St. Petersburg: Lan; 2018. 440 p. (In Russ.).
15. Stabnikov VN, Royter IM, Protsyuk TB. *Ehtilovyy spirt [Ethanol]*. Moscow: Pishchevaya promyshlennost; 1976. 272 p. (In Russ.).
16. Safarov DT, Shakhverdiev AN. Investigation of the thermophysical properties of ethyl alcohol + water solutions. *High Temperature*. 2001;39(3):395–400. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1017506524963>.
17. Miyazawa T, Kondo S, Suzuki T, Sato H. Specific heat capacity at constant pressure of ethanol by flow calorimetry. *Journal of Chemical and Engineering Data*. 2012;57(6):1700–1707. DOI: <https://doi.org/10.1021/je2013473>.
18. Ahmadi P, Karim Nobakht BN, Chapoy A. Density, speed of sound, and other derived properties of ethanol at pressures up to 65 MPa. *Journal of Chemical and Engineering Data*. 2018;63(7):2486–2499. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jced.7b01018>.
19. Schroeder JA, Penoncello SG, Schroeder JS. A fundamental equation of state for ethanol. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*. 2014;43(4). DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4895394>.
20. Dillon HE, Penoncello SG. A fundamental equation for calculation of the thermodynamic properties of ethanol. *International Journal of Thermophysics*. 2004;25(2):321–335. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:IJOT.0000028470.49774.14>.
21. Nedoshivin SV. The nonlinear regression analysis in statistical machine experiment. *Izvestiya Tula State University. Technical sciences*. 2014;(10–1):68–81. (In Russ.).
22. Kaloshin YuA, Berezovskiy YuM, Vernyaeva LV. *Fiziko-mekhanicheskie svoystva syr'ya i gotovoy produktsii [Physical and mechanical properties of raw materials and finished products]*. Moscow: DeLi print; 2011. 175 p. (In Russ.).
23. Dragilev AI, Rub MD. *Sbornik zadach po raschetu tekhnologicheskogo oborudovaniya konditerskogo proizvodstva [Tasks for calculating the parameters of technological equipment for confectionery production]*. Moscow: DeLi print; 2005. 243 p. (In Russ.).
24. Chubik IA, Maslov AM. *Spravochnik po teplofizicheskim kharakteristikam pishchevykh produktov i polufabrikatov [Handbook of thermophysical characteristics of food and semi-finished products]*. Moscow: Pishchevaya promyshlennost; 1970. 184 p. (In Russ.).
25. Antokol'skaya MYa, Bronshteyn II, Martynov MI, Smirnov AF, Shklovskaya AE. *Spravochnik po syr'yu, polufabrikatam i gotovym izdeliyam konditerskogo proizvodstva [Reference book on raw materials, semi-finished products, and finished products of confectionery production]*. Moscow: Pishchevaya promyshlennost; 1964. 231 p. (In Russ.).
26. Makarov EG. *Inzhenernye raschety v Mathcad 15 [Engineering Calculations in Mathcad 15]*. St. Petersburg: Piter; 2011. 400 p. (In Russ.).
27. Linge S, Langtangen HP. Solving nonlinear algebraic equations. In: Linge S, Langtangen HP, editors. *Programming for computations – MATLAB/Octave*. Cham: Springer; 2016. pp. 177–201. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-32452-4_6.

Сведения об авторах

Хвостов Анатолий Анатольевич

д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры математики, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», 394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, тел.: +7 (906) 581-62-68, e-mail: Khvtol1974@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3836-9407>

Information about the authors

Anatoly A. Khvostov

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Professor of the Department of Mathematics, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, 54A, Starykh Bol'shevikov Str., Voronezh, 394064, Russia, phone: +7 (906) 581-62-68, e-mail: Khvtol1974@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3836-9407>

Магомедов Газибег Омарович

д-р техн. наук, профессор, профессор, заведующий кафедрой технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», 394036, Россия, г. Воронеж, пр. Революции, 19, тел.: +7 (967) 142-06-65, e-mail: gazibeck.magomedov@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-7201-8387>

Рязских Виктор Иванович

д-р техн. наук, профессор, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики и механики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 394026, Россия, г. Воронеж, пр. Московский, 14, тел.: +7 (951) 556-37-67, e-mail: ryazhskih_vi@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-2834-3000>

Плотникова Инесса Викторовна

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных техно-логий», 394036, Россия, г. Воронеж, пр. Революции, 19, тел.: +7 (980) 343-50-45, e-mail: plotnikova_2506@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5959-6652>

Журавлев Алексей Александрович

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры математики, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», 394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, тел.: +7 (908) 148-30-78, e-mail: zhuraa1@rambler.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-2194-767X>

Магомедов Магомед Гасанович

д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», 394036, Россия, г. Воронеж, пр. Революции, 19, тел.: +7 (920) 408-05-05, e-mail: mmg@inbox.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2494-4973>

Gazibeg O. Magomedov

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Professor, Head of the Department of Technology of Bakery, Confectionery, Macaroni and Grain Processing Production, Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolutsii Ave., Voronezh, 394036, Russia, phone: +7 (967) 142-06-65, e-mail: gazibeck.magomedov@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-7201-8387>

Victor I. Ryazhskih

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Professor, Head of the Department of Applied Mathematics and Mechanics, Voronezh State Technical University, 14, Moskovskiy Ave., Voronezh, 394026, Russia, phone: +7 (951) 556-37-67, e-mail: ryazhskih_vi@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-2834-3000>

Inessa V. Plotnikova

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology of Bakery, Confectionery, Macaroni and Grain Processing Production, Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolutsii Ave., Voronezh, 394036, Russia, phone: +7 (980) 343-50-45, e-mail: plotnikova_2506@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5959-6652>

Aleksey A. Zhuravlev

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mathematics, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, 54A, Starykh Bol'shevikov Str., Voronezh, 394064, Russia, phone: +7 (908) 148-30-78, e-mail: zhuraa1@rambler.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-2194-767X>

Magomed G. Magomedov

Dr.Sci.(Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Technology of Bakery, Confectionery, Macaroni and Grain Processing Production, Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolutsii Ave., Voronezh, 394036, Russia, phone: +7 (920) 408-05-05, e-mail: mmg@inbox.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2494-4973>

Шоковая заморозка булочных изделий с использованием нетрадиционного растительного сырья на предприятиях общественного питания

Е. В. Рощина¹, Р. З. Григорьева^{2,*}, С. Ю. Баранец²,
Н. И. Давыденко², М. С. Куракин²



¹ УО «Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации»,
246029, Республика Беларусь, г. Гомель, пр. Октября, 50

² ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

Дата поступления в редакцию: 12.05.2020

Дата принятия в печать: 24.07.2020

*e-mail: roza-grigoreva@yandex.ru



© Е. В. Рощина, Р. З. Григорьева, С. Ю. Баранец, Н. И. Давыденко, М. С. Куракин, 2020

Аннотация.

Введение. Шоковая заморозка широко используется на предприятиях пищевой промышленности. Однако на предприятиях общественного питания, которые самостоятельно производят хлеб и хлебобулочные изделия, она пока не распространена. Переход предприятий общественного питания на технологию шоковой заморозки поможет расширить ассортимент булочных изделий, разнообразить хлебную корзину и увеличить рентабельность. Цель работы – установить параметры шоковой заморозки хлебобулочных изделий, производимых в условиях предприятий общественного питания, в том числе с применением нетрадиционного растительного сырья.

Объекты и методы исследования. Образцы выпеченных изделий из дрожжевого теста, приготовленные различными способами, в том числе с использованием технологии шоковой заморозки. Качество сырья и готовых изделий оценивали по совокупности органолептических и физико-химических показателей стандартными методами.

Результаты и их обсуждение. Разработаны рецептуры изделий из дрожжевого теста с добавками свекольного и клюквенного пюре, режимы и параметры шоковой заморозки и последующей выпечки булочных изделий в условиях предприятий общественного питания. Установлено, что дозировками свекольного и клюквенного пюре, обеспечивающими наилучшие показатели качества готовых изделий, являются 10 % свекольного и 5 % клюквенного пюре к массе муки. Изучено влияние продолжительности выпечки на качество замороженных булочных изделий, а также определено время, необходимое для замораживания изделий и последующего допекания.

Выводы. По совокупности показателей качества установлены режимы и параметры шоковой заморозки булочных изделий на сетевых предприятиях общественного питания. Для заморозки изделий массой 50 г после 10 мин выпечки в конвекционной печи при температуре 180 °С, продолжительность замораживания составила 50 ± 2 мин при температуре –40 °С, продолжительность допекания булочных изделий – 10 мин при температуре 180 °С.

Ключевые слова. Питание, хлебобулочные изделия, шоковая заморозка, клюквенное пюре, свекольное пюре, ассортимент

Для цитирования: Шоковая заморозка булочных изделий с использованием нетрадиционного растительного сырья на предприятиях общественного питания / Е. В. Рощина, Р. З. Григорьева, С. Ю. Баранец [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 439–449. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-439-449>.

Original article

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

Shock Freezing of Bakery Products using Non-Traditional Raw Materials at Public Catering Establishments

Alena V. Roshchyna¹, Rosa Z. Grigorieva^{1,*}, Svetlana Yu. Baranets²,
Natalia I. Davydenko², Mikhail S. Kurakin²

¹ Belarusian Trade and Economics University
of Consumer Cooperatives,
50, October Ave., Gomel, 246029, Republic of Belarus

² Kemerovo State University,
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia

Received: May 12, 2020

Accepted: July 24, 2020

*e-mail: roza-grigoreva@yandex.ru



© A.V. Roshchyna, R.Z. Grigorieva, S.Yu. Baranets, N.I. Davydenko, M.S. Kurakin, 2020

Abstract.

Introduction. Shock freezing is widely used in food industry. However, it is not popular with public catering enterprises that produce

their own bread and bakery products. Many businesses prefer to use ready-made frozen semi-finished products, rather than to bake them on their own. However, the range of such semi-finished products is not sufficiently diverse: as a rule, it includes “basic” popular products. The authors believe that bread can be an advantageous image product for any public catering company. Fresh bread makes the company more competitive. Shock freezing technology can help public catering enterprises to expand their range of bakery products, diversify the bread menu, and increase profitability. The research objective was to establish shock-freezing modes for bakery products produced in the conditions of a public catering enterprise, including using non-traditional raw materials, e.g. cranberry and beet puree.

Study objects and methods. The research featured samples of baked products from yeast dough prepared in various ways, including shock-freezing technology. The quality of the raw materials and finished products was assessed by a combination of organoleptic and physicochemical indicators using standard methods.

Results and discussion. The article introduces new scientific-based formulations of yeast dough products with beetroot and cranberry puree, modes and parameters of shock freezing and baking of bakery products in the conditions of a public catering enterprise. The doses of beet and cranberry puree that provide the best quality indicators of finished products were 10% of beet and 5% of cranberry puree per unit of flour. The authors studied the effect of baking time on the quality of frozen bakery products, as well as the freezing time and the cooking time after refreezing.

Conclusion. The research established the quality indicators, modes, and parameters of shock freezing of bakery products at chain catering enterprises. The optimal freezing time for 50 g products after 10 min of baking in a convection oven at 180°C proved 50 ± 2 min at –40°C; the baking time after refreezing was 10 min at 180°C.

Keywords. Food, bakery products, shock freezing, cranberry puree, beet puree, assortment

For citation: Roshchyna AV, Grigorieva RZ, Baranets SYu, Davydenko NI, Kurakin MS. Shock Freezing of Bakery Products using Non-Traditional Raw Materials at Public Catering Establishments. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3): 439–449. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-439-449>.

Введение

За последние несколько лет значительно возрос спрос на изделия, приготовленные по технологии шоковой заморозки [1, 2]. Специалисты считают, что явного отличия между изделиями, приготовленными по традиционной технологии, и изделиями из замороженных полуфабрикатов не наблюдается. Как правило, при заморозке изделий используются натуральные ингредиенты без специальных добавок и улучшителей. Некоторые авторы отмечают, что при соблюдении технологии производства булочных изделий из замороженных заготовок, изделия получаются более хрустящими по сравнению с хлебом, произведенным традиционным способом [3].

Шоковая заморозка на протяжении последнего десятилетия широко используется на промышленных предприятиях [4–7]. Но на предприятиях общественного питания, которые самостоятельно производят хлеб и хлебобулочные изделия, она широкого распространения не нашла. Многие предприятия пользуются готовыми замороженными полуфабрикатами, а не производят их своими силами. Однако ассортимент таких полуфабрикатов недостаточно разнообразен: в основном представлены «базовые» и наиболее популярные изделия. При этом хлеб на предприятии питания может являться имиджевым продуктом. Поэтому ему должно уделяться особое внимание. По мнению специалистов, переход на технологию быстрой заморозки поможет увеличить рентабельность предприятий, расширить ассортимент и разнообразить хлебную корзину [1, 8–10].

Для предприятий общественного питания важно не зависеть от промышленного производства хлеба и хлебобулочных изделий и всегда иметь в наличии свежую выпечку. Однако процесс производства

очень сложный и длительный по времени, поэтому заморозка изделий является оптимальным решением данной задачи. Также, благодаря заморозке, можно контролировать объем выпускаемой продукции в соответствии со спросом потребителей.

Существует три способа осуществления технологии шоковой заморозки.

Первый способ предусматривает заморозку тестовых заготовок и включает в себя ряд следующих операций: замес и брожение теста, деление на куски, формование (данные этапы аналогичны традиционной технологии), предварительная расстойка и заморозка тестовых заготовок. После тестовые заготовки размораживают, подвергают окончательной расстойке и выпекают.

Второй способ подразумевает собой заморозку частично выпеченных изделий. После формования тестовые заготовки подвергают окончательной расстойке и выпекают до готовности на 50–90 %. Затем частично выпеченные изделия подвергаются глубокой заморозке и хранят в морозильных камерах при температуре –18 °С. Для приготовления хлеба и булочек замороженные изделия размораживают и допекают до готовности.

Третий способ основан на заморозке уже готовых изделий, которые в дальнейшем подвергаются кратковременной тепловой обработке [1, 11].

Процесс заморозки – это превращение молекул воды, содержащейся в продукте, в кристаллы. При шоковой заморозке происходит воздействие на продукт температурой в –40 °С. Это позволяет достичь температуры –18 °С в толще продукта за довольно короткий период времени: максимальное время, которое необходимо для осуществления данной технологии, составляет 240 мин. При заморозке все молекулы воды превращаются в

кристаллы льда и чем быстрее процесс, тем меньшего размера получаются кристаллы. Таким образом, только при микрокристаллизации клетки продукта не повреждаются. После размораживания потеря жидкости будет меньше, а также не изменится консистенция и вкус продукта.

Еще одним преимуществом шоковой заморозки является то, что в любом продукте, оставленном для медленного остывания при температуре от +65 до +10 °С, происходит быстрое размножение микрофлоры, а при быстром понижении температуры бактерии не успевают развиться, что значительно увеличивает срок хранения. Введение в процесс производства технологии шоковой заморозки – это эффективный метод, благодаря которому можно проводить технологический процесс на малых площадях [8]. Поэтому данная технология активно используется предприятиями общественного питания при производстве полуфабрикатов, преимущественно овощных и мясных. В производстве хлебобулочных изделий данная технология на предприятиях общественного питания применяется не так часто.

Хлебная корзина – это постоянный ассортимент хлебов, предлагаемых ресторанами, который состоит из 3–5 позиций. Рестораторы считают, что качество хлебной корзины определяет уровень заведения. Свежий хлеб, выпеченный на месте, не только хороший маркетинговый ход, но и козырь, позволяющий предприятию выделиться в условиях повышенной конкуренции. Поэтому использование замороженных полуфабрикатов – перспективное направление в деятельности предприятий общественного питания, позволяющее создать уникальную хлебную корзину, в том числе путем применения нетрадиционного сырья. При этом нетрадиционное сырье может выступать не только как вкусо- и ароматообразующий ингредиент, но и как носитель функциональных свойств, повышающих пищевую ценность хлебобулочных изделий.

Для придания хлебобулочным изделиям функциональных свойств применяются сырье различного происхождения, в том числе моно- и комплексные добавки дефицитных в питании человека незаменимых микронутриентов [12]. Однако такие технологии трудноприменимы в условиях небольших предприятий общественного питания и нацелены на масштабный выпуск продукции. Анализ различных информационных источников позволил в качестве наиболее перспективной для общественного питания определить тенденцию использования плодово-ягодного сырья. Оно способствует как повышению уровня технологического потенциала ингредиентов рецептуры, так и увеличению пищевой и биологической ценности хлебобулочных изделий [2, 13–16]. При этом преимущественно рассматривается внесение плодово-ягодного и овощного сырья в виде сухих порошков [17–19].

В литературе имеются сведения о том, что замораживание полуфабрикатов хлебопекарного производства необходимо вести с добавлением различных криопротекторов [20]. К таким веществам относится пектин, содержащийся, например, в свекле и клюкве. Пектин, фиксируя воду в связанном состоянии, оптимизирует соотношение свободной и связанной воды в тесте. При этом повышается водопоглощательная способность муки, что объясняется образованием белково-полисахаридных комплексов. При замораживании таких изделий образуются более мелкие кристаллы льда, которые не разрушают структуру клейковины и позволяют получить булочные изделия высокого качества. Имеются данные, что чем больше количество сдобы в изделии, тем лучше оно переносит процесс замораживания [21].

В продукции, выпускаемой предприятиями общественного питания, значительный вес занимают изделия и блюда из теста, которые, благодаря высоким вкусовым свойствам, популярны у населения. Особое место среди них отводится полуфабрикатам и изделиям из дрожжевого теста. Потребительские свойства изделий из дрожжевого теста зависят от многих факторов: качество сырья, правильность его использования, технологии производства и так далее. Хлебобулочные изделия из дрожжевого теста обладают высокими вкусовыми свойствами, но процесс их производства очень сложный и длительный по времени. При их производстве существует ряд задач, от решения которых зависит обеспечение конкурентоспособности выпускаемой продукции на рынке.

Растительное сырье является богатым источником целого ряда необходимых организму пищевых веществ, поступление которых не может быть обеспечено только за счет животного сырья. Это пектиновые вещества, клетчатка, аминокислоты, витамины и минеральные вещества [24].

Современная наука о питании рассматривает овощи, плоды и ягоды как жизненно необходимые продукты. Овощи – естественный и главный поставщик разнообразных витаминов, минеральных солей, органических кислот, пектиновых веществ, пищевых волокон, а также белков, жиров и углеводов. Плоды и ягоды характеризуются сбалансированным по витаминному, минеральному и антиоксидантному составу комплексом полезных веществ. Ежедневное присутствие в рационе питания растительных продуктов позволяет получать необходимые для организма питательные компоненты. В связи с этим целесообразно вносить растительные добавки в хлебобулочные изделия.

В качестве растительных добавок были выбраны свекла и клюква. Они относятся к доступным на территории Сибири продуктам.

Профилактические свойства свеклы обусловлены содержащимися в ней особыми веществами –

антоцианами. Они не усваиваются организмом, но обладают антисептическими свойствами. От других овощей свекла отличается наибольшим содержанием солей марганца, которые необходимы для нормального обмена веществ и для роста молодого организма. Она обладает противцинготным, противовоспалительным и обезболивающим действиями. Свекла содержит витамины В, Р, РР, С, микро- и макроэлементы (железо, медь, кобальт, калий), фолиевую и пантотеновую кислоты. Бетаин, входящий в состав свеклы, относится к естественным красителям и придает ей красный цвет. Он играет огромную роль в обмене веществ и практически отсутствует в остальных овощах [24].

В состав свеклы входят кислоты, которые оказывают раздражающее действие на стенки желудка. В процессе термической обработки происходит их разрушение. То же самое происходит и с небольшой частью витаминов. При этом основные полезные вещества (бетаин, клетчатка и пектин) сохраняются в свекле даже после продолжительного процесса варки [24].

Столовая свекла сортов «Несравненная», «Подзимняя» и «Бордо» считаются лучшими по показателям окрашенности, а также для потребления в натуральном виде. В них содержится 141, 124 и 118 мг% бетанина соответственно.

Содержание органических кислот, пектиновых веществ и витаминов в плодах клюквы представляет интерес с практической точки зрения [25]. Преобладающими органическими кислотами клюквы являются лимонная и яблочная. Клюква имеет в своем составе бензойную кислоту, которая обладает антисептическим действием. Пектиновые вещества, входящие в состав клюквы, способствуют выведению из организма токсичных металлов и радионуклидов, подавляют развитие гнилостных бактерий.

Клюква богата витаминами. Одновременное присутствие витаминов С и Р обеспечивает условия благоприятного проявления в организме биологического действия этих веществ. Биохимическую характеристику клюквы дополняет разнообразный минеральный состав: калий, натрий, магний, кальций, а также йод, барий, бор и др.

Таким образом, растительное сырье является хорошим источником углеводов, минеральных веществ и витаминов. Особенности химического состава дают возможность говорить об их эффективном воздействии на свойства и компоненты дрожжевого теста, повышении качества готовых изделий и их пищевой ценности.

Цель данного исследования – установить режимы шоковой заморозки хлебобулочных изделий, производимых в условиях предприятия общественного питания, в том числе с применением нетрадиционного сырья на примере пюре из свеклы и клюквы.

Объекты и методы исследования

Объектами исследований являлись образцы выпеченных изделий из дрожжевого теста, приготовленные различными способами, в том числе с использованием технологии шоковой заморозки.

Тесто готовили безопасным способом. Контролем служили образцы, выпеченные по традиционной рецептуре булочки «Дорожная» из сборника рецептов блюд и кулинарных изделий для питания школьников [22].

В работе изучалась возможность применения технологии шоковой заморозки на предприятиях общественного питания. Для этого использовали технологический зал кафедры технологии и организации общественного питания КемГУ, оборудованный расстоечным шкафом и конвекционной печью марки «UNOXSp.A.», а также аппарат шоковой заморозки «Electroluxair-o-chill».

Для контроля булочки выпекали в конвекционной печи при температуре 180 °С в течение 15 мин.

Булочные изделия замораживали в шокере при температуре –40 °С до достижения температуры в толще продукта –18 °С. Процесс контролировали с помощью термомушпа.

Использовали три способа шоковой заморозки: замораживание после окончательной расстойки; замораживание частично выпеченных изделий после 5 и 10 мин выпечки; замораживание готовых изделий, выпеченных в течение 15 мин.

Замороженные на разных стадиях технологического процесса изделия хранились в холодильной камере при температуре –18 °С. В дальнейшем все образцы подвергались размораживанию до температуры цеха и тепловой обработке.

Качество сырья и готовых изделий оценивали по совокупности органолептических и физико-химических показателей стандартными методами.

Химический состав хлебобулочных изделий определяли расчетным методом на основании таблиц химического состава российских пищевых продуктов с учетом потерь пищевых веществ и энергетической ценности при тепловой обработке продуктов [23].

Результаты и их обсуждение

На первом этапе работы была разработана рецептура и технология производства хлебобулочного изделия с добавлением овощного и ягодного пюре. Технология производства включала следующие операции.

Свеклу промывали, очищали от кожуры и нарезами мелкими кубиками. Отваривали на пару, затем измельчали блендером и протирали через сито. Клюкву перебирали, тщательно промывали, отваривали на пару, затем измельчали блендером. В дежу тестомесильной машины всыпали муку, разведенные в подогретой до 40 °С воде прессованные дрожжи, разведенные в воде соль и сахар, а также подготовленное свекольное и клюквенное пюре.



Рисунок 1. Органолептический профиль образцов хлебобулочных изделий с различным соотношением свекольного и клюквенного пюре

Figure 1. Sensory profile of sample bakery products with a different ratio of beet and cranberry puree

Все перемешивали в течение 7–8 мин. Затем вводили охлажденный растопленный маргарин и замешивали тесто до тех пор, пока оно не приобретет однородную консистенцию и будет легко отделяться от стенок дежи.

Подготовленное тесто помещали в расстоечный шкаф на 2,5–3 ч для брожения при температуре 35–40 °С. Как только тесто увеличивалось в объеме в 1,5 раза, производили обминку в течение 1–2 мин и вновь оставляли для брожения, в процессе которого тесто обминали еще 1–2 раза.

Дрожжевое тесто разделявали на куски массой 56 г, придавая им круглую форму, укладывали на смазанные жиром листы и ставили на расстойку при температуре 35–40 °С на 30–40 мин. Выпекали изделия в конвекционной печи при температуре 180 °С в течение 10 мин.

С целью определения оптимальной дозировки свекольного и клюквенного пюре исследовали влияние различного количества пюре на качество изделий из дрожжевого теста (на примере булочки «Дорожная»). Добавки вносили в количествах от 5 до 15 % пюре к массе муки с шагом 5 %. Установлено, что суммарная органолептическая оценка, соответствующая категории качества «удовлетворительное» и выше, наблюдалась при

внесении 5–15 % свекольного и 5–10 % клюквенного пюре к массе муки. Наилучшие органолептические показатели отмечены у образцов, в которых соотношение свекольного и клюквенного пюре составили соответственно 10:5, 10:10 и 15:10 %. Органолептические профили данных образцов представлены на рисунке 1. Максимальный дегустационный балл по каждому показателю – 5, суммарный – 25.

Анализ органолептических профилей образцов показал, что качество образцов, в которых свекольное пюре доминирует, выше, чем при равном соотношении свекольного и клюквенного пюре. Это можно объяснить высоким содержанием криопротекторов в свекле. При увеличении количества пюре к массе муки качество изделий существенно снижается: изделия теряют форму, мякиш становится липким и сыропеклым. Образцы с содержанием свекольного и клюквенного пюре 10 % и 5 % получили наибольшее количество баллов.

Выпеченные изделия были подвергнуты физико-химическому анализу. Определены следующие показатели: массовая доля влаги, кислотность, удельный объем и формоудерживающая способность. Данные представлены в таблице 1.

Из анализа данных таблицы видно, что значения показателей влажности и кислотности опытных образцов незначительно отличаются от значений этих показателей контрольного образца. Значения показателей формоустойчивости и удельного объема снижаются с увеличением количества вносимого пюре, что подтверждает органолептическую оценку. Высокие показатели качества имеют изделия с содержанием 10 % свекольного и 5 % клюквенного пюре к массе муки, т. к. эти образцы отличаются наиболее высокими показателями удельного объема и формоустойчивости.

Разработанные булочные изделия с добавлением свекольного и клюквенного пюре имели органолептические показатели, представленные в таблице 2.

Тренд на здоровое питание диктует необходимость повышения пищевой ценности предлагаемой продукции. Функциональная направленность и «полезность» могут стать существенным конкурентным преимуществом. В связи с этим целесообразно провести расчет химического состава хлебобулочных изделий с

Таблица 1. Физико-химические показатели выпеченных изделий (n = 5)

Table 1. Physicochemical parameters of baked products (n = 5)

Образцы (соотношение свекольного и клюквенного пюре)	Массовая доля влаги, %	Кислотность, град	Удельный объем, см ³ /г	Формоудерживающая способность
Контроль	34,0 ± 1,38	2,2 ± 0,12	3,86 ± 0,25	0,70 ± 0,04
10:05	33,6 ± 1,38	2,4 ± 0,12	3,77 ± 0,25	0,62 ± 0,04
10:10	30,5 ± 1,38	2,5 ± 0,12	3,32 ± 0,25	0,61 ± 0,04
15:10	33,3 ± 1,38	2,5 ± 0,12	3,30 ± 0,25	0,58 ± 0,04

Таблица 2. Органолептические показатели качества булочек с добавлением свекольного и клюквенного пюре

Table 2. Sensory indicators of buns with beet and cranberry puree

Органолептические показатели	Булочки со свекольным и клюквенным пюре
Форма изделия	круглая
Поверхность	матовая, гладкая
Состояние мякиша	хорошо пропеченный, эластичный
Окраска корки	равномерная, светло-коричневая
Характер пористости	равномерная, хорошо развитая, тонкостенная
Цвет мякиша	светлый, с розоватым оттенком
Запах	ярко выраженный, приятный, свойственный свежеспекечному изделию из дрожжевого теста
Вкус	приятный, свойственный свежеспекечному изделию из дрожжевого теста

добавками и без них, а также их энергетической ценности. Данные представлены в таблице 3.

Анализ химического состава контрольного и разработанных изделий показал следующие результаты:

- увеличение пищевых волокон в опытных образцах со свекольным и клюквенным пюре на 50 %;
- незначительное увеличение минеральных веществ, таких как Na, K, Ca, Fe;
- разработанные изделия содержат β -каротин, что

выгодно отличает эти изделия от контрольного образца (без добавок). Разработанные изделия обладают функциональными свойствами.

На втором этапе работы оценена возможность замораживания разработанного булочного изделия и определены параметры замораживания и последующего доготовливания. Изделия, подвергшиеся частичному либо полному выпеканию, предварительно охлаждались до температуры цеха с целью равномерного распределения влаги в объеме.

Определено, что продолжительность замораживания зависит от объема загруженного продукта, рецептурного состава, а также от продолжительности выпечки изделий, подвергающихся замораживанию.

Экспериментальным путем определено время, необходимое для достижения у разработанных изделий температуры в толще мякиша -18°C (рис. 2), и время, необходимое для последующего допекания булочных изделий. Полученные результаты представлены в таблице 4.

Время частичной выпечки выбиралось исходя из данных, имеющихся в литературе [1]. Учитывая, что для предприятий общественного питания оптимальной массой изделий является 50 г, ориентировались на данный объем изделия и выбрали время, наиболее близко соответствующее 30 и 50 % выпечки, т. е. 5 и 10 мин соответственно. Время допекания определяли по достижению требуемых показателей внешнего вида.

Анализ данных таблицы показывает, что с увеличением продолжительность выпечки время

Таблица 3. Химический состав и энергетическая ценность контрольного и разработанного изделия из дрожжевого теста (на выход 50 г)*

Table 3. Chemical composition and energy value of the control and sample products from yeast dough (50 g of yield)*

Наименование основных пищевых веществ, энергетическая ценность	Контроль (без добавок)	Булочки со свекольным и клюквенным пюре
	количество	количество
Белки, г	4,2	4,2
Жиры, г	5,95	5,96
Углеводы, г	25,8	25,7
Зола, г	0,65	0,7
ПВ, г	0,2	0,3
Минеральные вещества, мг :		
Na	116	120,5
K	90,9	106,4
Ca	10,5	12,5
Mg	16,1	16,9
P	59,5	60,9
Fe	0,84	0,92
Витамины, мг:		
β -каротин	–	0,0004
PP	1,25	1,25
Энергетическая ценность, ккал	168,8	168,7

* Химический состав хлебобулочных изделий определяли расчетным методом на основании таблиц химического состава российских пищевых продуктов с учетом потерь пищевых веществ и энергетической ценности при тепловой обработке продуктов [23].

* The chemical composition of bakery products was determined by the calculation method based on tables of the chemical composition of Russian food products and taking into account the loss of nutrients and energy value during the heat treatment [23].

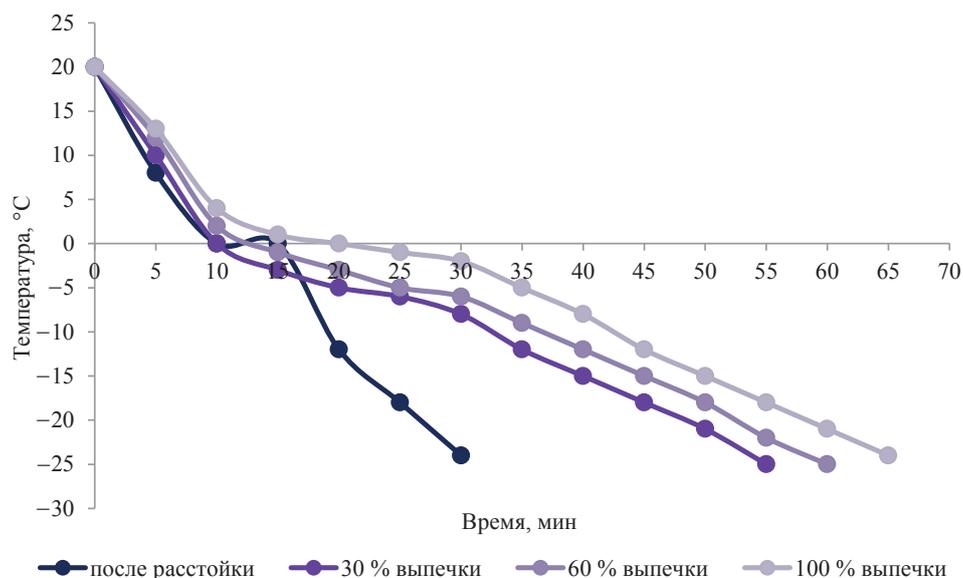


Рисунок 2. Изменение температуры в центре полуфабриката при замораживании в камере шоковой заморозки

Figure 2. Temperature change in the center of the semi-finished product during freezing in the shock freezing chamber

заморозки изделий увеличивается. Это связано с тем, что при выпечке изделий вода, выделяемая денатурированными белками, и вода теста поглощаются клейстеризующимся крахмалом и переходят в связанное состояние. При этом представляло интерес оценить органолептические показатели разработанных булочных изделий и влияние таких рецептурных компонентов как свекольное и клюквенное пюре на процесс

замораживания и допекания. Органолептическая оценка представлена в таблице 5.

Анализ результатов показывает, что замораживание изделий сразу после расстойки неблагоприятно сказалось на формоустойчивости изделий и отразилось на их внешнем виде после выпечки: расплывчатая форма, уплотненный мякиш, пустоты на разрезе, пониженный объем. Это объясняется тем, что в изделии находится слишком много свободной воды, которая при замораживании ведет к образованию крупных кристаллов и повреждению клейковинного каркаса и дрожжевых клеток. Как следствие – ухудшение формоустойчивости и газодерживающей способности при последующем размораживании и выпечке. Поэтому использование данных способов заморозки для изделий с применением овощного и ягодного пюре нецелесообразно.

Образцы изделий, замороженные после полной выпечки (15 мин) и доведенные до готовности в течение 3 мин, имели сыропеклый мякиш. Это связано с тем, что 3 мин недостаточно для доведения температуры в центре мякиша до 95 °С. При увеличении времени допекания поверхность изделий была подгорелой, а также увеличился упек

Таблица 4. Определение оптимальных параметров шоковой заморозки булочных изделий

Table 4. Optimal parameters of shock freezing of bakery products

Способы заморозки	Время заморозки, мин	Время допекания, мин
Замораживание сразу после расстойки	26 ± 2	15
Замораживание изделия после: 5 мин выпечки (30 % выпечки)	46 ± 1	11
10 мин выпечки (60 % выпечки)	50 ± 2	10
Замораживание готовых изделия (100 % выпечки)	53 ± 1	3

Таблица 5. Органолептическая оценка выпеченных изделий с использованием разных способов заморозки

Table 5. Sensory evaluation of baked products using different methods of freezing

Время выпечки, после которого были заморожены изделия	Форма	Состояние поверхности	Состояние мякиша	Аромат	Вкус
После расстойки	2 ± 1,29	4 ± 0,43	3 ± 0,83	3 ± 0,83	3 ± 0,83
5 мин выпечки	3 ± 1,29	4 ± 0,43	4 ± 0,83	3 ± 0,83	4 ± 0,83
10 мин выпечки	5 ± 1,29	5 ± 0,43	5 ± 0,83	5 ± 0,83	5 ± 0,83
Готовые изделия	5 ± 1,29	4 ± 0,43	5 ± 0,83	4 ± 0,83	5 ± 0,83

Таблица 6. Физико-химические показатели качества булочных изделий

Table 6. Physicochemical quality indicators of bakery products

Наименование показателей	Наименование образцов		
	контроль	образцы булочек, подвергнутых шоковой заморозке	
		после 10 мин выпечки	после 15 мин выпечки
Влажность мякиша, %	32,08 ± 0,52	32,05 ± 0,52	30,95 ± 0,52
Формоустойчивость	0,70 ± 0,02	0,66 ± 0,02	0,72 ± 0,02
Удельный объем, см ³ /г	3,86 ± 0,41	2,90 ± 0,41	3,10 ± 0,41
Кислотность, град	2,00 ± 0,08	2,20 ± 0,08	2,10 ± 0,08

изделий. При 30 % выпечки качество доготовленных изделий оценивается как «удовлетворительное»: изделия имели недостаточный объем и излишне плотный мякиш. Наилучшие органолептические характеристики имели изделия, выпеченные на 60 %. В связи с этим целесообразно замораживать изделия после 10 мин выпечки с последующим допеканием в течение 10 мин.

По физико-химическим показателям оценивали изделия, замороженные после 10 и 15 мин выпечки, и сравнивали с контролем, не подвергшемся замораживанию. Результаты представлены в таблице 6.

Из представленных результатов видно, что исследуемые образцы по физико-химическим показателям близки к показателям контрольного образца. Процесс замораживания и последующего допекания повлиял на органолептические показатели.

Выводы

По совокупности показателей качества установлено, что технология шоковой заморозки булочных изделий с использованием в составе овощного и ягодного пюре может быть использована на предприятиях общественного питания.

В результате проведенных исследований определены:

– рекомендованная стадия для замораживания: после 10 мин выпечки в конвекционной печи при температуре 180 °С;

– продолжительность замораживания в аппарате шоковой заморозки 50 ± 2 мин при температуре –40 °С;

– допекание в течение 10 мин в конвекционной печи при температуре 180 °С.

Переход предприятий общественного питания на технологию шоковой заморозки изделий с использованием нетрадиционного сырья поможет увеличить рентабельность, расширить ассортимент булочных изделий и разнообразить хлебную корзину.

Критерии авторства

Р. З. Григорьева руководила проектом. Е. В. Рощина, С. Ю. Баранец, Н. И. Давыденко и М. С. Куракин принимали участие в экспериментальных исследованиях.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

R.Z. Grigorieva supervised the project. E.V. Roshchyna, S.Yu. Baranets, N.I. Davydenko, and M.S. Kurakin conducted the experimental studies.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Белякова, М. С. Использование технологии шоковой заморозки при производстве булочных изделий на предприятиях общественного питания / М. С. Белякова, И. А. Ефременко, Р. З. Григорьева // Пищевые инновации и биотехнологии : материалы V Международной научной конференции / «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности». – Кемерово, 2017. – С. 274–276.
2. Кирюхина, А. Н. Современное состояние и перспективы развития производства хлеба и хлебобулочных изделий в России / А. Н. Кирюхина, Р. З. Григорьева, А. Ю. Кожевникова // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 2. – С. 330–337. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-330-337>.
3. Лабутина, Н. В. Технология производства хлебобулочных изделий из замороженных полуфабрикатов: монография / Н. В. Лабутина. – Смоленск : Универсум, 2004. – 236 с.
4. Суворов, О. А. Современные технологии хлеба и хлебобулочных изделий. Рыночные перспективы / О. А. Суворов, Н. В. Лабутина, М. С. Назаретян // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2011. – Т. 11, № 6. – С. 78–83.
5. Лаптенко, Н. С. Инновационные технологии в хлебопечении / Н. С. Лаптенко, Л. И. Севастей // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2017. – Т. 36, № 2. – С. 20–28.

6. Катусов, Д. Н. Производство замороженного хлеба / Д. Н. Катусов, Л. С. Шалыгина // *Инновационная наука*. – 2017. – Т. 2, № 3. – С. 35–37.
7. Китиссу, П. А. Быстрозамороженное тесто / П. А. Китиссу // *Хлебопечение России*. – 2005. – № 5. – С. 30–31.
8. Герасимова, Э. О. Криогенные технологии в хлебопечении / Э. О. Герасимова, Н. В. Лабутина // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. – 2019. – Т. 367, № 1. – С. 6–9.
9. Kiryukhina, A. N. Specific development of the baking industry in Kemerovo oblast / A. N. Kiryukhina, N. M. Guk // *Foods and Raw Materials*. – 2013. – Vol. 1, № 2. – P. 89–95. DOI: <https://doi.org/10.12737/2061>.
10. Оболенский, Н. В. Использование замороженных полуфабрикатов как эффективная технология хлебопекарного производства в условиях интенсификации экономики / Н. В. Оболенский, О. В. Головачева // *Вестник НГИЭИ*. – 2012. – Т. 11, № 4. – С. 70–79.
11. Данилова, И. А. Виды замораживания хлебобулочных полуфабрикатов / И. А. Данилова // *Молодой ученый*. – 2014. – Т. 77, № 18. – С. 233–235.
12. Давыденко, Н. И. Обоснование необходимости комплексного обогащения при разработке функциональных хлебобулочных изделий / Н. И. Давыденко, В. А. Нестерова, А. И. Карчевная // *Ползуновский вестник*. – 2012. – № 2–2. – С. 200–205.
13. Шабурова, Г. В. Плоды и ягоды в технологии хлебобулочных и мучных кондитерских изделий / Г. В. Шабурова, Е. А. Лукьянова // *Инновационная техника и технология*. – 2018. – Т. 17, № 4. – С. 35–38.
14. Dashrath, B. Wild fruits and vegetables: a great source of micronutrients / B. Dashrath, J. Shashi // 44th Annual National Conference of the Nutrition Society of India «Current Trends in Food Security to meet National Nutritional Challenges» / Sri Venkateswara University. – Tirupati, 2012. – P. 158–159.
15. Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat bread by the addition of plant materials rich in phenolic compounds / D. Dziki, R. Rózyło, U. Gawlik-Dziki [et al.] // *Trends in Food Science and Technology*. – 2014. – Vol. 40, № 1. – P. 48–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.07.010>.
16. Fibre enrichment of wheat bread with Jerusalem artichoke inulin: Effect on dough rheology and bread quality / I. A. Rubel, E. E. Pérez, G. D. Manrique [et al.] // *Food Structure*. – 2015. – Vol. 3. – P. 21–29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2014.11.001>.
17. Бибик, И. В. О возможности использования ягодных полуфабрикатов в производстве хлеба / И. В. Бибик, Е. В. Лоскутова, Н. В. Бабий // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. – 2013. – Т. 21, № 4. – С. 7–13.
18. Marpalle, P. Effect of flaxseed flour addition on physicochemical and sensory properties of functional bread / P. Marpalle, S. K. Sonawane, S. S. Arya // *LWT – Food Science and Technology*. – 2014. – Vol. 58, № 2. – P. 614–619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.003>.
19. Ермош, Л. Г. Технология хлебобулочных изделий из замороженных полуфабрикатов с использованием муки из топинамбура / Л. Г. Ермош, И. П. Березовикова // *Техника и технология пищевых производств*. – 2012. – Т. 27, № 4. – С. 11–17.
20. Kenijz, N. V. Pectic substances and their functional role in bread-making from frozen semi-finished products / N. V. Kenijz, N. V. Sokol // *European Online Journal of Natural and Social Sciences*. – 2013. – Vol. 2, № 2. – P. 253–261.
21. Кирюхина, А. Н. Исследование влияния технологических факторов на товароведные свойства замороженных тестовых полуфабрикатов и булочных изделий из них: дис. ... канд. тех. наук: 05.18.15 / Кирюхина Анжелика Николаевна. – Кемерово, 2005. – 175 с.
22. Могильный, М. П. Сборник кулинарных изделий для питания школьников / М. П. Могильный. – М. : ДеЛи принт, 2005. – 628 с.
23. Тутельян, В. А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания. Справочник / В. А. Тутельян. – М. : ДеЛи плюс, 2012. – 284 с.
24. Свекла: пищевая ценность, химический состав, полезные свойства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fb.ru/article/447261/svekla-pischevaya-tsennost-himicheskiy-sostav-poleznyie-svoystva>. – Дата обращения: 10.04.2020.
25. Лютикова, М. Н. Химический состав и практика применения ягод брусники и клюквы / М. Н. Лютикова, Э. Х. Ботиров // *Химия растительного сырья*. – 2015. – № 2. – С. 5–27.

References

1. Belyakova MS, Efremenko IA, Grigor'eva RZ. Ispol'zovanie tekhnologii shokovoy zamorozki pri proizvodstve bulochnykh izdeliy na predpriyatiyakh obshchestvennogo pitaniya [The use of shock freezing technology in bakery production at public catering enterprises]. *Pishchevye innovatsii i biotekhnologii: materialy V Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii [Food Innovations and Biotechnologies: Materials of the V International Scientific Conference]*; 2017; Kemerovo. Kemerovo: Kemerovo Technological Institute of Food Industry; 2017. p. 274 – 276. (In Russ.).
2. Kiryukhina AN, Grigoreva RZ, Kozhevnikova AYU. Bread production and bakery products in Russia: current state and prospects. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2019;49(2):330–337. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-330-337>.

3. Labutina NV. Tekhnologiya proizvodstva khlebobulochnykh izdeliy iz zamorozhennykh polufabrikatov: monografiya [Technology for the production of bakery products from frozen semi-finished products: monograph]. Smolensk: Universum; 2004. 236 p. (In Russ.).
4. Suvorov OA, Labutina NV, Nazaretyan MS. Modern technologies of bread and bakery products. Market prospects. Technology and merchandising of the innovative foodstuff. 2011;11(6):78–83. (In Russ.).
5. Lapsenak NS, Sevastsei LI. Innovative technologies in the bakery prolonging the life of food. Food Industry: Science and Technology. 2017;36(2):20–28. (In Russ.).
6. Katusov DN, Shalygina LS. Proizvodstvo zamorozhennogo khleba [Production of frozen bread]. Innovation Science. 2017;2(3):35–37. (In Russ.).
7. Kitissu PA. Bystrozamozhennoe testo [Quick-frozen dough]. Baking in Russia. 2005;(5):30–31. (In Russ.).
8. Gerasimova EO, Labutina NV. Cryogenic technologies in bakery. News institutes of higher Education. Food technology. 2019;367(1):6–9. (In Russ.).
9. Kiryukhina AN, Guk NM. Specific development of the baking industry in Kemerovo oblast. Foods and Raw Materials. 2013;1(2):89–95. DOI: <https://doi.org/10.12737/2061>.
10. Obolenskii NV, Golovacheva OV. Use of the frozen semifinished items as effective technology of the baking production in conditions of the intensification of economy. Bulletin NGIEI. 2012;11(4):70–79. (In Russ.).
11. Danilova IA. Vidy zamorazhivaniya khlebobulochnykh polufabrikatov [Types of freezing bakery semi-finished products]. Young Scientist. 2014;77(18):233–235. (In Russ.).
12. Davydenko NI, Nesterova VA, Karchevnaya AI. Obosnovanie neobkhodimosti kompleksnogo obogashcheniya pri razrabotke funktsional'nykh khlebobulochnykh izdeliy [Justification of the need for a comprehensive fortification in the development of functional bakery products]. Polzunovskiy vestnik. 2012;(2–2):200–205. (In Russ.).
13. Shaburova GV, Lukyanova EA. Fruits and berries in technology of bakery and flour confectionery products. Innovative Machinery and Technology. 2018;17(4):35–38. (In Russ.).
14. Dashrath B, Shashi J. Wild fruits and vegetables: a great source of micronutrients. 44th Annual National Conference of the Nutrition Society of India 'Current Trends in Food Security to meet National Nutritional Challenges'; 2012; Tirupati. Tirupati: Sri Venkateswara University; 2012. p. 158–159.
15. Dziki D, Rózyło R, Gawlik-Dziki U, Świeca M. Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat bread by the addition of plant materials rich in phenolic compounds. Trends in Food Science and Technology. 2014;40(1):48–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.07.010>.
16. Rubel IA, Pérez EE, Manrique GD, Genovese DB. Fibre enrichment of wheat bread with Jerusalem artichoke inulin: Effect on dough rheology and bread quality. Food Structure. 2015;3:21–29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2014.11.001>.
17. Bibik IV, Loskutova EV, Babiy NV. Berry of the possibility of convenience in the production of bread. Technology and merchandising of the innovative foodstuff. 2013;21(4):7–13. (In Russ.).
18. Marpalle P, Sonawane SK, Arya SS. Effect of flaxseed flour addition on physicochemical and sensory properties of functional bread. LWT – Food Science and Technology. 2014;58(2):614–619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.003>.
19. Ermosh LG, Berezovikova IP. Baked products from frozen semi-finished items with Jerusalem artichoke flour. Food Processing: Techniques and Technology. 2012;27(4):11–17. (In Russ.).
20. Kenijz NV, Sokol NV. Pectic substances and their functional role in bread-making from frozen semi-finished products. European Online Journal of Natural and Social Sciences. 2013;2(2):253–261.
21. Kiryukhina AN. Issledovanie vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov na tovarovednye svoystva zamorozhennykh testovykh polufabrikatov i bulochnykh izdeliy iz nikh [A study of the effect of technological factors on the merchandising properties of frozen semi-finished dough products and bakery related products]. Cand. eng. sci. diss. Kemerovo: Kemerov Technological Institute of Food Industry; 2005. 175 p.
22. Mogil'nyy MP. Sbornik kulinarnykh izdeliy dlya pitaniya shkol'nikov [A collection of culinary products for schoolchildren]. Moscow: DeLi print; 2005. 628 p. (In Russ.).
23. Tutel'yan VA. Khimicheskiy sostav i kaloriynost' rossiyskikh produktov pitaniya. Spravochnik [The chemical composition and caloric content of Russian food. Directory]. Moscow: DeLi plus; 2012. 284 p. (In Russ.).
24. Svekla: pishchevaya tsennost', khimicheskiy sostav, poleznye svoystva [Beetroot: nutritional value, chemical composition, and useful properties] [Internet]. [cited 2020 Apr 10]. Available from: <https://fb.ru/article/447261/svekla-pishevaya-tsenno-st-himicheskiy-sostav-poleznyie-svoystva>.
25. Lyutikova MN, Botirov EK. The chemical composition and the practical application of berries cranberries and cranberry. Chemistry of plant raw materials. 2015;(2):5–27. (In Russ.).

Сведения об авторах

Рощина Елена Васильевна

канд. техн. наук, доцент, заведующая кафедрой товароведения, УО «Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации», 246029, Республика Беларусь, г. Гомель, пр. Октября, 50, тел.: +7 (0232) 50-03-56, e-mail: ewas2005@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1183-177X>

Григорьева Роза Завдятовна

канд. техн. наук, доцент, доцент 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: roza-grigoreva@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5978-2850>

Баранец Светлана Юрьевна

канд. техн. наук, доцент 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: baranec-svetlana@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1702-1161>

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>

Куракин Михаил Сергеевич

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: kurakin1979@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2170-1821>

Information about the authors

Alena V. Roshchyna

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Commodity Science, Belarusian Trade and Economics University of Consumer Cooperatives, 50, October Ave., Gornel, 246029, Republic of Belarus, phone: +7 (0232) 50-03-56, e-mail: ewas2005@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1183-177X>

Rosa Z. Grigorieva

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Associate 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: roza-grigoreva@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5978-2850>

Svetlana Yu. Baranets

Cand.Sci.(Eng.), Associate 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: baranec-svetlana@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1702-1161>

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>

Mikhail S. Kurakin

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: kurakin1979@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2170-1821>

Влияние трегалозы на дисперсность кристаллов льда и консистенцию низкожирного мороженого

А. В. Ландиховская^{ORCID}, А. А. Творогова*^{ORCID}, Н. В. Казакова^{ORCID}, И. А. Гурский^{ORCID}



Дата поступления в редакцию: 28.05.2020
Дата принятия в печать: 24.07.2020

Всероссийский научно-исследовательский институт
холодильной промышленности,
127422, Россия, г. Москва, ул. Костякова, 12

*e-mail: antvorogova@yandex.ru



© А. В. Ландиховская, А. А. Творогова, Н. В. Казакова, И. А. Гурский, 2020

Аннотация.

Введение. Целью проводимого исследования являлось установление влияния полной и частичной замены сахарозы трегалозой на дисперсность кристаллов льда в мороженом с низкой массовой долей жира и сухих веществ.

Объекты и методы исследования. Мороженое с массовой долей жира 3 % с полной заменой сахарозы (15,5 %) и частичной (7,5 % и 3 %) и контрольный образец с массовой долей сахарозы 15,5 %. Используются современные методы исследований для контроля консистенции по показателю «динамическая вязкость» – ротационной вискозиметрии и микроструктурные для определения дисперсности кристаллов льда и воздушной фазы.

Результаты и их обсуждение. Экспериментально подтверждено, что использование трегалозы в количестве 3,0 %, 7,5 % и 15,5 % с целью замены сахарозы приводит к заметному повышению дисперсности кристаллов льда и ее сохранению в процессе хранения продукта. При этом значительная часть кристаллов льда через 3 месяца хранения в образцах мороженого с трегалозой характеризуется размером не более 45 мкм при пороге органолептической оскутительности не более 50 мкм, в контрольном образце (15,5 % сахарозы) – не более 60 мкм. Экспериментально определено влияние трегалозы на консистенцию мороженого по показателям: динамическая вязкость, взбитость и дисперсность воздушной фазы. Результаты исследований показали, что при внесении 15,5 % трегалозы динамическая вязкость смеси для мороженого увеличивается в 1,2 раза по сравнению с образцом, содержащим сахарозу в той же концентрации. Показано, что применение трегалозы способствует сохранению дисперсности воздушной фазы при хранении, определяемой по показателю «средний диаметр воздушных пузырьков». Через 3 месяца максимальная дисперсность отмечена в образце № 1 с 15,5 % трегалозы, что на 17 % выше, чем в контрольном образце с массовой долей сахарозы 15,5 %.

Выводы. Проведенные исследования показывают целесообразность замены сахарозы на трегалозу в производстве мороженого функциональной направленности (с низким содержанием жира и сахарозы).

Ключевые слова. Готовые продукты питания, сахароза, трегалоза, динамическая вязкость, дисперсность, кристаллы льда, пузырьки

Для цитирования: Влияние трегалозы на дисперсность кристаллов льда и консистенцию низкожирного мороженого / А. В. Ландиховская, А. А. Творогова, Н. В. Казакова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 450–459. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-450-459>.

Original article

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

The Effect of Trehalose on Dispersion of Ice Crystals and Consistency of Low-Fat Ice Cream

Anna V. Landikhovskaya^{ORCID}, Antonina A. Tvorogova*^{ORCID}, Natalia V. Kazakova^{ORCID},
Igor A. Gursky^{ORCID}

Received: May 28, 2020
Accepted: July 24, 2020

All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry,
12, Kostyakova Str., Moscow, 127422, Russia

*e-mail: antvorogova@yandex.ru



© А. В. Ландиховская, А. А. Творогова, Н. В. Казакова, И. А. Гурский, 2020

Abstract.

Introduction. The research objective was to establish the effect of the complete and partial replacement of sucrose by trehalose on the dispersion of ice crystals in ice cream with a low mass fraction of fat and solids.

Study objects and methods. The present research featured three test samples of ice cream with a 3% mass fraction of fat: one with a complete replacement of sucrose (15.5%) and two with a partial replacement of 7.5% and 3%. In the control sample, the mass fraction of sucrose was 15.5%. To control the dynamic viscosity indicator of consistency, the research employed such an advanced method as rotational viscometry. Microstructure methods were used to determine the dispersion of ice crystals and the air phase.

Results and discussion. The usage of trehalose in the production of low-fat ice cream in the amounts of 3.0%, 7.5%, and 15% increased the dispersion of ice crystals and preserved it during storage. After three months of storage, most ice crystals in the test ice cream samples had a size of $\leq 45 \mu\text{m}$ with an organoleptic sensibility of $\leq 50 \mu\text{m}$, while in the control sample (15.5% of sucrose) it did not exceed $60 \mu\text{m}$. The experiment determined the effect of trehalose on the consistency of ice cream according to the following indicators: dynamic viscosity, overrun, and dispersion of the air phase. 15.5% of trehalose increased the dynamic viscosity of ice cream mix by 1.2 times as compared to the sample with the same concentration of sucrose. According to the average diameter of air bubbles, trehalose helped to preserve the dispersion of the air phase during storage. After three months, Sample 1 with 15.5% of trehalose demonstrated the maximum dispersion, which was 17% higher than in the control sample with a sucrose mass fraction of 15.5%.

Conclusion. The complete (15.5%) and partial (3% and 7.5%) sucrose replacement by trehalose in low-fat ice cream increased the dispersion of ice crystals and improved its consistency. Unlike the sample with 15.5% of sucrose, samples with trehalose had smaller ice crystals, which remained the same after three months. The trehalose samples had a better dynamic viscosity and air saturation. The research requires a further study of dispersion of ice crystals after 12 months of storage.

Keywords. Finished food products, sucrose, trehalose, dynamic viscosity, dispersion, ice crystals, air bubbles

For citation: Landikhovskaya AV, Tvorogova AA, Kazakova NV, Gursky IA. The Effect of Trehalose on Dispersion of Ice Crystals and Consistency of Low-Fat Ice Cream. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):450–459. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-450-459>.

Введение

Политика в области здорового питания направлена на производство продуктов с заданным (полезным для здоровья) химическим составом с целью восполнения недостающих макро- и микронутриентов [1]. Современные тенденции в области развития рынка продуктов для здорового питания характеризуются увеличением спроса на данный вид продукции, происходит расширение уже имеющегося ассортимента. Производители стараются выносить информацию об отличительных признаках продукции на этикетку [2].

Рынок мороженого в настоящее время в значительной степени представлен мороженым пломбир, имеющим высокое содержание жира (не менее 12 %) и сахарозы (не менее 14 %).

Снижение массовой доли жира в мороженом – один из способов уменьшения калорийности продукта. Тем не менее изменение массовой доли жира влияет на качество конечного продукта: восприятие сладости и ощущение кристаллов льда в продукте [3]. В настоящее время для повышения ощущения жирности в низкожирном мороженом в качестве дополнительных компонентов используют мальтодекстрины, инулин и полидекстрозу [4].

Сахара оказывают влияние на состояние структуры мороженого и его вкусовые достоинства. Их способность снижать температуру замерзания раствора и влиять на долю вымороженной воды обеспечивает контроль над соотношением температуры и твердости. Наиболее распространенным подсластителем является сахароза, но в последнее время существуют тенденции к ее замене на другие сахарозаменители. При этом важно учитывать влияние углеводов на качество конечного

продукта [5]. Одним из таких углеводов является трегалоза.

Подсластители влияют не только на вкус мороженого, но также оказывают влияние на другие характеристики: снижение криоскопической температуры, рост кристаллов льда, осмотическая сила раствора, способность вступать в реакции (например, с первичными аминами) и на динамическую вязкость растворов [6]. В качестве заменителя сахарозы или совместного использования интерес представляет трегалоза, имеющая одинаковую с ней молекулярную массу. Трегалоза и сахароза являются дисахаридами с одинаковой химической формулой $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, но с различным геометрическим строением [7].

Трегалоза – это углевод, дисахарид, состоящий из двух остатков α -D-глюкозопиранозила и α -D-глюкозопиранозида, связанных между собой гликозидными связями. Была впервые описана в научных работах в начале XIX века. Считалось, что она присутствует в спорынье ржи. Однако позже выяснилось, что она распространена в разных организмах. В основном трегалоза изучена в клетках дрожжей. Трегалоза является одним из самых неактивных и стабильных сахаров в природе. Две глюкозные группы соединены через 1,1 атома углерода двух глюкозопиранозных колец, поэтому это полностью невосстанавливающийся сахар. Кислородная связь гликозида, соединенных в два гексозных кольца, имеет низкую энергетическую связь (< 1 ккал/моль), которая делает дисахаридную структуру стабильной. Для сравнения, другой невосстанавливающийся дисахарид, сахароза, характеризуется высокоэнергетической связью (более 27 ккал/моль). При этом, несмотря на стабильность

сахарозы как чистого вещества, в присутствии химически реактивных аминокрупп белков она легко расщепляется до глюкозы и фруктозы, которые являются восстанавливающими моносахарами [8].

Природная активность трегалозы, а также одобрение пищевой и фармацевтической промышленности позволяют использовать ее с целью контроля подвижности воды [9]. Трегалоза отличается от других дисахаридов большим количеством экваториальных гидроксильных групп. Это приводит к сильным взаимодействиям с водой в растворе и относительной легкости, с которой она может включить себя в кластер воды. Сахароза, напротив, плохо интегрируется в кластер воды, создавая более крупную структуру по сравнению с трегалозой.

Несмотря на то, что молекулы сахарозы и трегалозы имеют сходную молекулярную структуру, есть несколько важных различий в их свойствах взаимодействия с водой: растворимость, вязкость и температура стеклования [10]. Сахароза имеет высокую растворимость в воде: в 1 г воды растворяется 2,14 г сахарозы. В таком же количестве воды можно растворить только 1,1 г трегалозы [11].

В работе С. Olsson и J. Swenson была изучена структура водных растворов дисахаридов с помощью нейтронной и рентгеновской дифракции в сочетании с эмпирическим моделированием уточнения структуры потенциала [7]. Результаты показали, что отличий между этими дисахаридами немного, но трегалоза больше нарушает структуру воды.

Сахароза и трегалоза используются в качестве стабилизирующих агентов для различных целей хранения. Но трегалозу лучше использовать для хранения в биологических целях [12].

В работе А. Р. Whelan с соавторами исследовалось влияние трегалозы на стеклование и рост кристаллов льда в смесях для мороженого с массовой долей жира 10 % [13]. Содержание сахарозы и трегалозы было 0, 3, 6, 9, 12 и 15 % соответственно. В сумме оба дисахарида всегда давали 15 % с шагом 3 %. Авторы отмечают, что температура стеклования (T_g) в смесях мороженого возрастала с увеличением концентрации трегалозы. T_g (в средней точке) увеличилась на 4,5 °С: в смеси мороженого с содержанием сахарозы 15 % она составляла $-46,4 \pm 1,0$ °С, а в смеси с таким же количеством трегалозы температура стеклования была $-42 \pm 0,2$ °С. В остальных смесях T_g варьировалась от $-45,4$ °С до $-43,5$ °С со снижением сахарозы и возрастанием количества трегалозы. Авторы отмечают, что трегалоза не показала существенных различий в ингибировании скорости роста кристаллов льда в мороженом при ее внесении в количестве 15 % в сравнении с сахарозой, используемой на том же уровне. Скорость роста кристаллов льда после циклов колебания температуры в этих образцах мороженого была на уровне 160 %. При этом авторы акцентировали

внимание на том, что если образец с количеством трегалозы 15 % убрать из цепочки сравнения, то с увеличением массовой доли трегалозы (3–12 %) наблюдается тенденция к снижению скорости роста кристаллов льда ($P = 0,094$). Она изменяется от 153 до 141 %.

Популярность трегалозы растет в связи с тем, что она имеет низкую сладость, по сравнению с сахарозой, но при этом оставляет длительное послевкусие сладости, может подавлять горечь и улучшать вкус пищи [14].

Трегалозу исследуют во многих отраслях пищевой промышленности: в мясной отрасли, при производстве лиофилизированной пшеничной закваски и для хранения замороженных креветок [15–17].

Мороженое с низким содержанием жира 3 % характеризуется массовой долей сухих веществ 29,5 %, остальное приходится на долю воды. Известно, что кристаллы льда более склонны к росту и рекристаллизации, когда в продукте высокое содержание водной фазы [18]. Для предотвращения быстрого роста кристаллов льда существует необходимость в применении компонентов, позволяющих ингибировать их рост и обладающих водосвязывающей способностью.

Анализ литературных данных показал, что трегалоза является хорошей альтернативой для полной или частичной замены сахарозы. Область применения трегалозы при производстве мороженого с низким содержанием жира не до конца изучена. Интерес представляет изменение дисперсности кристаллов льда в мороженом с использованием трегалозы в процессе хранения, а также ее влияние на консистенцию мороженого.

Целью исследований является определение влияния на дисперсность кристаллов льда и консистенцию в низкожирном мороженом полной и частичной замены сахарозы трегалозой.

Объекты и методы исследования

Исследуемые образцы мороженого были выработаны на экспериментальном стенде ВНИИХИ в лаборатории технологии мороженого в соответствии с традиционной схемой его производства.

При изготовлении образцов использовали следующее сырье: молоко сухое обезжиренное по ГОСТ 33629-2015, масло сливочное с массовой долей жира 72,5 % по ГОСТ 32261-2013, сахар белый по ГОСТ 33222-2015, эффективный комплексный стабилизатор-эмульгатор, подсластитель стевизид (E960). Трегалоза (Китай) предоставлена компанией ООО «Торгснаб».

Для определения динамической вязкости смеси мороженого пользовались методом ротационной вискозиметрии с использованием вискозиметра Brookfield DV-II+Pro (США), подключенного к компьютеру, с предварительно установленной

программой обработки данных Rheocalc V3.1-1 (США). Для достижения необходимой температуры измерения ($4,0 \pm 0,5$ °С) применялась водяная баня.

Взбитость мороженого определяли в соответствии с методикой, описанной в ГОСТ 31457-2012.

Исследование состояния кристаллов льда в мороженом проводилось с помощью микроскопа Olympus CX41RF (Япония) со встроенной камерой и программируемым управлением. Полученные фотографии обрабатывались с использованием программного обеспечения ImageScope (Россия) [19]. Все измерения были выполнены в 3-х кратной повторности.

На основании полученных экспериментальных данных были построены кривые распределения, характеризующие дисперсность кристаллов льда в процессе хранения.

С помощью Microsoft Office Excel рассчитывались количественные доли линейных размеров кристаллов льда с шагом 5 мкм ($0 > X \geq 5$, $5 < X \leq 10$, $10 < X \leq 15$ и т. д.). Затем выстраивалась «точечная диаграмма с маркерами», где на оси абсцисс откладывались линейные размеры кристаллов льда, а на оси ординат – количественная доля этих кристаллов, принадлежащая данному интервалу. По полученным точкам на графике строилась линия тренда для выявления тенденций изменения количества кристаллов льда в зависимости от их размеров. В случае анализа дисперсности кристаллов льда используется полиномиальная линия тренда, поскольку она характеризует перемены возрастания и убывания количества кристаллов льда различных размеров.

Дисперсность воздушной фазы определялась при помощи микроскопа Olympus CX41RF (Япония) со встроенной фотокамерой и программой ImageScope (Россия). Отбор проб осуществлялся у образцов с температурой не выше -18 °С. Исследование проводилось при температуре окружающей среды. Диаметр воздушных пузырьков определялся в режиме «ручное измерение». Полученные данные обчитывались в Excel с помощью встроенной функции «СРГЕОМ».

Образцы мороженого хранились при отрицательной температуре -20 ± 2 °С без существенных температурных колебаний.

Результаты и их обсуждение

Обоснование композиционного состава. На первой стадии исследования обоснован композиционный состав мороженого:

– установлена минимально допустимая массовая доля сухих веществ для молочного мороженого с целью получения достоверных данных о влиянии трегалозы на структуру продукта (дисперсность кристаллов льда);

– выбор массовой доли жира определен исходя из необходимости производства продукции с низким содержанием жира в соответствии с направлением государственной политики в области питания и возможности вынесения данной информации на этикетку;

– массовая доля СОМО выбрана с целью сохранения молочного вкуса, а также для обеспечения сухих веществ молока в мороженом на уровне 40 % как для молочно-составного продукта;

– содержание трегалозы в количестве 15,5 % выбрано из возможности производства мороженого без сахарозы, а 7,5 % и 3 % – с целью установления влияния массовой доли трегалозы на дисперсность кристаллов льда;

– массовая доля стабилизатора-эмульгатора в количестве 0,62 % максимальна для данной разновидности мороженого. Кроме того, в состав комплексной стабилизационной системы входит эффективный эмульгатор, оказывающий влияние на дисперсность воздушной фазы. В качестве стабилизаторов использовали набор гидроколлоидов, действие которых направлено на улучшение термоустойчивости продукта, поскольку снижение размеров кристаллов льда сказывается на данном показателе.

Химический состав опытных образцов мороженого представлен в таблице 1.

Образцы мороженого отличаются между собой количеством вносимой трегалозы. В качестве контрольного образца использовали образец с содержанием сахарозы 15,5 %. Поскольку сладость трегалозы составляет 45 % от сладости сахарозы, то в образцах (№ 1–3) использовался подсластитель стевиизид из расчета, что его сладость выше в 300 раз. Конечная сладость опытных образцов соответствовала контролю.

Таблица 1. Химический состав мороженого

Table 1. Chemical composition of ice cream

	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Контроль
Массовая доля сухих веществ, в %, не менее, в т. ч.:	29,5	29,5	29,5	29,5
Молочного жира, %, не менее	3,0	3,0	3,0	3,0
СОМО, %, не менее	10,5	10,5	10,5	10,5
Сахарозы, %, не менее	–	8,0	12,5	15,5
Трегалозы, %, не менее	15,5	7,5	3,0	–
Стабилизатора-эмульгатора, %, не менее	0,62	0,62	0,62	0,62

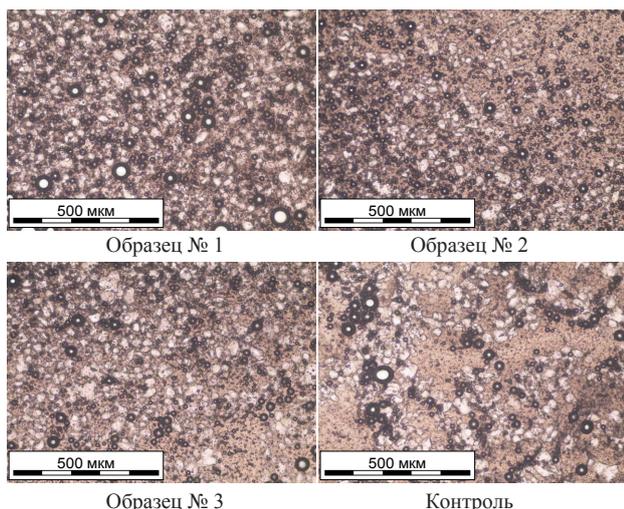


Рисунок 1. Микрофотографии кристаллов льда после закаливания

Figure 1. Micrographs of ice crystals after hardening

Добавление трегалозы на стадии приготовления смеси не требует дополнительной подготовки. Рекомендовано вносить на стадии смешивания сухих компонентов.

Исследование дисперсности кристаллов льда. Дисперсность кристаллов льда в образцах исследовали после закаливания и в течение 3 месяцев хранения (контрольные точки – 1 мес и 3 мес) при температуре -20 ± 2 °С.

После закаливания мороженого была проведена органолептическая оценка образцов. Отмечено, что контроль обладает сладким вкусом по сравнению с опытными образцами. Все образцы, в состав которых входит трегалоза, имеют мелкокристаллическую структуру. Это подтверждается микрофотографиями кристаллов льда в мороженом (рис. 1, 2).

При визуальной оценке фотографий через 3 месяца хранения очевидно, что в мороженом с сахарозой кристаллы значительно крупнее, чем в образцах с трегалозой.

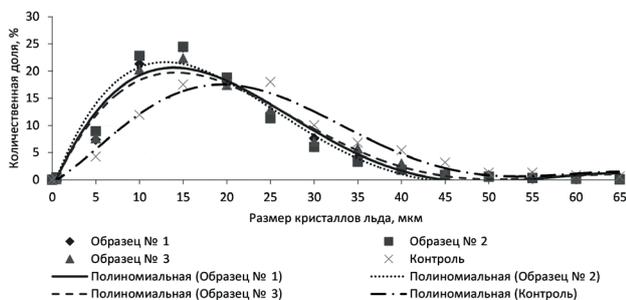


Рисунок 3. Кривые распределения кристаллов льда после закаливания мороженого

Figure 3. Distribution curves of ice crystals after ice cream hardening

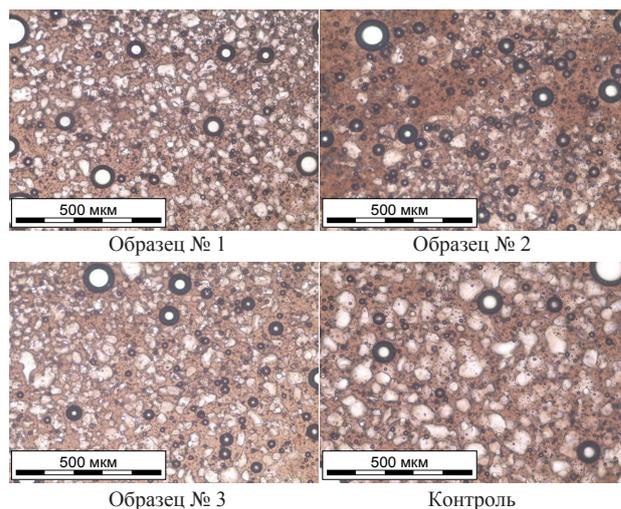


Рисунок 2. Микрофотографии кристаллов льда через 3 месяца хранения

Figure 2. Micrographs of ice crystals after 3 months of storage

На рисунках 3–5 представлены кривые распределения кристаллов льда по размерам после закаливания через 1 и 3 месяца хранения.

Данные рисунков 3 и 4 свидетельствуют о том, что в течение 1 месяца хранения не происходит изменений в размерах кристаллов льда. Средние размеры кристаллов льда в образце № 1 увеличиваются с 19 до 20 мкм, в образце № 3 с 20 до 21 мкм, а в образцах № 2 и № 4 сохраняют стабильность на уровне 18 и 23 мкм соответственно.

Как следует из данных, приведенных на рисунке 5, использование трегалозы в рецептурах мороженого приводит к увеличению дисперсности кристаллов льда. Пик дифференциальной кривой распределения кристаллов льда по размерам через 3 месяца хранения со значения 35 мкм в контрольном образце смещается влево на значения 15 и 18 мкм в образцах с трегалозой. В образцах с трегалозой значительная часть кристаллов льда характеризуется размером – не более 45 мкм при пороге органолептической ошутимости не более 50 мкм, в контрольном образце не более

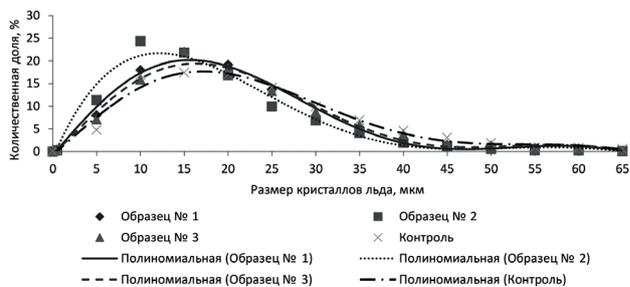


Рисунок 4. Кривые распределения кристаллов льда через 1 месяц хранения мороженого

Figure 4. Curves of ice crystal distribution after 1 month of ice cream storage

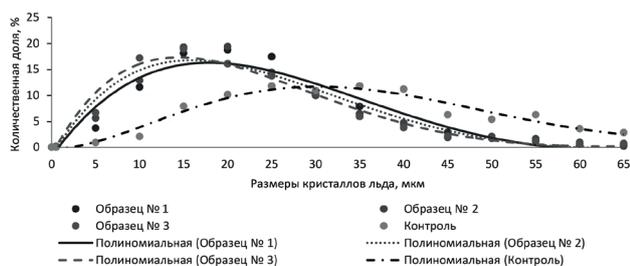


Рисунок 5. Кривые распределения кристаллов льда через 3 месяца хранения мороженого

Figure 5. Distribution curves of ice crystals after 3 months of ice cream storage

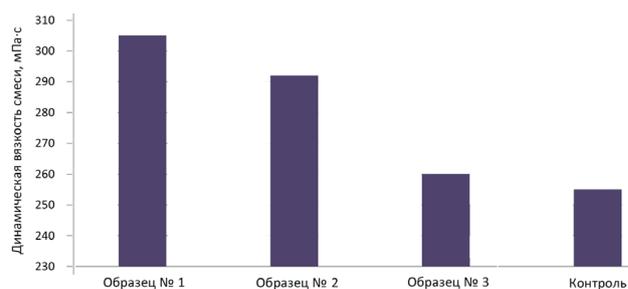


Рисунок 6. Динамическая вязкость смеси в образцах после охлаждения

Figure 6. Dynamic viscosity of the mix in the samples after cooling

Таблица 2. Количественная доля кристаллов льда размером не более 50 мкм

Table 2. Quantitative fraction of ice crystals of ≤ 50 microns in size

Этап исследования	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Контроль
после закаливания	99,0	99,0	98,0	96,0
через 3 месяца хранения	97,0	97,0	96,0	78,0

60 мкм. Следует отметить, что при массовой доле трегалозы 3, 7,5 и 15,5 % дисперсность кристаллов льда не отличается. Отмечается незначительно выраженная тенденция снижения дисперсности кристаллов льда при увеличении массовой доли трегалозы в мороженом. Это также подтверждается измерениями средних размеров кристаллов льда: контроль – 37 мкм, образец № 1 – 24 мкм, образец № 2 – 23 мкм, образец № 3 – 22 мкм.

В таблице 2 представлена количественная доля (%) кристаллов льда размером до 50 мкм в образцах в процессе хранения.

Исследование влияния трегалозы на консистенцию продукта. Учитывая положительное влияние трегалозы на дисперсность кристаллов льда, исследовали ее влияние на взаимосвязанный показатель – консистенцию.

К показателям, оказывающим влияние на консистенцию мороженого, относятся эффективная динамическая вязкость смеси, взбитость мороженого при выгрузке его из фризера и дисперсность воздушной фазы.

На рисунке 6 представлены показатели динамической вязкости смеси после приготовления и охлаждения до температуры созревания 4 ± 2 °C при градиенте сдвига на срез $0,83 \text{ c}^{-1}$.

Полученные данные свидетельствуют о тенденции увеличения динамической вязкости при использовании трегалозы для полной и частичной замены сахарозы. По мере увеличения количества вносимой трегалозы и уменьшения массовой доли сахарозы вязкость смеси для мороженого увеличивается. В образце № 3 (3 % трегалозы) значение показателя вязкости на уровне этого показателя в контрольном образце (15,5 % сахарозы). В образцах № 2 (7,5 % трегалозы) и № 1 (15,5 %

трегалозы) вязкость увеличивается в 1,1 и 1,2 раза соответственно по сравнению с контрольным образцом.

Поскольку молекулярная масса трегалозы и сахарозы находится на одном уровне, то замена одного компонента другим не вносит изменений в технологические режимы работы оборудования при фризеровании. Мороженое выгружалось при температуре от $-5,2$ до $-5,5$ °C. Взбитость мороженого после фризирования в образце № 1 составила 118 %, в № 2 – 92,5 %, в № 3 – 68 % и в контроле – 94 %. При изготовлении мороженого использовался фризёр периодического действия без принудительной подачи воздуха под давлением, как и во фризерах непрерывного действия. Следует отметить, что в

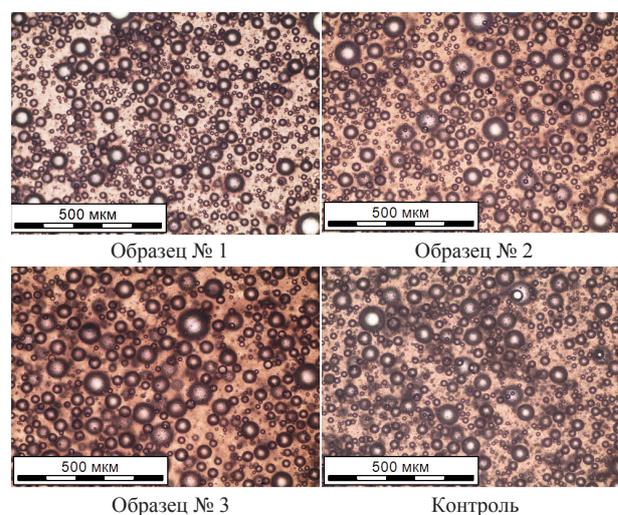


Рисунок 7. Микрофотографии состояния воздушной фазы в мороженом после закаливания

Figure 7. Micrographs of the air phase in ice cream after hardening

Таблица 3. Количественная доля воздушных пузырьков размером не более 50 мкм

Table 3. Quantitative fraction of air bubbles of ≤ 50 microns in size

Этап исследования	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Контроль
после закаливания	99,0	98,0	94,0	96,0
через 3 месяца хранения	93,0	86,0	88,0	77,0

образцах только с одним дисахаридом взбитость выше, чем при их совместном использовании. В образце, где соотношение трегалозы и сахарозы 1:1, взбитость выше в 1,4 раза, чем в образце с содержанием трегалозы 3 % и сахарозы 12,5 %. При выгрузке из фризера мороженое только с трегалозой более плотное и менее пластичное при фасовании.

Способность к насыщению воздухом упала в образце № 3. Можно предположить, что композиция трегалозы (3 %) и сахарозы (12,5 %) оказывает отрицательное воздействие на способность снижать поверхностное натяжение на границе раздела фаз «воздух-плазма». Это привело к потере системой способности к насыщению воздухом.

Помимо динамической вязкости и взбитости, на консистенцию мороженого оказывает влияние дисперсность воздушной фазы. Насыщение воздухом происходит на стадии фризирования продукта, как и первичное зарождение кристаллов льда. Поэтому можно говорить о взаимосвязи этих процессов.

На рисунке 7 приведены микрофотографии воздушных пузырьков после закаливания образцов.

Как видно на фотографиях, наиболее крупные пузырьки в образце № 3. Это также подтверждается измерением среднего диаметра воздушных пузырьков. В образцах № 1 и № 2 он составил 15 мкм, в образце № 3 – 21 мкм, в контроле – 16 мкм. Стоит отметить, что через 3 месяца хранения средний диаметр в образцах № 1 и № 2 увеличился в 1,4 и 1,7 раза соответственно, в образце № 3 – 1,3 раза, в контроле – в 1,9 раза. Таким образом, по дисперсности воздушной фазы наиболее стабилен образец № 3. Это обусловлено его наименьшей взбитостью.

В таблице 3 представлена количественная доля (%) воздушных пузырьков размером до 50 мкм в течение 3 месяцев хранения

Следует отметить, что через 3 месяца хранения максимальная дисперсность воздушной фазы отмечена в образце № 1 с 15,5 % трегалозы, а наименьшая дисперсность у контрольного образца. Различия между ними составили 17 %. В образцах с частичной заменой сахарозы на трегалозу дисперсность воздушной фазы не отличается. Расхождения между ними на уровне 2 %.

Стоит отметить, что мелкие кристаллы льда в процессе хранения оказывают меньшее воздействие на дисперсность воздушной фазы.

Таким образом, внесение в мороженое трегалозы в количестве 15,5 %, 7 % и 3 % положительно сказывается на дисперсности воздушной фазы.

Выводы

В результате исследования влияния полной и частичной замены сахарозы трегалозой с целью повышения дисперсности кристаллов льда в мороженом с низкой массовой долей жира и сухих веществ установлено:

– использование трегалозы в количестве не менее, чем 3 % для замены сахарозы приводит к заметному повышению дисперсности кристаллов льда и ее сохранению в процессе хранения продукта. Значительная часть кристаллов льда характеризуется размером – не более 45 мкм при пороге органолептической оскутмости не более 50 мкм;

– замена сахарозы на трегалозу оказывает положительное влияние на консистенцию мороженого: по сравнению с показателями контрольного образца в образце с массовой долей трегалозы 15,5 % динамическая вязкость выше в 1,2 раза, содержание воздушных пузырьков размером менее 50 мкм увеличилось почти на 20 %.

Проведенные исследования показывают целесообразность полной или частичной замены сахарозы на трегалозу в производстве мороженого функциональной направленности (с низким содержанием жира и сахарозы).

Критерии авторства

А. В. Ландиховская – обзор литературы, проведение и обработка результатов экспериментальных исследований. А. А. Творогова – постановка и научное руководство исследованиями. Н. В. Казакова – методология экспериментальных исследований. И. А. Гурский – микроструктурные исследования кристаллов льда.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Выражаем благодарность компании ООО «Торгснаб» за предоставленную трегалозу для проведения исследования.

Contribution

A.V. Landikhovskaya reviewed scientific sources, conducted the experimental studies, and processed the results. A.A. Tvorogova acted as scientific advisor, defined the research objectives, and stated the problem. N.V. Kazakova developed the experimental research methodology. I.A. Gursky performed the microstructural studies of ice crystals.

Conflict of interest

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

Acknowledgments

We would like to express our sincere gratitude to LLC Torgsnab for the trehalose provided for the study.

Список литературы

1. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы / В. М. Коденцева, О. А. Вржесинская, Д. В. Рисник [и др.] // Вопросы питания. – 2017. – Т. 86, № 4. – С. 113–124.
2. Сандракова, И. В. Исследование потребителей продуктов здорового питания / И. В. Сандракова, И. Ю. Резниченко // Практический маркетинг. – 2019. – Т. 274, № 12. – С. 22–27.
3. O'Sullivan, M. G. Reduced-fat products and challenges / M. G. O'Sullivan // Salt, fat and sugar reduction / M. G. O'Sullivan. – Woodhead Publishing, 2020. – P. 63–96. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819741-7.00003-1>.
4. Совершенствование композиционного состава и структуры молочного мороженого / А. А. Творогова, Т. В. Коновалова, А. В. Ландиховская [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2018. – Т. 48, № 2. – С. 109–116. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-109-116>.
5. Ice cream: uses and method of manufacture / S. S. Deosarkar, C. D. Khedkar, S. D. Kalyankar [et al.] // Encyclopedia of food and health / B. Caballero, P. M. Finglas, F. Toldra. – Academic Press, 2016. – P. 391–397. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00384-6>.
6. Hartel, R. W. *A 100-Year Review: Milestones in the development of frozen desserts* / R. W. Hartel, S. A. Rankin, R. L. Bradley // Journal of Dairy Science. – 2017. – Vol. 100, № 12. – P. 10014–10025. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13278>.
7. Olsson, C. Structural comparison between sucrose and trehalose in aqueous solution / C. Olsson, J. Swenson // Journal of Physical Chemistry B. – 2020. – Vol. 124, № 15. – P. 3074–3082. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b09701>.
8. Ohtake, S. Trehalose: current use and future applications / S. Ohtake, Y. J. Wang // Journal of Pharmaceutical Sciences. – 2011. – Vol. 100, № 6. – P. 2020–2053. DOI: <https://doi.org/10.1002/jps.22458>.
9. Water mobility in the dehydration of crystalline trehalose / F. Sussich, C. E. Skopec, J. W. Brady [et al.] // Food Chemistry. – 2010. – Vol. 122, № 2. – P. 388–393. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.014>.
10. Soukoulis, C. Contribution of thermal, rheological and physical measurements to the determination of sensorially perceived quality of ice cream containing bulk sweeteners / C. Soukoulis, E. Rontogianni, C. Tzia // Journal of Food Engineering. – 2010. – Vol. 100, № 4. – P. 634–641. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.05.012>.
11. Lammert, A. M. Water activity and solubility of trehalose / A. M. Lammert, S. J. Schmidt, G. A. Day // Food Chemistry. – 1998. – Vol. 61, № 1–2. – P. 139–144. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(97\)00132-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(97)00132-5).
12. Liu, J. Protective mechanisms of α,α -trehalose revealed by molecular dynamics simulations / J. Liu, C. Chen, W. Li // Molecular Simulation. – 2017. – Vol. 44, № 2. – P. 100–109 DOI: <https://doi.org/10.1080/08927022.2017.1342126>.
13. Effect of trehalose on the glass transition and ice crystal growth in ice cream / A. P. Whelan, A. Regand, C. Vega [et al.] // International Journal of Food Science and Technology. – 2008. – Vol. 43, № 3. – P. 510–516. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01484.x>.
14. Walmagh, M. Trehalose analogues: Latest insights in properties and biocatalytic production / M. Walmagh, R. Zhao, T. Desmet // International Journal of Molecular Sciences. – 2015. – Vol. 16, № 6. – P. 13729–13745. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms160613729>.
15. Кудряшов, Л. С. Применение фосфатов и трегалозы при производстве колбас из PSE свинины / Л. С. Кудряшов, О. А. Кудряшова // Индустрия питания. – 2017. – Т. 2, № 1. – С. 38–44.
16. Trehalose as a cryoprotectant in freeze-dried wheat sourdough production / R. F. Stefanello, A. A. R. Machado, C. Pasqualin Cavalheiro [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2018. – Vol. 89. – P. 510–517. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.011>.
17. Insights into ice-growth inhibition by trehalose and alginate oligosaccharides in peeled Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during frozen storage / B. Zhang, H.-J. Cao, H.-M. Lin [et al.] // Food Chemistry. – 2019. – Vol. 278. – P. 482–490. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.087>.
18. Goff, H. D. The structure and properties of ice cream and frozen desserts / H. D. Goff // Encyclopedia of food chemistry / L. Melton, F. Shahidi, P. Varelis. – Elsevier, 2019. – P. 47–54. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21703-4>.
19. Sitnikova, P. B. Physical changes in the structure of ice cream and frozen fruit desserts during storage / P. B. Sitnikova, A. A. Tvorogova // Food Systems. – 2019. – Vol. 2, № 2. – P. 31–35. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-31-35>.

References

1. Kodentsova VM, Vrzhesinskaya OA, Risnik DV, Nikityuk DB, Tutelyan VA. Micronutrient status of population of the russian federation and possibility of its correction. State of the problem. Problems of Nutrition. 2017;86(4):113–124. (In Russ.).

2. Sandrakova IV, Reznichenko IYu. Health food consumers research. Practical Marketing. 2019;274(12):22–27.
3. O’Sullivan MG. Reduced-fat products and challenges. In: O’Sullivan MG, editor. Salt, fat and sugar reduction. Woodhead Publishing; 2020. pp. 63–96. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819741-7.00003-1>.
4. Tvorogova AA, Shobanova TV, Landikhovskaya AV, Zakirova RR. Milk ice cream composition and structure improvement. Food Processing: Techniques and Technology. 2018;48(2):109–116. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-109-116>.
5. Deosarkar SS, Khedkar CD, Kalyankar SD, Sarode AR. Ice cream: uses and method of manufacture. In: Caballero B, Finglas PM, Toldra F, editors. Encyclopedia of food and health. Academic Press; 2016. pp. 391–397. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00384-6>.
6. Hartel RW, Rankin SA, Bradley RL. A 100-Year Review: Milestones in the development of frozen desserts. Journal of Dairy Science. 2017;100(12):10014–10025. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13278>.
7. Olsson C, Swenson J. Structural comparison between sucrose and trehalose in aqueous solution. Journal of Physical Chemistry B. 2020;124(15):3074–3082. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b09701>.
8. Ohtake S, Wang YJ. Trehalose: current use and future applications. Journal of Pharmaceutical Sciences. 2011;100(6):2020–2053. DOI: <https://doi.org/10.1002/jps.22458>.
9. Sussich F, Skopec CE, Brady JW, Cesaro A. Water mobility in the dehydration of crystalline trehalose. Food Chemistry. 2010;122(2):388–393. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.014>.
10. Soukoulis C, Rontogianni E, Tzia C. Contribution of thermal, rheological and physical measurements to the determination of sensorially perceived quality of ice cream containing bulk sweeteners. Journal of Food Engineering. 2010;100(4):634–641. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.05.012>.
11. Lammert AM, Schmidt SJ, Day GA. Water activity and solubility of trehalose. Food Chemistry. 1998;61(1–2):139–144. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(97\)00132-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(97)00132-5).
12. Liu J, Chen C, Li W. Protective mechanisms of α,α -trehalose revealed by molecular dynamics simulations. Molecular Simulation. 2017;44(2):100–109 DOI: <https://doi.org/10.1080/08927022.2017.1342126>.
13. Whelan AP, Regand A, Vega C, Kerry JP, Goff HD. Effect of trehalose on the glass transition and ice crystal growth in ice cream. International Journal of Food Science and Technology. 2008;43(3):510–516. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01484.x>.
14. Walmagh M, Zhao R, Desmet T. Trehalose analogues: Latest insights in properties and biocatalytic production. International Journal of Molecular Sciences. 2015;16(6):13729–13745. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms160613729>.
15. Kudryashov LS, Kudryashova OA. The phosphate and trehalose use in the sausages production from PSE pork. Food Industry. 2017;2(1):38–44. (In Russ.).
16. Stefanello RF, Machado AAR, Pasqualin Cavalheiro C, Bartholomei Santos ML, Nabeshima EH, Copetti MV, et al. Trehalose as a cryoprotectant in freeze-dried wheat sourdough production. LWT – Food Science and Technology. 2018;89:510–517. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.011>.
17. Zhang B, Cao H-J, Lin H-M, Deng S-G, Wu H. Insights into ice-growth inhibition by trehalose and alginate oligosaccharides in peeled Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during frozen storage. Food Chemistry. 2019;278:482–490. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.087>.
18. Goff HD. The structure and properties of ice cream and frozen desserts. In: Melton L, Shahidi F, Varelis P, editors. Encyclopedia of food chemistry. Elsevier; 2019. pp. 47–54. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21703-4>.
19. Sitnikova PB, Tvorogova AA. Physical changes in the structure of ice cream and frozen fruit desserts during storage. Food Systems. 2019;2(2):31–35. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-31-35>.

Сведения об авторах

Ландиховская Анна Валентиновна

аспирант, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности, 127422, Россия, г. Москва, ул. Костякова, 12, тел.: +7 (495) 610-83-85, e-mail: anna.landih@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5881-2309>

Творогова Антонина Анатольевна

д-р техн. наук, заместитель директора, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности, 127422, Россия, г. Москва, ул. Костякова, 12, тел.: +7 (495) 610-83-85, e-mail: antvorogova@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7293-9162>

Information about the authors

Anna V. Landikhovskaya

Postgraduate Student, Junior Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry, 12, Kostyakova Str., Moscow, 127422, Russia, phone: +7 (495) 610-83-85, e-mail: anna.landih@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5881-2309>

Antonina A. Tvorogova

Dr.Sci.(Eng.), Deputy Director, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry, 12, Kostyakova Str., Moscow, 127422, Russia, phone: +7 (495) 610-83-85, e-mail: antvorogova@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7293-9162>

Казакова Наталия Владимировна

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности, 127422, Россия, г. Москва, ул. Костякова, 12, тел.: +7 (495) 610-83-85, e-mail: kazakova-n-v@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2963-6294>

Natalia V. Kazakova

Cand.Sci.(Eng.), Leading Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry, 12, Kostyakova Str., Moscow, 127422, Russia, phone: +7 (495) 610-83-85, e-mail: kazakova-n-v@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2963-6294>

Гурский Игорь Алексеевич

инженер-исследователь, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности, 127422, Россия, г. Москва, ул. Костякова, 12, тел.: +7 (495) 610-83-85, e-mail: lixrug@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8177-3472>

Igor A. Gursky

Research Engineer, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry, 12, Kostyakova Str., Moscow, 127422, Russia, phone: +7 (495) 610-83-85, e-mail: lixrug@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8177-3472>

Исследование иммобилизации полифенолов овсяных отрубей в комплексные коацерваты сывороточного белка и мальтодекстрина

Д. Р. Зяйнитдинов, А. В. Евтеев^{ORCID}, А. В. Банникова*^{ORCID}



Дата поступления в редакцию: 01.06.2020
Дата принятия в печать: 28.08.2020

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова»,
410012, Россия, г. Саратов, Театральная площадь, 1

*e-mail: annbannikova@gmail.com



© Д. Р. Зяйнитдинов, А. В. Евтеев, А. В. Банникова, 2020

Аннотация.

Введение. Инкапсулирование является эффективной технологией защиты биологически активных ингредиентов во время обработки и хранения и предотвращает возможное взаимодействие с другими компонентами пищи.

Объекты и методы исследования. Технология биотрансформации овсяных отрубей основывалась на ультразвуковой обработке и ферментативном гидролизе. Для приготовления микрокапсул растворы сывороточного белкового концентрата (СБК) и мальтодекстрина (МД) смешивали в соотношениях 6:4, 4:6 и 5:5. Затем смеси обрабатывали ультразвуком и 10 % (мас./мас.) раствора гуаровой камеди в качестве материала двойной стенки.

Результаты и их обсуждение. Показано, что количество феруловой кислоты основного антиоксиданта зерновых культур при ультразвуковом воздействии составляет 9,2 мг/мл, при ферментативном методе экстракции – 9,0 мг/мл, при химическом – 8,6 мг/мл. Антиоксидантная активность полученных полифенолов (до 921 у.е.а./мл) зависит от концентрации препарата в растворе и метода экстракции. Подтверждено, что полифенолы, полученные с помощью применения ультразвукового воздействия и ферментных препаратов, обладают более выраженной антиоксидантной активностью. Для защиты чувствительных к условиям внешней среды полифенолов была исследована возможность их инкапсуляции в коацерваты СБК и МД в различных соотношениях. Самая высокая эффективность инкапсуляции (95,28 %) была зафиксирована при соотношении СБК:МД = 60:40. Для изучения влияния структурных характеристик капсул на кинетику высвобождения полифенолов был использован протокол ферментативного гидролиза *in vitro*, имитирующий переваривание в желудочно-кишечном тракте. Процент высвобождения полифенолов из капсул варьировался от 70 до 83 % после 2 ч переваривания, что подтверждает эффективность технологии микрокапсулирования.

Выводы. Подтверждена возможность использования полифенолов, полученных биотехнологическим методом из овсяных отрубей, в качестве функциональных ингредиентов. Это позволит использовать их в новых продуктах с бифидогенными свойствами. Доказано, что сывороточный белок может быть использован для инкапсуляции полифенолов в качестве материала стенки микрокапсул.

Ключевые слова. Зерновые продукты, фенольные соединения, инкапсулирование, комплексная коацервация, альбумин, глобулин, декстрины, ферментативный гидролиз, *in vitro*

Финансирование. Исследование финансировалось Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) по Гранту Президента РФ для поддержки молодых ученых докторов наук (МД-1551.2020.11).

Для цитирования: Зяйнитдинов, Д. Р. Исследование иммобилизации полифенолов овсяных отрубей в комплексные коацерваты сывороточного белка и мальтодекстрина / Д. Р. Зяйнитдинов, А. В. Евтеев, А. В. Банникова // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 460–469. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-460-469>.

Original article

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

Immobilization of Oat Bran Polyphenols in Complex Coacervates of Whey Protein and Malthodextrin

Damir R. Zyaitdinov, Alexandr V. Ewteew^{ORCID}, Anna V. Bannikova*^{ORCID}

Received: June 01, 2020
Accepted: August 28, 2020

Vavilov Saratov State Agrarian University,
1, Teatralnaya square, Saratov, 410012, Russia

*e-mail: annbannikova@gmail.com



© D.R. Zyaitdinov, A.V. Ewteew, A.V. Bannikova, 2020

Abstract.

Introduction. Bioactive compounds are a very popular topic of modern food science, especially when it concerns obtaining polyphenols from cereals. The antiradical, antioxidant, and anti-inflammatory properties of these ingredients allow them to inhibit and prevent coronary, artery, and cardiovascular diseases, as well as several types of cancer. Encapsulation is an effective technology that protects bioactive ingredients during processing and storage. In addition, it also prevents any possible interaction with other food constituents. The research objective was to obtain effective tools of controlled delivery of bioactive compounds. The study featured whey protein as a wall material in combination with maltodextrin to encapsulate the bioactives from oat bran.

Study objects and methods. The processed material was oat bran. The technology of its biotransformation was based on ultrasound processing and enzymatic hydrolysis. The antioxidant properties were determined using a coulometer of Expert – 006-antioxidants type (Econix-Expert LLC, Moscow, Russia). Separation and quantitative determination of extract were followed using a Stayer HPLC device (Akvilon, Russia) and a system column Phenomenex Luna 5u C18(2) (250×4.6 mm). The total phenolic content was measured by a modified Folin-Ciocalteu method. To prepare microcapsules, whey protein concentrate (WPC) and maltodextrin (MD) solutions were mixed at ratios 6:4, 4:6, and 5:5. After that, the mixes were treated by ultrasonication and 10% w/w of guar gum solution as double wall material. The encapsulation efficiency (EE) was determined as a ratio of encapsulated phenolic content to total phenolic content. A digestion protocol that simulates conditions of the human gastric and intestinal tract was adapted to investigate the release kinetics of the extracts.

Results and discussion. Ferulic acid is the main antioxidant in cereals. Its amount during extraction was consistent with published data: 9.2 mg/mL after ultrasound exposure, 9.0 mg/mL after enzymatic extraction, and 8.6 mg/mL after chemical treatment. The antioxidant activity of the obtained polyphenols was quite high and reached 921 cu/mL. It depended on the concentration of the preparation in the solution and the extraction method. The polyphenols obtained by ultrasonic exposure and enzyme preparations proved to have a more pronounced antioxidant activity. The highest EE (95.28%) was recorded at WPC:MD ratio of 60:40. In vitro enzymatic hydrolysis protocol simulating digestion in the gastrointestinal tract was used to study the effect of capsule structural characteristics on the kinetics of polyphenol release. The percentage of o polyphenols released from capsules ranged from 70% to 83% after two hours of digestion, which confirmed the effectiveness of microencapsulation technology.

Conclusion. The research confirmed the possibility of using polyphenols obtained by the biotechnological method from oat bran as functional ingredients. Eventually, they may be used in new functional products with bifidogenic properties. Whey protein can be used to encapsulate polyphenols as the wall material of microcapsules.

Keywords. Cereals, phenolic compounds, encapsulation, complex coacervation, albumin, globulin, dextrans, enzymatic hydrolysis, *in vitro*

Funding. The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka) as part of the Grant of the President of the Russian Federation for young Doctors of Science (No. MD-1551.2020.11).

For citation: Z yaitdinov DR, Ewteew AV, Bannikova AV. Immobilization of Oat Bran Polyphenols in Complex Coacervates of Whey Protein and Malthodextrin. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):460–469. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-460-469>.

Введение

Значительная часть вторичных ресурсов зерновых культур сегодня не подвергается дальнейшей переработке. Структура и особенности химического состава позволяют данному сырью служить ценным источником необходимых для различных отраслей промышленности ингредиентов. Ежегодно в нашей стране образуется около пяти миллионов тонн вторичных зерновых ресурсов. Их полная переработка может способствовать возврату в промышленность огромных объемов сырья и повышению эффективности сельскохозяйственного производства. Если при традиционной обработке зерна стоимость конечной продукции возрастает в полтора раза, по сравнению с исходным материалом, то при глубокой переработке – в семь раз.

Фитонутриенты зерновых, включающие фенольные кислоты, флавоноиды, кумарины, полифенолы, фитаты, терпены, каротиноиды, токоферолы и токотриенолы, являются антиоксидантами. Эти соединения способствуют улучшению здоровья человека, благодаря способностям к акцептированию

свободных радикалов, комплексообразованию переходных металлов, подавлению активности атомарного кислорода, высоким восстановительным свойствам, а также защите ферментной системы активаторов биологических систем. Полифенолы связывают молекулы свободного железа, значительно уменьшая его количество, участвующего в окислительных реакциях и влияющего на скорость канцерогенеза [1]. Антиоксидантное действие полифенолов было признано на различных экспериментальных моделях инфаркта, пневмонии и язвы желудка. Защитная роль фенольных соединений против перекисного окисления липидов толстой кишки, связанного с высоким уровнем активного железа, была доказана экспериментальными исследованиями на крысах, мышах и свиньях [5, 6].

Известна способность многих полифенолов действовать в качестве агентов, стимулирующих работу мозга и сердца, предотвращающих или тормозящих образование раковых опухолей, укрепляющих кровеносные сосуды, а также их применение в качестве биологически активных

добавок в лечебном и диетическом питании [4]. Кроме этого, активность полифенолов в кишечнике, направленная на ингибирование расщепления крахмала, может снижать потребляемую калорийность. Это актуально в рамках разработки новых технологий для диабетического и низкокалорийного питания. Однако биодоступность полифенолов в пищевых продуктах не была должным образом исследована [11].

Биодоступность микронутриента характеризуется его химическим составом, временем прохождения пищи через кишечник, вязкостью и эмульсионными характеристиками продукта, формой микронутриента, которая определяет скорость и степень его всасывания, стабильностью в желудке и кишечнике при переваривании и метаболической функциональностью, т. е. легкостью превращения в метаболически активные или коферментные формы, а также взаимодействием между микронутриентом и другими микро- и макрокомпонентами пищевой системы [12–14, 16]. Взаимодействие микро- и макронутриентов может не только оказывать прямое разрушающее или инактивирующее воздействие, но и оказывать косвенное влияние путем снижения степени всасывания микронутриента в кишечнике [10, 11, 15, 17]. Анализ литературных источников показывает, что эффективное решение проблемы повышения усвояемости микронутриентов состоит в использовании технологий инкапсуляции [2, 3, 10–17].

Это исследование направлено на получение микрокапсул сывороточного белка – мальтодекстрина – методом комплексной коацервации с целью их использования в качестве материала стенки для полифенолов из овсяных отрубей. В статье изучена возможность решения проблемы химической стабильности полифенолов в желудочно-кишечном тракте человека. Эта работа направлена на адаптацию комплексной коацервации фенольных экстрактов и изучение их стабильности *in vitro* в тесной взаимосвязи между структурными свойствами полимерного носителя и высвобождением биологически активного соединения.

Объекты и методы исследования

Овсяные отруби сорта «Тюменский голозерный» оценивались по нормативно-технической документации на их качество и безопасность.

В работе использовались ферментные препараты «Sigma Aldrich»: α -амилаза из *Bacillus subtilis* (2000 ед/г), глюкоамилаза из *Aspergillus awamori* (6000 ед/г), протеаза из *Bacillus subtilis* (70 ед/г), фермент, разрушающий клеточную стенку, *Viscozyme L* из *Aspergillus sp.*, лизирующий фермент из *Aspergillus sp.* с рядом активностей (β -глюканаза – 100 ед/г, ксиланаза – 50 ед/г, целлюлаза – 70 ед/г, пектинэстераза – 40 ед/г и ферулоэстераза).

Концентрат сывороточного белка (СБК) поставлялся компанией Interfood Rusmol (Новая Зеландия). Порошок содержал 77 % белка, 6 % углеводов, 7 % жира. Мальтодекстрин (МД) был от Foodchem Ltd. (Китай). Значение DE составляет 15–20, 6 % влажности, рН 5 % раствора составляет 4,0–6,0. Аналитические реагенты: хлорид кальция, хлорид натрия, соляная кислота, одноосновный фосфат калия (BDH Chemicals, Poole, Англия); соли желчных кислот, панкреатин (6000 U) и пепсин (3600 U) (Aventis Farm Ltd., Индия).

Получение концентратов ксилоолигосахаридов (КОС) и полифенолов осуществляли согласно протоколу, описанному ранее [19, 20]. Экстракция включала основные этапы, повторяющиеся трижды: гомогенизацию измельченных отрубей, обработку ферментными препаратами «Амиллюкс А» – α -амилазой, «Глюколюкс А» – глюкоамилазой, «Целлолюкс А», «Амиллюкс А», «Глюкаварин Г18Х или ультразвуковое воздействие (УЗВ, 35 кГц, 30 мин, при 50 °С), термостатирование (55 °С в течение 3,5 ч) и центрифугирование (4000 об/мин в течение 20 мин). Концентрат биологически активных веществ (БАВ) был получен путем объединения и концентрирования супернатантов второй и третьей стадий экстракции при температуре 60 ± 5 °С в разряженной среде до конечной влажности 30 ± 2 %.

Для получения концентрата полифенолов и КОС проводили спиртовую экстракцию полученного концентрата БАВ, концентрирование до конечной влажности 30 ± 1 % и лиофильную сушку до конечной влажности 8 ± 1 %. Внешний вид концентратов полифенолов и КОС: мелко кристаллический порошок светло-желтого либо светло-коричневого цвета с ванильно-зерновым запахом [20].

Для определения суммы фенольных соединений анализируемого образца неизвестного состава измеренное светопоглощение пересчитывали в единицы концентрации по градуировочному графику, полученному для стандартного полифенола, например, кверцетина. Полученный результат является усредненным аналитическим откликом всех фенольных соединений, содержащихся в объекте анализа. Общее содержание полифенолов определяли с помощью реактива Фолина-Чокальтеу. В колбе на 25 мл смешивали исследуемый раствор, 0,3 мл реактива, 3 мл 20 % мас. Na_2CO_3 , доводили объем до метки. Светопоглощение растворов измеряли через 20 мин при 720 нм. Спектры поглощения в УФ и видимой областях измеряли при помощи спектрофотометра СФ-26 [19].

Антиоксидантную активность определяли на кулонометре «Эксперт – 006-антиоксиданты», разработанного и серийно выпускаемого НПК ООО «Эконикс-Эксперт» (г. Москва), № 23192-02 в Госреестре СИ РФ. Принцип работы анализатора основан на использовании закона Фарадея,

согласно которому масса анализируемого вещества определяется количеством электричества, израсходованного на проведение реакции. Анализатор регистрирует время электролиза и рассчитывает количество определяемого вещества n , содержащегося во введенной в кулонометрическую ячейку пробе. Величина n прямо пропорционально количеству электричества Q , проходящего через электролит [17, 19]:

$$n = \frac{M * Q}{z * F} = \frac{M * \int I dt}{z * F}$$

где M – молекулярная масса определяемого вещества; I – сила тока, А; t – время электролиза, с; z – количество электронов, переходящих в ходе электродной реакции; F – константа Фарадея ($96485,3415 \pm 0,0039$), Кл/моль.

Качественный и количественный состав фенольных веществ, входящих в концентраты полифенолов из овсяных отрубей, проводили методом ВЭЖХ на хроматографе «Стаер» (Россия, НПО «Аквилон») с использованием обращенно-фазовой колонки Phenomenex Luna 5u C18(2) (250×4.6мм) [17, 19].

Идентификацию веществ в исследуемых экстрактах проводили путем сравнения времени удерживания и спектральных характеристик исследуемых веществ с аналогичными характеристиками стандартов. Спектральные характеристики веществ и степень их сходства со стандартами определяли при 225, 255, 286 и 350 нм. Для точной идентификации или определения принадлежности исследуемых веществ к определенным группам полифенолов использовали следующие внешние стандарты: хлорогеновая, феруловая, галловая, кофейная, 4-гидроксibenзойная и п-кумаровая кислоты.

Приготовление микрокапсул. 10 % СБК растворяли в дистиллированной воде при осторожном магнитном перемешивании при 60–80 °С в течение 30 мин до полного растворения. 10 % МД растворяли в дистиллированной воде при слабом магнитном перемешивании при 50–60 °С в течение 1 ч. СБК и МД смешивали в соотношениях 10:0, 8:2, 6:4, 4:6, 2:8 и при слабом магнитном перемешивании в течение 1 ч. 10 % экстракта КОС и полифенолов добавляли к раствору СБК и МД в соотношении 1:10 и перемешивали с использованием магнитной мешалки (Wisestir MSH-20 D, Корея) в течение 15 мин. Затем смеси обрабатывали ультразвуком при мощности 160 Вт, частоте 20 кГц и импульсе 50 % (Sonic Vibra cell USA). Для обеспечения дополнительной защиты полученных микрокапсул было внесено 0,5 % водного раствора гуаровой камеди (10 %) при постоянном перемешивании. Микрокапсулы были лиофильно высушены до получения однородной порошкообразной массы светло-желтого цвета. Их хранили при температуре +4–6 °С.

Ферментативный гидролиз in vitro. На стадии модельного «желудка» к 25 г капсул добавляли

500 мл подогретого (37 °С) имитированного желудочного сока (2 % раствор NaCl в деионизированной воде, pH 2 (1 М HCl) и 3600 U/мл пепсина). Образцы инкубировали на водяной бане (37 °С) при постоянном встряхивании в течение заданного промежутка времени. По истечении 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 и 120 мин образцы отбирались и промывались деионизированной водой.

На стадии модельного «кишечника» к 20 ± 2 г капсулам, предварительно прошедших стадию модельного «желудка» в течение 2 ч, добавляли 400 мл нагретой (37 °С) имитированной кишечной жидкости (0,68 % одноосновного фосфата калия; 0,1 % солей желчных кислот; 0,4 % панкреатин). Значение pH доводили до 7,5 с помощью 0,5 М NaOH (~ 40 мл). Образцы инкубировали при 37 °С при постоянном встряхивании в течение заданного интервала времени (до 20 мин) [2].

Для определения *содержания фенольных соединений на поверхности капсул* 100 мг микрокапсул диспергировали в 1 мл смеси этанола и метанола (1:1) в течение 1 мин и определяли количественно сумму фенольных соединений [14].

Эффективность инкапсуляции (ЕЕ) представляет собой отношение содержания инкапсулированных фенольных соединений к общему их количеству (TPC). Содержание инкапсулированного фенола определяется путем взятия разности суммы фенольных соединений (TPC) и содержания фенолов на поверхности капсул (SPC). Эффективность инкапсуляции микрокапсул рассчитывали по уравнению [2, 12]:

$$EE = \left(\frac{TPC - SPC}{TPC} \right) \times 100$$

Изображения микрокапсул были получены на просвечивающем электронном микроскопе Zeiss Libra 120.

Результаты и их обсуждение

Качественная характеристика полифенолов из отрубей овса. Большая часть фенольных соединений находится в связанном виде (85 % в зерне кукурузы, 76 % – пшеницы, 75 % – овса, 62 % – риса). Феруловая кислота является основной фенольной кислотой полифенольного состава в зерне овса, на порядки превышая кумаровую, хлорогеновую, галловую и протокатеховую кислоты [4, 9]. Феруловая кислота – это диетический антиоксидант, который может тормозить развитие онкологических и сердечно-сосудистых заболеваний, диабета и болезни Альцгеймера [18]. Литературные данные показывают, что антиоксидантная активность зерновых зависит от профиля антоцианов, фенольных и других соединений. Кроме того, антиоксидантный потенциал зерновых обусловлен их биодоступностью и всасыванием в желудочно-кишечном тракте [9].

Как показано на рисунке 1, количество феруловой кислоты при экстракции согласуется

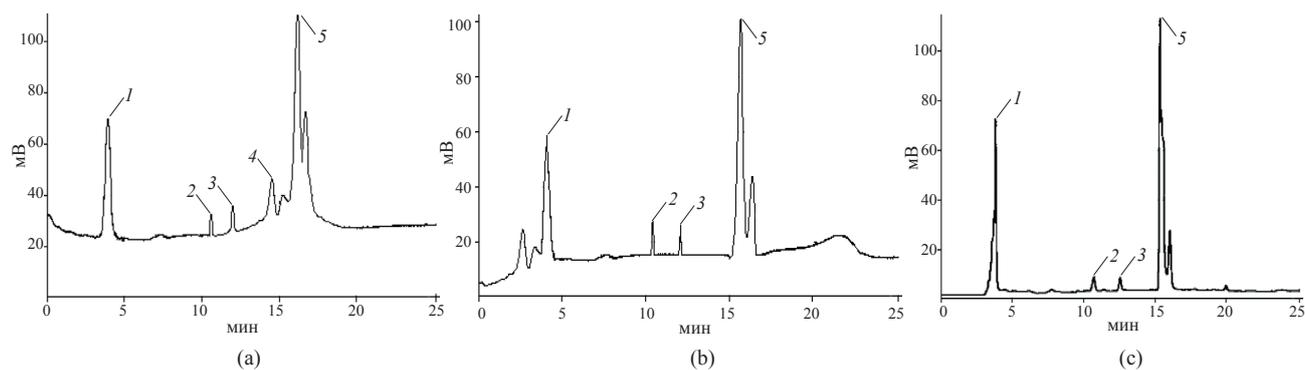


Рисунок 1. Хроматограмма концентрата полифенолов, полученных: (а) с применением УЗВ; (б) химическим; (с) ферментативным методами экстракции: 1 – галловая, 2 – 4-гидроксибензойная, 3 – хлорогеновая, 4 – п-кумаровая, 5 – феруловая кислоты

Figure 1. Chromatogram of the polyphenol concentrate obtained: (a) after ultrasound treatment; (b) after chemical treatment; (c) by enzymatic extraction methods: 1 – gallic acid, 2 – 4-hydroxybenzoic acid, 3 – chlorogenic acid, 4 – p-coumaric acid, 5 – ferulic acid

с литературными данными (9,2 мг/мл при УЗВ воздействии, 9,0 мг/мл при ферментативном методе экстракции, 8,6 мг/мл – при химическом). Однако видно, что выход феруловой кислоты несколько выше при экстракции с помощью УЗВ и ферментных препаратов. Это связано с тем, что при ферментативной обработке под действием УЗВ и ферментов с активностью ксилоназы, целлюлазы и пектинэстеразы происходят процессы гидролитического расщепления полисахаридов, арабиноксилолигосахаридов и частично целлюлозы с выделением связанных полифенолов [4].

Антиоксидантная активность полученных экстрактов достаточно высока и зависит от концентрации полифенолов [19, 20]. Она варьируется в диапазоне от 159 у.е.а./мл при концентрации 5 мг/мл и 1130 у.е.а./мл при 30 мг/мл, что согласуется с данными из литературы. Однако обработка ферментами способствует получению продукта более с высокой антиоксидантной активностью. Антиоксидантная активность концентрата полифенолов с концентрацией 20 мг/мл при экстракции с помощью УЗВ составляет 865 у.е.а./мл, ферментных препаратов 921,1 у.е.а./мл, а при химическом методе – 752,7 у.е.а./мл.

Стабильность и эффективность полифенолов зависит от света, pH, температуры обработки и хранения. Инкапсулирование является одним из известных методов, которое используется для повышения стабильности и срока годности фенольных соединений. Инкапсулирование защищает необходимый компонент от неблагоприятных факторов окружающей среды [2, 3, 10–17]. В этой связи на следующем этапе исследования будет рассмотрен процесс инкапсуляции полифенолов из отрубей овса с использованием комплексов белок-мальтодекстрин.

Изучение инкапсулирования полифенолов из отрубей овса в комплексы белок-мальтодекстрин.

Сывороточные белки (альбумины и глобулины) содержат оптимальный набор жизненно необходимых аминокислот и с точки зрения физиологии питания приближаются к аминокислотной шкале «идеального белка». В нем соотношение аминокислот соответствует потребностям организма, а по содержанию незаменимых аминокислот и аминокислот с разветвленной цепью (валина, лейцина и изолейцина) «идеальный белок» превосходит все остальные белки животного и растительного происхождения. Сывороточные белки стимулируют иммунную систему, повышая уровень инсулиноподобного фактора роста, и понижают содержание холестерина сильнее, чем казеин и соевый белок. Кроме того, сывороточные белки имеют низкий гликемический показатель. Это позволяет оптимизировать выделение инсулина, регулируя уровень глюкозы в крови и тем самым предотвращая возникновение диабета второго типа. Использование сывороточных белков в пищевых технологиях является физиологически обоснованным и приоритетным направлением [12]. В новых технологических решениях белок молочной сыворотки получил широкий интерес в этом отношении благодаря своим функциональным свойствам. Предпочтения использования белка молочной сыворотки включают способность контролировать скорость высвобождения малых молекул с изменением pH через карбоксильные и аммониевые группы в полипептидных цепях, которые регулируют свои протоны до кислой или нейтральной среды [7, 8].

Передовые технологии для успешного использования биологически активных веществ в пищевой промышленности направлены на применение многофункциональной технологии инкапсуляции. Реальным преимуществом инкапсуляции является способность поддерживать высвобожденные включенных ингредиентов и доставлять их для

конкретной цели в течение определенного времени и в определенных условиях. В биомедицинском и фармацевтическом секторе многие синтетические полимеры были успешно использованы в качестве систем доставки, которые не применимы в пищевой промышленности [8].

Ассоциативные взаимодействия между противоположно заряженными макромолекулами белков и полисахаридов в определенных условиях сопровождаются самопроизвольным расслоением системы на две жидкие фазы: фазу с высокой плотностью, обогащенную обоими биополимерами (коацерват), и ее супернатант. Основной движущей силой этого процесса, называемой комплексной коацервацией, являются электростатические взаимодействия. Важным аспектом применения комплексной коацервации является инкапсулирование пищевых ингредиентов. Образующаяся в водной смеси биополимеров коацерватная фаза способна обволакивать диспергированные в той же системе микрочастицы биологически активного вещества тонкой пленкой, образуя капсулы при высушивании [7, 8].

Анализ литературных источников показывает, что существует большое количество примеров инкапсуляции полифенолов с использованием сывороточного белка, способствующей поддержанию антиоксидантной активности экстрактов и возможности их включения в функциональные продукты питания [3, 14, 16]. Использовались различные комбинации материалов стенок капсул (мальтодекстрин/арабийская камедь, мальтодекстрин/желатин, мальтодекстрин/хитозан и

мальтодекстрин/ β -циклодекстрин/арабская камедь) для микрокапсулирования фенольных соединений. Выявлено, что микрокапсулы, полученные с помощью мальтодекстрина и хитозана, показали высокий уровень удержания фенолов (выше 94 %) по сравнению с другими микрокапсулами (между 80 % и 90 %). Кроме того, микрокапсулы с гладкой внешней поверхностью продемонстрировали лучшую защиту фенольных соединений [16]. Микрокапсулы улучшают стабильность фенольных соединений, представляя потенциал для коммерческого применения в нутрицевтических и пищевых продуктах. В настоящей работе исследовался потенциал комплексной коацервации сывороточного белка и мальтодекстрина в рамках защиты и контролируемого высвобождения полифенолов из отрубей овса.

В целях выявления комплексообразования между СБК и МД была использована просвечивающая электронная микроскопия. Кроме этого, данный метод позволит идентифицировать пригодно ли соотношение СБК и МД в качестве материала стенки капсул для инкапсулирования полифенолов и КОС (рис. 2).

Изображения частиц капсул показывают, что капсулы имеют правильную и ровную форму. Было выявлено, что материал стенок микрокапсул при соотношении СБК и МД 60:40 демонстрировал наименьший диаметр частиц (от 321 до 338 нм). Результаты показали, что использование СБК и МД в качестве материала стенки микрокапсул возможно для микрокапсулирования полифенолов и КОС. Это согласуется с результатами, полученными ранее [1, 19, 20].

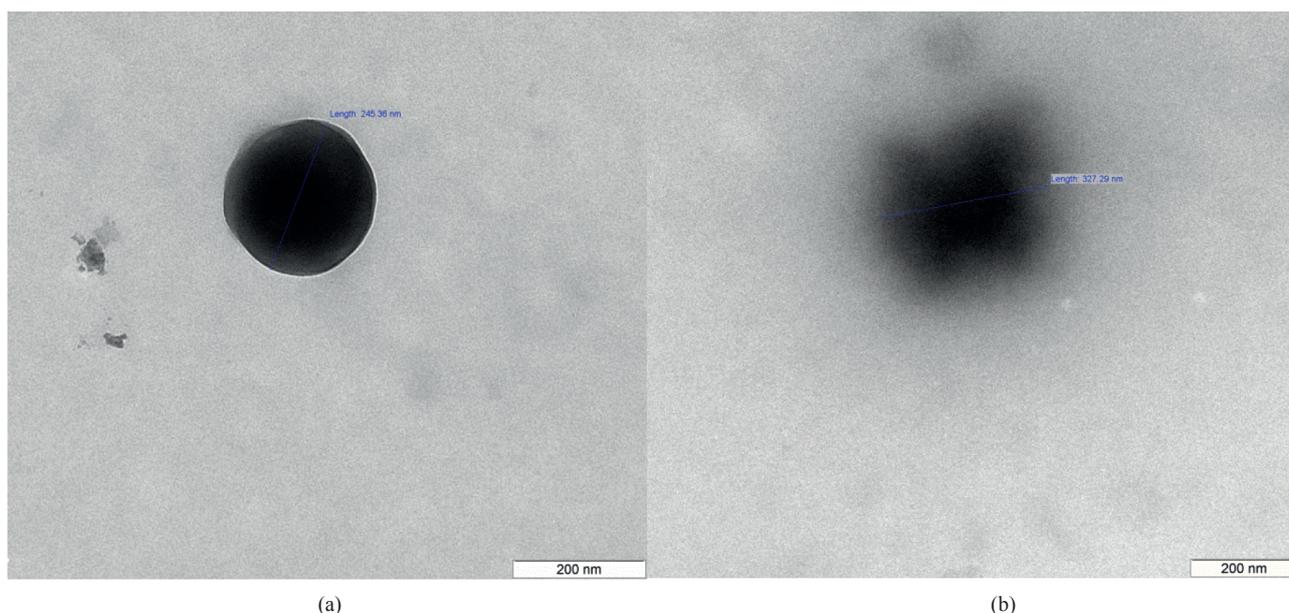


Рисунок 2. Микрофотографии просвечивающего электронного микроскопа лиофилизированных микрокапсул при соотношении СБК:МД (а) 60:40; (б) 40:60

Figure 2. Transmission electron micrographs of lyophilized microcapsules at a WPC:MD ratio of (a) 60:40; (b) 40:60

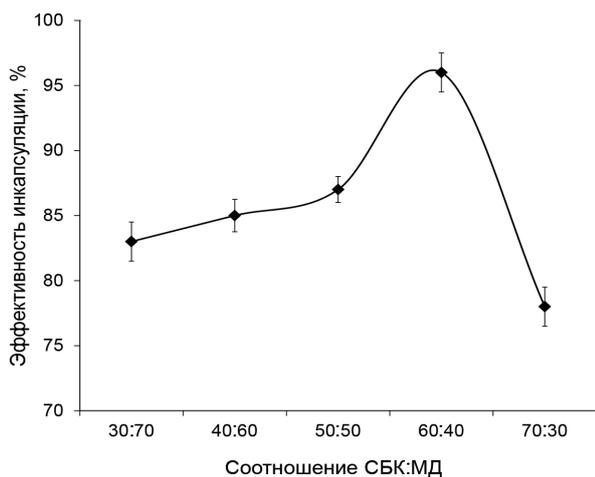


Рисунок 3. Эффективность инкапсуляции при различных соотношениях СБК и МД

Figure 3. Efficiency of encapsulation at various WPC:MD ratios

Эффективность инкапсуляции микрокапсул СБК и МД представлена на рисунке 3. Результаты данного исследования не выявили значительных изменений в данном показателе у всех образцов. Однако самый высокий показатель ЭИ, равный 95,3 %, был зафиксирован при соотношении СБК:МД в 60:40. L. Mihalcea с соавторами и F. M. Ursache с соавторами изучали стабилизацию каротиноидов микроинкапсулированием с использованием изолята сывороточного белка в качестве материала стенки [10, 16]. Эффективность инкапсуляции в обеих работах варьировалась от 41 % до 56 %, что значительно ниже полученных результатов.

Как видно на рисунке 4, процент высвобождения из микрокапсул полифенолов составлял от 70 до 83 % после 2 ч процесса ферментативного гидролиза *in vitro*. В ходе инкапсулирования меньшее количество полифенолов остается на поверхности. Наблюдалась значительная ($P > 0,05$) разница между содержанием поверхностных полифенолов в смеси, имеющей СБК в качестве основного материала стенок. Это означает, что присутствие МД улучшило эффективность СБК как носителя полифенольных компонентов.

Показано, что высвобождение полифенолов из капсул было наименее выраженным в первые 2 ч ферментативного гидролиза (т. е. фаза «искусственного желудка»), что связано с многослойностью их получения и усилением способности противостоять кислой среде. Однако образцы, содержащие СБК:МД в соотношении 60:40, были наименее стабильными, сохраняя минимальное количество биологически активных веществ в матрице. Это связано с выраженным эффектом денатурации белковой молекулы. Данные также показывают, что максимальное высвобождение было достигнуто в условиях, имитирующих кишечник, т. е. после 120 мин экспериментов, подчеркивая

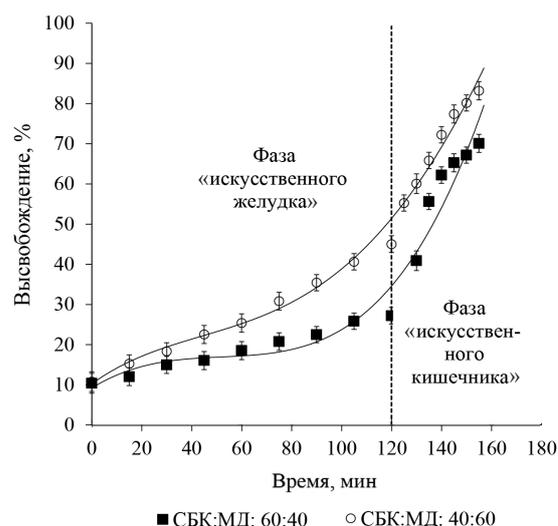


Рисунок 4. Процент полифенолов, высвобождаемых из микрокапсул СБК:МД при различных соотношениях в ходе процесса ферментативного гидролиза *in vitro*

Figure 4. Percentage of polyphenols released from WPC:MD microcapsules at different ratios during the *in vitro* enzymatic hydrolysis process

структурную стабильность всех капсул на желудочной стадии.

Выводы

В ходе работы проведено исследование иммобилизации концентрата полифенолов в коацерваты сывороточного белкового концентрата и мальтодекстрина. Изучены свойства полифенолов, полученные биотехнологическим методом из отрубей овса. Выявлено, что феруловая кислота является основной фенольной кислотой полифенольного состава полученного экстракта, выход которой выше при экстракции с помощью УЗВ и ферментных препаратов. Показано, что сывороточный белок, считающийся отходом производства сыра, может быть использован для инкапсуляции полифенолов в качестве материала стенки. Впервые было выявлено, что комбинация СБК и МД в соотношении 60:40 показала лучшие значения эффективности инкапсуляции. Кроме этого, капсулы, стенки которых имели данную комбинацию, показали наибольшее высвобождение полифенолов в режиме имитируемого желудочно-кишечного тракта человека после 120 мин. Была подтверждена возможность биотехнологии овсяных отрубей для получения функциональных ингредиентов, что позволит использовать их в новых продуктах с бифидогенными свойствами. В будущем будут учтены вопросы о взаимосвязях между структурными компонентами матриц, дано теоретическое обоснование инкапсуляции и изучено влияние на организм лабораторных животных.

Критерии авторства

Д. Р. Зяйнитдинов – получение экспери-

ментальных данных, обработка данных, написание и подготовка рукописи. А. В. Евтеев – получение экспериментальных данных, методология, программное обеспечение, валидация. А. В. Банникова – руководство, написание, рецензирование и редактирование.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

D.R. Zaynitdinov was responsible for obtaining and processing the experimental data and prepared the manuscript. A.V. Evteev performed the experiments, developed the methodology, provided software, and conducted the final validation. A.V. Bannikova supervised the project, as well as reviewed and edited the final text.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Arabshahi-D, S. Evaluation of antioxidant activity of some plant extracts and their heat, pH and storage stability / S. Arabshahi-D, D. Vishalakshi Devi, A. Urooj // Food Chemistry. – 2007. – Vol. 100, № 3. – P. 1100–1105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.11.014>.
2. Protein-loaded sodium alginate and carboxymethyl cellulose beads for controlled release under simulated gastrointestinal conditions / A. Bannikova, L. Rasumova, A. Evteev [et al.] // International Journal of Food Science and Technology. – 2017. – Vol. 52, № 10. – P. 2171–2179. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.13496>.
3. Microencapsulation of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) and powder characterization / S. J. Calva-Estrada, M. R. Mendoza, O. García [et al.] // Powder Technology. – 2018. – Vol. 323. – P. 416–423. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.10.035>.
4. Fardet, A. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: What is beyond fibre? / A. Fardet // Nutrition Research Reviews. – 2010. – Vol. 23, № 1. – P. 65–134. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0954422410000041>.
5. Variation of polyphenols, anthocyanins and antioxidant power in the strawberry grape (*Vitis labrusca*) after simulated gastro-intestinal transit and evaluation of *in vitro* antimicrobial activity / T. Granese, F. Cardinale, A. Cozzolino [et al.] // Food and Nutrition Sciences. – 2014. – Vol. 5. – P. 60–65. DOI: <https://doi.org/10.4236/fns.2014.51008>.
6. Heinritz, S. N. Use of pigs as a potential model for research into dietary modulation of the human gut microbiota / S. N. Heinritz, R. Mosenthin, E. Weiss // Nutrition Research Reviews. – 2013. – Vol. 26, № 2. – P. 191–209. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0954422413000152>.
7. Huang, X. Hydrocolloids in emulsions: Particle size distribution and interfacial activity / X. Huang, Y. Kakuda, W. Cui // Food Hydrocolloids. – 2001. – Vol. 15, № 4–6. – P. 533–542. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00091-1](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00091-1).
8. Kasapis, S. Phase separation in biopolymer gels: A low- to high-solid exploration of structural morphology and functionality / S. Kasapis // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2008. – Vol. 48, № 4. – P. 341–359. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408390701347769>.
9. Masisi, K. Antioxidant properties of diverse cereal grains: A review on *in vitro* and *in vivo* studies / K. Masisi, T. Beta, M. H. Moghadasian // Food Chemistry. – 2016. – Vol. 196. – P. 90–97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.021>.
10. Encapsulation of carotenoids from sea buckthorn extracted by CO₂ supercritical fluids method within whey proteins isolates matrices / L. Mihalea, M. Turturică, I. O. Ghinea [et al.] // Innovative Food Science and Emerging Technologies. – 2017. – Vol. 42. – P. 120–129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.06.008>.
11. Millqvist-Fureby, A. Approaches to encapsulation of active food ingredients in spray-drying / A. Millqvist-Fureby // ACS Symposium Series. – 2009. – Vol. 1007. – P. 233–245. DOI: <https://doi.org/10.1021/bk-2009-1007.ch015>.
12. Diffusion of nicotinic acid in spray-dried capsules of whey protein isolate / N. Panyoyai, A. Bannikova, D. M. Small [et al.] // Food Hydrocolloids. – 2016. – Vol. 52. – P. 811–819. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.08.022>.
13. Paramita, V. D. Release mechanism of omega-3 fatty acid in κ-carrageenan/polydextrose undergoing glass transition / V. D. Paramita, A. Bannikova, S. Kasapis // Carbohydrate Polymers. – 2015. – Vol. 126. – P. 141–149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.027>.
14. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) / C. Saéñz, S. Tapia, J. Chávez [et al.] // Food Chemistry. – 2009. – Vol. 114, № 2. – P. 616–622. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.095>.
15. Microencapsulation of essential oils within alginate: formulation and *in vitro* evaluation of antifungal activity / E. A. Soliman, A. Y. El-Moghazy, M. S. Mohy El-Din [et al.] // Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences. – 2013. – Vol. 3, № 1. – P. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.4236/jeas.2013.31006>.
16. Valorizations of carotenoids from sea buckthorn extract by microencapsulation and formulation of value-added food products / F. M. Ursache, D. G. Andronoiu, I. O. Ghinea [et al.] // Journal of Food Engineering. – 2018. – Vol. 219. – P. 16–24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.09.015>.

17. Effect of different encapsulating agent combinations on physicochemical properties and stability of microcapsules loaded with phenolics of plum (*Prunus salicina* lindl.) / L. Yinbin, L. Wu, M. Weng [et al.] // Powder Technology. – 2018. – Vol. 340. – P. 459–464. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.09.049>.
18. Zhao, Z. Chemistry, natural sources, dietary intake and pharmacokinetic properties of ferulic acid: A review / Z. Zhao, M. H. Moghadasian // Food Chemistry. – 2008. – Vol. 109, № 4. – P. 691–702. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.039>.
19. Оценка возможности получения концентратов полифенолов из вторичных продуктов переработки зерна / А. В. Битюкова, А. А. Амелькина, А. В. Евтеев [и др.] // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2019. – Т. 56, № 3. – С. 61–68.
20. Разработка биотехнологии получения фитовеществ из вторичных продуктов переработки зерна / А. В. Битюкова, А. А. Амелькина, А. В. Евтеев [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 1. – С. 5–13. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-5-13>.

References

1. Arabshahi-D S, Vishalakshi Devi D, Urooj A. Evaluation of antioxidant activity of some plant extracts and their heat, pH and storage stability. Food Chemistry. 2007;100(3):1100–1105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.11.014>.
2. Bannikova A, Rasumova L, Evteev A, Evdokimov I, Kasapis S. Protein-loaded sodium alginate and carboxymethyl cellulose beads for controlled release under simulated gastrointestinal conditions. International Journal of Food Science and Technology. 2017;52(10):2171–2179. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.13496>.
3. Calva-Estrada SJ, Mendoza MR, García O, Jiménez-Fernández VM, Jiménez M. Microencapsulation of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) and powder characterization. Powder Technology. 2018;323:416–423. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.10.035>.
4. Fardet A. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: What is beyond fibre? Nutrition Research Reviews. 2010;23(1):65–134. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0954422410000041>.
5. Granese T, Cardinale F, Cozzolino A, Pepe S, Ombra MN, Nazzaro F, et al. Variation of polyphenols, anthocyanins and antioxidant power in the strawberry grape (*Vitis labrusca*) after simulated gastro-intestinal transit and evaluation of *in vitro* antimicrobial activity. Food and Nutrition Sciences. 2014;5:60–65. DOI: <https://doi.org/10.4236/fns.2014.51008>.
6. Heinritz SN, Mosenthin R, Weiss E. Use of pigs as a potential model for research into dietary modulation of the human gut microbiota. Nutrition Research Reviews. 2013;26(2):191–209. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0954422413000152>.
7. Huang X, Kakuda Y, Cui W. Hydrocolloids in emulsions: Particle size distribution and interfacial activity. Food Hydrocolloids. 2001;15(4–6):533–542. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00091-1](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00091-1).
8. Kasapis S. Phase separation in biopolymer gels: A low- to high-solid exploration of structural morphology and functionality. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2008;48(4):341–359. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408390701347769>.
9. Masisi K, Beta T, Moghadasian MH. Antioxidant properties of diverse cereal grains: A review on *in vitro* and *in vivo* studies. Food Chemistry. 2016;196:90–97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.021>.
10. Mihalcea L, Turturică M, Ghinea IO, Barbu V, Ioniță E, Cotârleț M, et al. Encapsulation of carotenoids from sea buckthorn extracted by CO₂ supercritical fluids method within whey proteins isolates matrices. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2017;42:120–129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.06.008>.
11. Millqvist-Fureby A. Approaches to encapsulation of active food ingredients in spray-drying. ACS Symposium Series. 2009;1007:233–245. DOI: <https://doi.org/10.1021/bk-2009-1007.ch015>.
12. Panyoyai N, Bannikova A, Small DM, Shanks RA, Kasapis S. Diffusion of nicotinic acid in spray-dried capsules of whey protein isolate. Food Hydrocolloids. 2016;52:811–819. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.08.022>.
13. Paramita VD, Bannikova A, Kasapis S. Release mechanism of omega-3 fatty acid in κ-carrageenan/polydextrose undergoing glass transition. Carbohydrate Polymers. 2015;126:141–149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.027>.
14. Saénz C, Tapia S, Chávez J, Robert P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). Food Chemistry. 2009;114(2):616–622. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.095>.
15. Soliman EA, El-Moghazy AY, Mohy El-Din MS, Massoud MA. Microencapsulation of essential oils within alginate: formulation and *in vitro* evaluation of antifungal activity. Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences. 2013;3(1):48–55. DOI: <https://doi.org/10.4236/jeas.2013.31006>.
16. Ursache FM, Andronoiu DG, Ghinea IO, Barbu V, Ioniță E, Cotârleț M, et al. Valorizations of carotenoids from sea buckthorn extract by microencapsulation and formulation of value-added food products. Journal of Food Engineering. 2018;219:16–24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.09.015>.
17. Yinbin L, Wu L, Weng M, Tang B, Lai P, Chen J. Effect of different encapsulating agent combinations on physicochemical properties and stability of microcapsules loaded with phenolics of plum (*Prunus salicina* lindl.). Powder Technology. 2018;340:459–464. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.09.049>.
18. Zhao Z, Moghadasian MH. Chemistry, natural sources, dietary intake and pharmacokinetic properties of ferulic acid: A review. Food Chemistry. 2008;109(4):691–702. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.039>.

19. Bityukova AV, Amelkina AA, Evteev AV, Bannikova AV. Evaluation of opportunity to obtain polyphenol concentrates from secondary products of grain processing. *Technology and merchandising of the innovative foodstuff*. 2019;56(3):61–68. (In Russ.).

20. Bityukova AV, Amelkina AA, Evteev AV, Bannikova AV. New Biotechnology for the Production of Phytocompounds from Secondary Products of Grain Processing. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2019;49(1):5–13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-5-13>.

Сведения об авторах

Зяйнитдинов Дамир Равильевич

ассистент, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова» 410012, Россия, г. Саратов, Театральная площадь, 1, тел.: +7 (902) 046-49-96

Евтеев Александр Викторович

ведущий специалист учебно-научно-испытательной лаборатории по определению качества пищевой и сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова» 410012, Россия, г. Саратов, Театральная площадь, 1, тел.: +7 (987) 838-19-65, e-mail: ewteew@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-6155-3851>

Банникова Анна Владимировна

д-р техн. наук, профессор кафедры технологии продуктов питания, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова» 410012, Россия, г. Саратов, Театральная площадь, 1, тел.: +7 (937) 245-12-20, e-mail: annbannikova@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-8299-7208>

Information about the authors

Damir R. Zyaitdinov

Assistant, Vavilov Saratov State Agrarian University, 1, Teatrnaya square, Saratov, 410012, Russia, phone: +7 (902) 046-49-96

Alexandr V. Ewteew

Leading Specialist of the Educational, Scientific and Testing Laboratory for the Determination of Quality of Foods and Agricultural Products, Vavilov Saratov State Agrarian University, 1, Teatrnaya square, Saratov, 410012, Russia, phone: +7 (987) 838-19-65, e-mail: ewteew@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-6155-3851>

Anna V. Bannikova

Dr.Sci.(Eng.), Professor of the Department of Food Technology, Vavilov Saratov State Agrarian University, 1, Teatrnaya square, Saratov, 410012, Russia, phone: +7 (937) 245-12-20, e-mail: annbannikova@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-8299-7208>

Исследование влияния способа хранения на сохранность сортов репы обыкновенной (*Brassica rapa* L.), произрастающих в Сибирском регионе

А. Г. Степанова¹, Н. И. Давыденко^{2,*}, О. В. Голуб¹,
Е. Н. Степанова¹



¹ АНОО ВО ЦРФ «Сибирский университет потребительской кооперации»,
630087, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 26

² ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

Дата поступления в редакцию: 02.06.2020
Дата принятия в печать: 28.08.2020

*e-mail: nat1861@yandex.ru



© А. Г. Степанова, Н. И. Давыденко, О. В. Голуб, Е. Н. Степанова, 2020

Аннотация.

Введение. Одной из перспективных, с точки зрения здорового питания, овощных культур является репа, интерес к которой возрождается в последние годы. Данный корнеплод отличается высокой пищевой ценностью, содержит значительное количество физиологически активных компонентов. Определение наиболее рациональных способов хранения свежей столовой вызревшей репы разных сортов, выращиваемой в хозяйствах Новосибирской области, является актуальным.

Объекты и методы исследования. Свежая столовая вызревшая репа сортов «Комета», «Луна» и «Орбита». В работе использовали общепринятые и стандартные методы. Хранение репы осуществлялось при температуре 0–1 °С и относительной влажности воздуха 90–95 % на поддонниках в мешках полиэтиленовых (открытых), ящиках дощатых с полиэтиленовыми вкладышами и ящиках дощатых без вкладышей.

Результаты и их обсуждение. В результате исследований хранения репы в течение 6 месяцев установлено, что вне зависимости от сорта, наилучшим является способ предусматривающий использование полимерных материалов – выход качественной продукции составляет 88 %. Убыль массы составляет порядка 2 % при хранении в мешках полиэтиленовых (открытых) и ящиках дощатых с полиэтиленовыми вкладышами, 20,6 % – ящиках дощатых без вкладышей. При последнем способе хранения выявляется 9,8 % корнеплодов, пораженных микробиологическими заболеваниями. При хранении репы при способе, предусматривающем полимерные материалы и без них, потери сахаров составляют 2,7 и 3,6 % соответственно. Сохранность витамина С выше при хранении в ящиках дощатых с полиэтиленовыми вкладышами, потери составляют 22,3 %, при хранении в мешках полиэтиленовых – 30,3 %, ящиках дощатых без вкладышей – 37,3 %. По истечении 6 месяцев хранения репы вне зависимости от сорта и способа хранения, категория качества исследуемых образцов «удовлетворительная». Оценка органолептических показателей от 7,01 до 7,94 баллов. Скидка баллов осуществлялась за счет изменения консистенции покровных тканей и мякоти, вкуса и аромата.

Выводы. На основании проведенных исследований установлено, что репу сортов «Комета», «Луна», «Орбита», произрастающую в Новосибирской области, рекомендуется хранить при вышеуказанных условиях в мешках полиэтиленовых или ящиках дощатых с полиэтиленовыми вкладышами размещенных на поддонниках.

Ключевые слова. Корнеплоды, *Brassica rapa* L., хранение, витамин С, органолептические показатели

Для цитирования: Исследование влияния способа хранения на сохранность сортов репы обыкновенной (*Brassica rapa* L.), произрастающих в Сибирском регионе / А. Г. Степанова, Н. И. Давыденко, О. В. Голуб [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 470–479. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-470-479>.

Original article

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

Effect of Storage Methods on Various Sorts of Siberian Turnip (*Brassica rapa* L.)

Alla G. Stepanova¹, Nataliia I. Davydenko^{2,*}, Olga V. Golub¹,
Elena N. Stepanova¹

¹ Siberian University of Consumer Cooperation,
26, Karl Marx Ave., Novosibirsk, 630087, Russia

² Kemerovo State University,



Abstract.

Introduction. Vegetables are an integral part of human diet. Specialists from many countries of the world develop and improve technologies for storing vegetables in order to ensure the safety, quality, and quantity of commercial products. Turnip is one of the most promising vegetables from the point of view of healthy nutrition. Its production has been revived in recent years. This root vegetable has a high nutritional value and contains a significant amount of physiologically active components. There are regulatory documents for the storage of potatoes, carrots, and cabbage. However, storage standards for turnip are still under development due to the variability of their chemical composition, place of growth, etc. As a result, any rationale for storage methods for fresh and ripened turnips of different varieties grown on farms in the Novosibirsk region is relevant.

Study objects and methods. The research featured fresh and ripened turnips of the “Kometa”, “Luna”, and “Orbita” varieties. Research methods were generally accepted and standard. The samples were stored at 0–1°C and relative humidity of 90–95% on pallets in opened plastic bags, board boxes with plastic liners, and board boxes without liners.

Results and discussion. After 6 months, the method with polymer materials showed the best results, regardless of the variety: the average yield of quality products was 88%. Storage in wooden boxes without plastic liners provided only 70% of standard products. The decrease in the mass during 6-month storage was about 2% when stored in opened plastic bags and board boxes with plastic liners, while in board boxes without liners it was 20.6%. After the latter storage method, 9.8% of root crops appeared affected by microbiological diseases. A similar trend was observed in the content of total sugars: an average loss of 2.7% was detected when using polymer materials and 3.6% – without them. The board boxes with plastic liners proved better in preserving vitamin C: the average loss was 22.3%, while it reached 30.3% for plastic bags and 37.3% for board boxes without liners. After 6 months of storage, all samples maintained satisfactory quality. The sensory properties ranged from 7.01 to 7.94 points. The points were discarded for decreased consistency of epithelial tissues, pulp, taste, and aroma.

Conclusion. The turnips of the “Kometa”, “Luna”, and “Orbita” varieties grown in the Novosibirsk region should be stored at 0–1°C and a relative humidity of 90–95% in plastic bags or board boxes with plastic liners placed on pallets.

Keywords. Root vegetables, *Brassica rapa* L., storage, vitamin C, sensory properties

For citation: Stepanova AG, Davydenko NI, Golub OV, Stepanova EN. Effect of Storage Methods on Various Sorts of Siberian Turnip (*Brassica rapa* L.). Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):470–479. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-470-479>.

Введение

Репя (*Brassica rapa* L.) – известная пищевая и кормовая культура, которую применяют в русской и восточной кухне. По разным оценкам репу используют в приготовлении пищи уже более 4 тысяч лет, т. к. она считается одним из основных продуктов питания.

Богатый химический состав репы позволяет считать ее ценным пищевым сырьем. Основным нутриентом репы являются сахара. Их содержание, в зависимости от сорта, места произрастания и др., может достигнуть 5,9 мг /100 г. Содержание белков в репе достигает 1,5 мг /100 г [1]. Высокое содержание пищевых волокон (до 1,9 мг/100 г), флавоноидов (до 1,1 мг/100 г), витаминов (тиамин, рибофлавин и пр.), макро- (натрий, калий и пр.) и микроэлементов (селен, йод и пр.), а также других биологически активных веществ (например, глюкозинолатов – глюкорафанин, глюконастурцин и пр. до 53 мг/100 г) позволяет отнести репу к продуктам с повышенной физиологической ценностью [1, 2].

В древней медицине репа широко использовалась как лекарственное растение. Современные контролируемые клинические исследования показали, что репа обладает антиоксидантными, имму-

ностимулирующими, противовоспалительными, гиполипидемическими и противоопухолевыми свойствами [2–4]. Специфические аромат и вкус репы обуславливаются содержащимися в ней усвояемыми сахарами и глюкозинолатами. Последние обуславливают устойчивость корнеплода к фитопатогенной микрофлоре.

В последние годы интерес к репе растет, в том числе в контексте ее применения как одного из продуктов, определяющих гастрономический облик традиционной русской кухни, особенно в привязке к региональным и локальным особенностям [5].

В связи с этим актуальны исследования, посвященные изучению качественных характеристик современных сортов репы, в том числе ее способности к хранению при различных способах.

Лежкость овощей обусловлена глубиной и продолжительностью периода покоя, при котором интенсивность дыхания и других окислительно-восстановительных процессов невелики. При хранении овощей руководствуются принципами, которые направлены на затормаживание указанных выше биохимических процессов. Это хранение в специально отведенных местах; проведение мероприятий по выполнению требований к условиям

хранения, например, создание специальных условий – оптимальных параметров окружающей среды (температуры, влажности окружающего воздуха, газового состава и т. д.), правил обращения (мер предохранения от порчи вредителями, насекомыми, грызунами; мер сохранения целостности упаковки и т. д.) и другие. Также к данным принципам можно отнести проведение производственного контроля по выполнению требований к условиям хранения; проведение мероприятий по информационной обеспеченности заинтересованных лиц сведениями об условиях хранения овощей, порче последних и др.; эффективность хранения [6–9]. Работы целого ряда исследователей показывают, что на химический состав репы оказывают влияние сорт, местность произрастания и пр. [4, 10, 11]. Имеются данные зарубежных исследователей об оптимальных режимах хранения репы (температуры, упаковки, газовой среды и пр.) [12, 13]. Предложены к разработке перспективные приемы хранения корнеплодов репы, обеспечивающие значительное снижение потерь сухих веществ и технологических качеств в процессе хранения [14].

Активно ведется изучение вопросов переработки репы как сверхценного пищевого сырья. Предлагаются перспективные приемы использования данной культуры в качестве ингредиента пищевых продуктов функциональной направленности [15]. Ряд работ посвящены вопросам обеспечения сохранности полуфабрикатов из репы. Например, с целью повышения микробиологической безопасности и сохранения адекватных органолептических характеристик измельченной репы необходима ее предварительная обработка и последующее аэробное хранение при температуре 4 °С [16].

Целью работы является исследование сохраняемости свежей вызревшей столовой репы (*Brassica rapa* L.) разных сортов, выращиваемой в хозяйствах Новосибирской области, при разных способах хранения.

Объекты и методы исследования

В работе исследовали свежую вызревшую столовую репу (*Brassica rapa* L.) сортов «Комета», «Луна» и «Орбита». Предметом исследования стали качественные характеристики репы. Материал – столовая репа, выращенная в хозяйствах Новосибирской области, вызревшая и собранная в сентябре 2019 г.

При проведении испытаний устанавливали категории качества продукции: содержание в репе стандартной и нестандартной продукции, а также брака и отходов. К стандартной продукции относят партию, соответствующую всем показателям действующего нормативно-правового документа на данный вид овощей с учетом допускаемых отклонений. К нестандартной продукции относят

овощи, которые по одному или нескольким показателям имеют отклонения от требований нормативно-правового документа. Загнившие, запаренные, подмороженные и увядшие корнеплоды относят к отходам. Если поражено до 50 % мякоти, то продукцию относят к браку и непригодной для частичного использования как в свежем, так и в переработанном виде. В случае поражения более 50 % мякоти такую продукцию относят к абсолютному отходу. Исследуемые образцы продукции по своим качественным показателям соответствовали требованиям РСТ РСФСР 743-88 «Репа столовая свежая». Общее число допускаемых отклонений без учета допуска по размерам составило при норме не более 15,0 % для сорта «Комета» – 10,2 %; «Луна» – 9,6 %; «Орбита» – 9,0 % [5].

В продукции исследовали:

- органолептические показатели по 10-ти балльной системе с учетом коэффициентов значимости. Размер (диаметр) плода, интенсивность и равномерность его окраски оценивали в 0,15 балла. Правильности и типичности формы, а также консистенции покровных тканей присваивали по 0,1 балла. Критерии внешней привлекательности и консистенции мякоти оценивались в 0,2 балла. Аромату и вкусу репы столовой присваивали 0,4 и 0,6 балла соответственно. По качеству продукция дифференцируется следующим образом (балл): отличного – 9–10; хорошего 8–9; удовлетворительного – 7–8; неудовлетворительного – менее 7 [7, 17];
- массовую долю влаги по ГОСТ 28561-90 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги»;
- массовую долю сахаров по ГОСТ 8756.13-87 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров»;
- массовую долю витамина С по ГОСТ 24556-89 (ИСО 6557-1-86, ИСО 6557-2-84) «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С».

Результаты испытаний статистически обрабатывались.

Хранение репы осуществляли при рекомендуемых условиях (температура 0–1 °С, относительная влажность воздуха 90–95 %) и при следующих способах хранения (при размещении на поддонниках): I – в мешках полиэтиленовых (по ГОСТ 10354-82 «Пленка полиэтиленовая. Технические условия») толщиной 100 мкм; II – в ящиках дощатых с полиэтиленовыми вкладышами (по ГОСТ 10354-82) толщиной 100 мкм; III – в ящиках дощатых без вкладышей. Полиэтиленовые вкладыши и мешки после заполнения корнеплодами оставляли открытыми, чтобы не происходило повышение концентрации углекислого газа и удущья [6].

Результаты и их обсуждение

Изменение основных качественных характеристик столовой репы (*Brassica rapa* L.) в процессе 6 месяцев

Таблица 1. Сохраняемость витамина С в репе в процессе хранения

Table 1. Preservation of vitamin C in turnips during storage

Срок хранения, мес	Репа сорта «Комета»			Репа сорта «Луна»			Репа сорта «Орбита»		
	Способ хранения								
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
0	41,2 ± 2,1	41,2 ± 2,1	41,2 ± 2,1	38,1 ± 2,5	38,1 ± 2,5	38,1 ± 2,5	48,3 ± 2,7	48,3 ± 2,7	48,3 ± 2,7
1	40,8 ± 3,2	40,1 ± 2,6	40,2 ± 2,2	37,7 ± 2,6	37,2 ± 3,3	37,6 ± 2,6	47,2 ± 2,8	47,3 ± 2,7	47,3 ± 2,6
2	39,5 ± 2,7	39,1 ± 2,4	38,7 ± 2,9	36,3 ± 2,1	36,4 ± 2,1	36,1 ± 2,5	46,4 ± 2,7	46,4 ± 2,1	45,7 ± 2,6
3	37,2 ± 2,8	37,2 ± 2,2	36,7 ± 3,1	34,1 ± 2,0	35,2 ± 2,6	33,9 ± 2,4	44,4 ± 2,2	45,1 ± 3,0	43,1 ± 2,9
4	35,5 ± 2,1	35,3 ± 2,1	34,1 ± 3,3	32,1 ± 3,0	33,2 ± 2,7	30,2 ± 3,0	41,4 ± 3,0	43,2 ± 3,4	40,3 ± 3,0
5	32,6 ± 2,9	33,1 ± 3,1	30,5 ± 3,0	30,0 ± 2,7	31,3 ± 2,9	27,4 ± 2,3	37,7 ± 3,0	41,4 ± 3,0	35,7 ± 3,4
6	28,9 ± 3,0	31,7 ± 2,8	26,4 ± 2,4	26,7 ± 2,9	29,4 ± 3,0	23,6 ± 2,4	33,4 ± 2,8	38,2 ± 2,4	30,0 ± 2,1

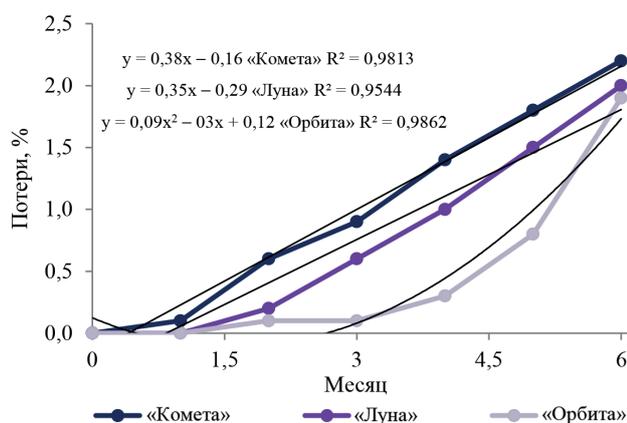


Рисунок 1. Потери репы при хранении в полиэтиленовых мешках

Figure 1. Loss of turnips during storage in plastic bags

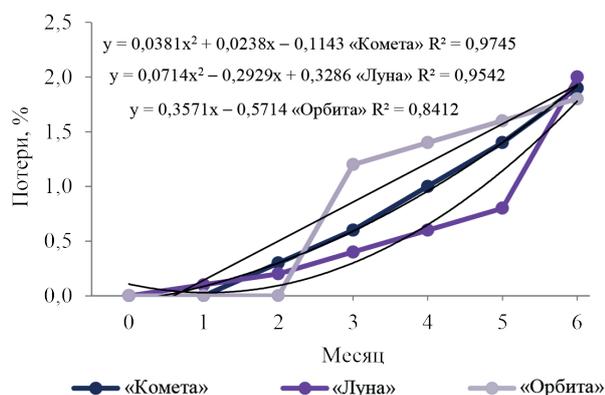


Рисунок 2. Потери репы при хранении в ящиках дощатых с полиэтиленовыми вкладышами

Figure 2. Loss of turnips during storage in board boxes with plastic liners

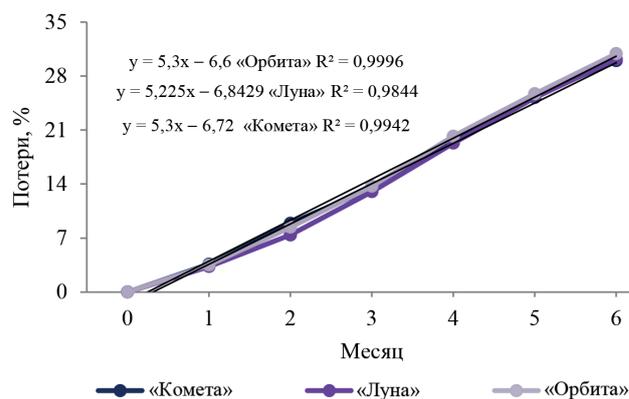


Рисунок 3. Потери репы при хранении в ящиках дощатых без вкладышей

Figure 3. Loss of turnips during storage in board boxes without liners

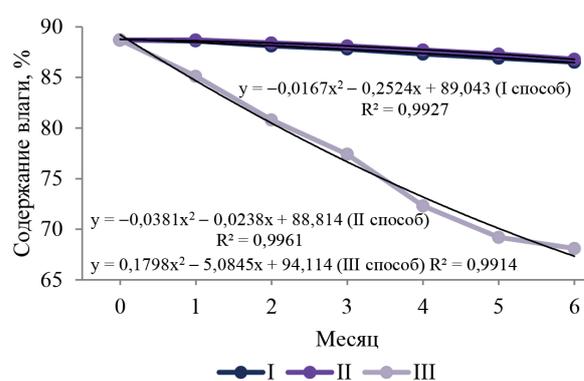


Рисунок 4. Динамика содержания влаги в репе сорта «Комета» при разных способах хранения

Figure 4. Dynamics of moisture content in turnip of “Kometa” variety at different storage methods

хранения различными способами представлено на рисунках 1–10.

В таблице 1 представлена сохраняемость витамина С в процессе хранения в репе.

В таблице 1 видно, что наилучшим способом хранения репы, вне зависимости от сорта, является

ее хранение в мешках полиэтиленовых и ящиках дощатых с полиэтиленовыми вкладышами. После 6 месяцев хранения потери составляли 11,6 и 11,5 % соответственно за счет убыли массы. При хранении продукции в ящиках дощатых без вкладышей потери значительные и обусловлены не только убылью

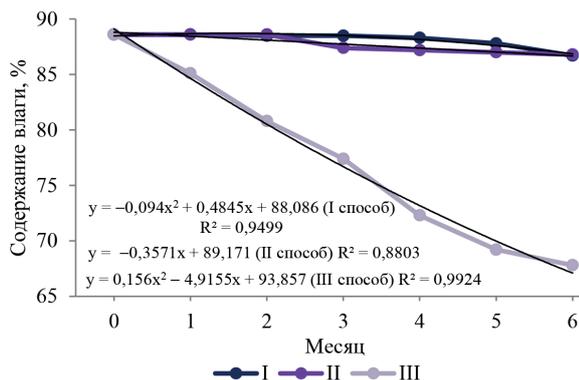


Рисунок 5. Динамика содержания влаги в репе сорта «Луна» при разных способах хранения

Figure 5. Dynamics of moisture content in turnip of “Luna” variety at different storage methods

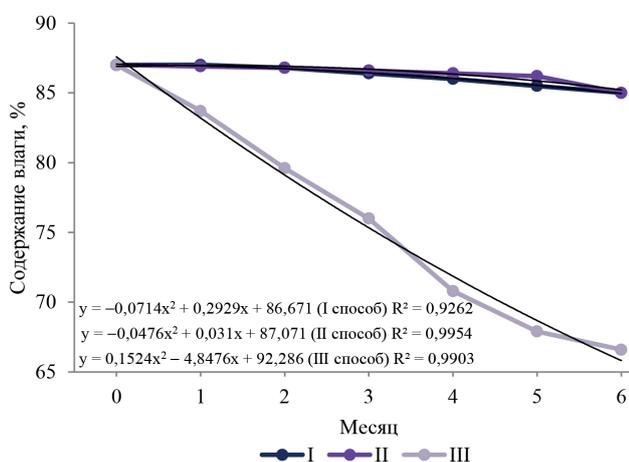


Рисунок 6. Динамика содержания влаги в репе сорта «Орбита» при разных способах хранения

Figure 6. Dynamics of moisture content in turnip of “Orbita” variety at different storage methods

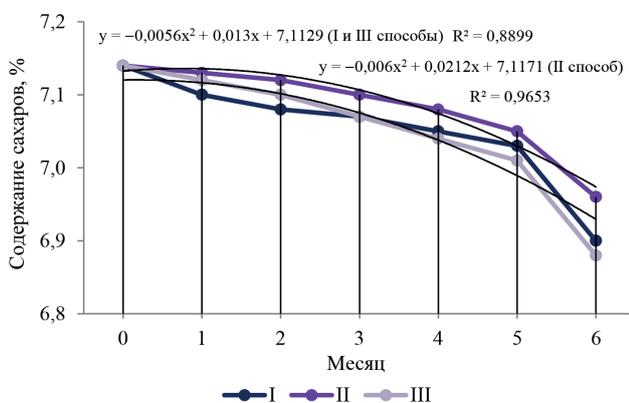


Рисунок 7. Динамика содержания сахаров в репе сорта «Комета» при разных способах хранения

Figure 7. Dynamics of sugar content in turnip of “Kometa” variety at different storage methods

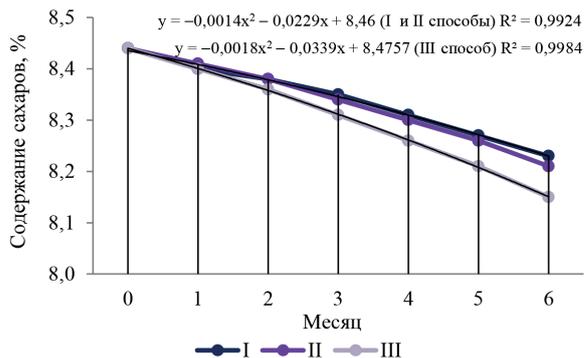


Рисунок 8. Динамика содержания сахаров в репе сорта «Луна» при разных способах хранения

Figure 8. Dynamics of sugar content in turnip of “Luna” variety at different storage methods

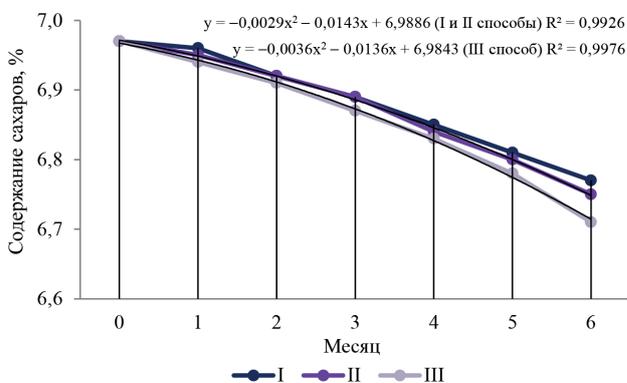


Рисунок 9. Динамика содержания сахаров в репе сорта «Орбита» при разных способах хранения

Figure 9. Dynamics of sugar content in turnip of “Orbita” variety at different storage methods

массы (в среднем 20,6 %), но и появлением на повядших экземплярах репы болезней бактериальной и грибковой природы (отходы 9,8 %). Естественная убыль массы репы при хранении происходит за счет биохимических процессов, в том числе дыхания. Далее потери массы при хранении оценивали суммарно – за счет естественной убыли и болезней.

На рисунках 1–3 представлены результаты влияния сорта репы и способа ее хранения на потери от убыли массы и поражения микробиологическими болезнями при хранении.

Как показывают результаты, наибольшие потери наблюдаются при хранении репы в дощатых ящиках без вкладышей. Сорт репы практически не имеет значения, динамика была общей. Потери обусловлены естественной убылью вследствие потери влаги (рис. 4–6). Однако это единственный вид упаковки, в котором проявились потери, связанные с заболеваниями корнеплодов. Это объясняется отсутствием барьера от бактериального и грибкового заражения непосредственно в помещении

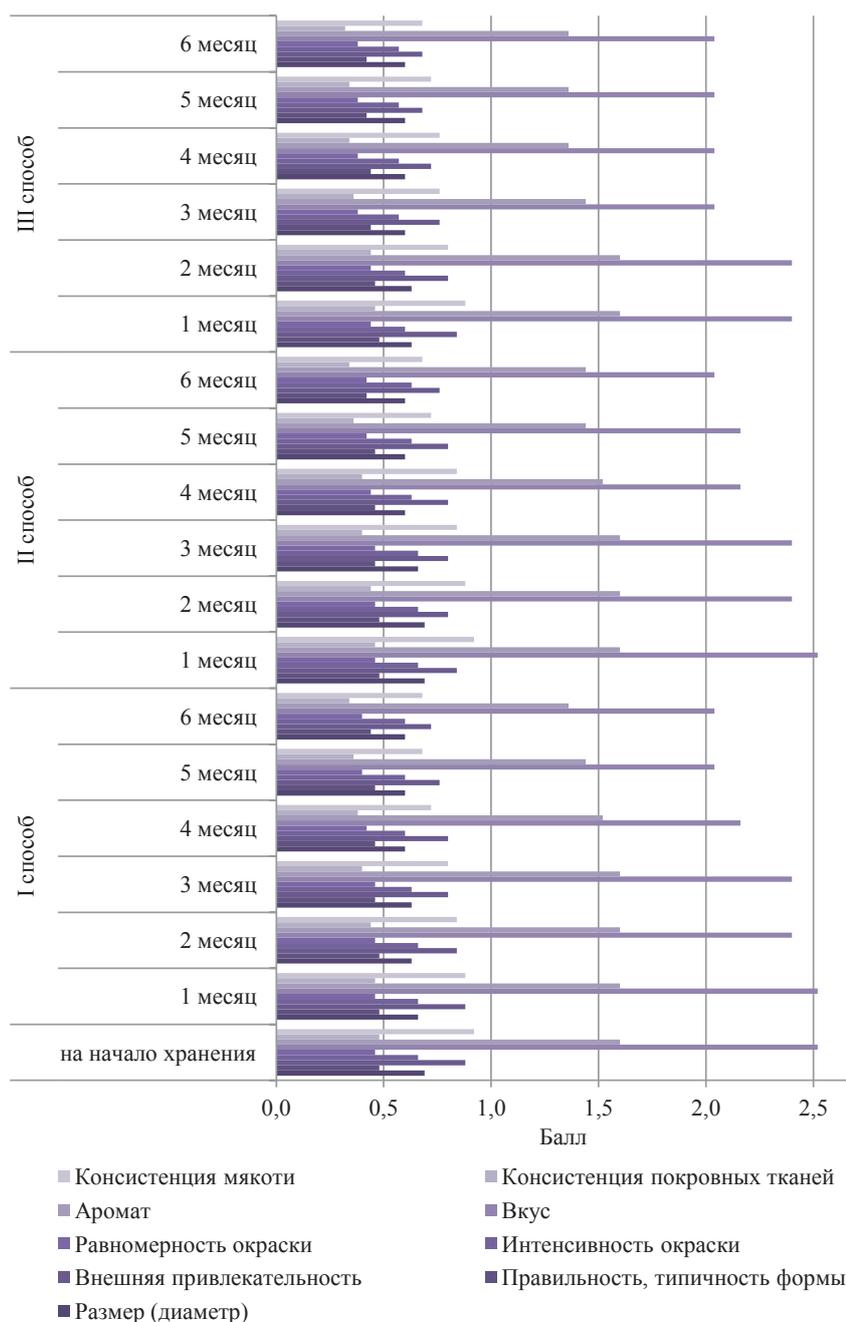


Рисунок 10. Балловая оценка органолептических показателей репы сорта «Комета» в процессе хранения

Figure 10. Sensory indicators of "Cometa" turnip during storage

для хранения. Таким барьером, препятствующим распространению заболеваний, выступает полиэтилен. Это видно из результатов хранения в полиэтиленовых мешках и ящиках с полиэтиленовым вкладышем – потерей корнеплода от заболеваний нет в обоих случаях. Также данные способы хранения оказывают влияние и на естественную убыль массы – она снизилась в 10 раз.

Так как существенного влияния на тенденции потерь при хранении сорт репы не имеет, то полученные результаты можно представить в виде

обобщенных регрессионных линейных зависимостей убыли массы (Y) от срока хранения (X) для всех сортов репы.

$$- \text{I способ хранения: } y = 0,39x - 0,49 \quad (1)$$

$$- \text{II способ хранения: } y = 0,37x - 0,44 \quad (2)$$

$$- \text{III способ хранения: } y = 3,59x + 0,52 \quad (3)$$

Общее содержание сахаров относится к одному из основных показателей качества репы, оказывая влияние как на органолептические свойства самого корнеплода, так и на продукцию из него. В связи

с этим представляло интерес исследовать влияние сорта репы и способа ее хранения на динамику изменения общего содержания сахаров. Результаты исследований представлены на рисунках 7–9.

Результаты исследований показали, что после 6 месяцев хранения потери сахаров у репы, хранившейся при I способе вне зависимости от сорта, составляют 2,72 % на конец хранения. Потери сахаров при II и III способах хранения репы составляют 2,80 и 3,60 % соответственно. При этом существенного влияния на тенденции снижения содержания сахаров при хранении сорт репы не оказывает. Полученные результаты можно представить в виде обобщенных регрессионных зависимостей снижения сахаров (Y) от срока хранения (X) для всех сортов репы:

– I и II способы хранения:

$$y = -0,004x^2 - 0,01x + 7,5 \quad (4)$$

– III способ хранения: $y = -0,0042x^2 - 0,02x + 7,5 \quad (5)$

В исследуемых сортах репы содержание витамина С колеблется от 38 до 48 мг/100 г. По данному биологически активному веществу репа превосходит многие другие корнеплоды: морковь в 8,6 раз, свеклу в 4,3 раза, корень сельдерея в 5,4 раза, редис в 1,7 раза, брюкву или редьку черную в 1,4 раза, корень петрушки в 1,2 раза [1]. Исследование сохранности витамина С при хранении различными способами показало (табл. 1), что наименьшие потери витамина С наблюдаются при хранении II способом. Сохранность составила 77,7 % (потери – 22,3 %). Наибольшие потери наблюдаются при хранении репы в ящиках дощатых без вкладышей – 37,3 %. Значимых различий между сортами не наблюдалось.

Данные о влиянии сорта репы и способа ее хранения на хранимоспособность подтверждаются результатами органолептической оценки. Установлено, что при хранении репа оценивалась:

– хорошего качества, если после ее хранения 4 месяца в ящиках дощатых с полиэтиленовыми вкладышами результаты органолептической оценки составили от 8,04 до 8,99 баллов; в течение 3 месяцев в мешках полиэтиленовых – от 8,18 до 8,94 баллов; в течение 2 месяцев в ящиках дощатых без вкладышей – от 8,22 до 8,89 баллов;

– удовлетворительного качества, если результаты органолептической оценки репы в последующие месяца хранения составили от 7,02 до 7,89, от 7,03 до 7,94 баллов, от 7,01 до 7,92 баллов соответственно.

На рисунке 10 представлены результаты на примере репы сорта «Комета». Скидка баллов осуществлялась у показателей:

– «консистенция покровных тканей»: потери составили от 29 до 33 % в зависимости от способа хранения;

– «консистенция мякоти»: потери составили 26 %; к концу хранения консистенция корнеплодов становится несколько твердой, грубой, сухой, плохо прожевываемой;

– «вкус»: скидка баллов за показатель составила 19 %. В процессе хранения вкус становился у корнеплодов несколько «пустоватым», а не остро-горьким;

– «аромат»: скидка баллов за данный показатель обусловлена потерей специфического аромата – от 10 до 15 % в зависимости от способа хранения.

– «интенсивность окраски» и «равномерность окраски»: баллы за эти показатели снижались, в зависимости от способа хранения репы, на 9–13% и 13–17 % соответственно. Цвет в процессе хранения становится несколько «блеклым»;

– «внешняя привлекательность», «правильность, типичность формы» и «размер (диаметр)»: данные показатели комплексно характеризуют внешний вид корнеплодов. Скидка баллов составила, в зависимости от способа хранения, от 18 до 22 %, от 9 до 13 % соответственно и в среднем 10 % из-за потери тургора.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что исследуемые сорта репы «Комета», «Луна» и «Орбита», произрастающие в Новосибирской области, рекомендуется хранить при температуре 0–1 °С и относительной влажности воздуха 90–95 % в мешках полиэтиленовых или ящиках дощатых с полиэтиленовыми вкладышами размещенных на поддонниках.

Критерии авторства

Н. И. Давыденко руководила работой. Все авторы принимали участие в исследованиях, обработке данных, написании текстов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Contribution

N.I. Davydenko supervised the research. All the authors are equally responsible for the research results, data processing, and texts.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Скурихин, И. М. Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник / И. М. Скурихин, В. А. Тутельян. – М. : ДеЛи принт, 2002. – 236 с.

2. Наймушина, Л. В. Перспективность репы (*Brassica rapa* L.) в качестве источника ценных биологически активных веществ / Л. В. Наймушина, И. Д. Зыкова, А. Д. Саторник // Вестник КрасГАУ. – 2016. – Т. 115, № 4. – С. 120–125.
3. Жалилов, Н. А. Репа – пищевое и лечебно-профилактическое растение / Н. А. Жалилов, И. Д. Кароматов // Биология и интегративная медицина. – 2017. – № 6. – С. 113–121.
4. Metabolic profiling of glucosinolates and their hydrolysis products in a germplasm collection of *Brassica rapa* turnips / R. Klopsch, K. Witzel, A. Börner [et al.] // Food Research International. – 2017. – Vol. 100. – P. 329–403. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.04.016>.
5. Степанова, А. Г. Перспективы применения репы столовой при изготовлении пищевой продукции для гастротуризма / А. Г. Степанова, О. В. Голуб, Н. И. Давыденко // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2019. – Т. 8, № 4 (48). – С. 113–118.
6. Технология хранения и сроки реализации столовых корнеплодов: Руководство / В. А. Борисов, А. В. Романова, Е. В. Янченко [и др.]. – М. : Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства, 2010. – 80 с.
7. Широков, Е. П. Хранение и переработка продукции растениеводства с основами стандартизации и сертификации. Часть 1. Картофель, плоды, овощи / Е. П. Широков, В. И. Полегаев. – М. : Колос, 2000. – 254 с.
8. Mobile RNAs and proteins: Prospects in storage organ development of tuber and root crops / B. Natarajan, K. R. Kondhare, D. J. Hannapel [et al.] // Plant Science. – 2019. – Vol. 284. – P. 73–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.03.019>.
9. Evaluating the critical nitrogen dilution curve for storage root crops / E. Chakwizira, J. M. de Ruiter, S. Maley [et al.] // Field Crops Research. – 2016. – Vol. 199. – P. 21–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.012>.
10. Identification of light-independent anthocyanin biosynthesis mutants induced by ethyl methane sulfonate in turnip «Tsuda» (*Brassica rapa*) / J.-F. Yang, Y.-Z. Chen, S. Kawabata [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2017. – Vol. 18, № 7. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms18071288>.
11. Differential regulation of anthocyanins in green and purple turnips revealed by combined de novo transcriptome and metabolome analysis / H. Zhuang, Q. Lou, H. Liu [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2019. – Vol. 20, № 18. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20184387>.
12. Storage of fresh-cut swede and turnip: Effect of temperature, including sub-zero temperature, and packaging material on sensory attributes, sugars and glucosinolates / H. S. Helland, A. Leufvén, G. B. Bengtsson [et al.] // Postharvest Biology and Technology. – 2016. – Vol. 111. – P. 370–379. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.09.011>.
13. Storage of fresh-cut swede and turnip in modified atmosphere: effects on vitamin C, sugars, glucosinolates and sensory attributes / H. S. Helland, A. Leufvén, G. B. Bengtsson [et al.] // Postharvest Biology and Technology. – 2016. – Vol. 111. – P. 150–160. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.028>.
14. Аносова, М. В. Сохранность технологических качеств корнеплодов репы при хранении / М. В. Аносова // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 83–86.
15. Белякова, Т. Н. Использование репы (*Brassica rapa* L.) при производстве ферментированного напитка на молочной основе с онкопротекторными свойствами / Т. Н. Белякова, Л. А. Забодалова, М. Ю. Шевченко // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. П. Филиппова. – 2018. – Т. 52, № 3. – С. 111–119.
16. Effectiveness of various sanitizer treatments for inactivating natural microflora and *Salmonella* spp. on turnip (*Pachyrhizus erosus*) / S. Y. Tan, M. Mikš-Krajncik, S. Y. Neo [et al.] // Food Control. – 2015. – Vol. 54. – P. 216–224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.02.012>.
17. Заворохина, Н. В. Сенсорный анализ продовольственных товаров на предприятиях пищевой промышленности, торговли и общественного питания / Н. В. Заворохина, О. В. Голуб, В. М. Позняковский. – М. : ИНФРА-М, 2020. – 144 с.

References

1. Skurikhin IM, Tutel'yan VA. Khimicheskiy sostav rossiyskikh pishchevykh produktov: Spravochnik [Chemical composition of Russian food products: Manual]. Moscow: DeLi print; 2002. 236 p. (In Russ.).
2. Naymushina LV, Zykova ID, Satornik AD. *Brassica rapa* L. prospects as a source of significant biologically active substances. Bulletin of KSAU. 2016;115(4):120–125. (In Russ.).
3. Zhalilov NA, Karomatov IDz. Turnip – the food and treatment-and-prophylactic plant. Biology and Integrative Medicine. 2017;(6):113–121. (In Russ.).
4. Klopsch R, Witzel K, Börner A, Schreiner M, Hanschen FS. Metabolic profiling of glucosinolates and their hydrolysis products in a germplasm collection of *Brassica rapa* turnips. Food Research International. 2017;100:329–403. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.04.016>.
5. Stepanova AG, Golub OV, Davydenko NI. Prospects for the use of canteen turnips in the manufacture of food products for gastrotourism. XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present Plus. 2019;8(4)(48):113–118. (In Russ.).
6. Borisov VA, Romanova AV, Yanchenko EV, Maslovskiy SA, Andrianov SA, Yanchenko AV, et al. Tekhnologiya khraneniya i sroki realizatsii stolovykh korneplodov: Rukovodstvo [Storage technology and shelf life of table root vegetables: Managemen]. Moscow: All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing; 2010. 80 p. (In Russ.).

7. Shirokov EP, Polegaev VI. Khranenie i pererabotka produktsii rastenievodstva s osnovami standartizatsii i sertifikatsii. Chast' 1. Kartofel', plody, ovoshchi [Storage and processing of crop production with the basics of standardization and certification. Part 1. Potatoes, fruits, and vegetables]. Moscow: Kolos; 2000. 254 p. (In Russ.).
8. Natarajan B, Kondhare KR, Hannapel DJ, Banerjee AK. Mobile RNAs and proteins: Prospects in storage organ development of tuber and root crops. *Plant Science*. 2019;284:73–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.03.019>.
9. Chakwizira E, de Ruyter JM, Maley S, Teixeira E. Evaluating the critical nitrogen dilution curve for storage root crops. *Field Crops Research*. 2016;199:21–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.012>.
10. Yang J-F, Chen Y-Z, Kawabata S, Li Y-H, Wang Y. Identification of light-independent anthocyanin biosynthesis mutants induced by ethyl methane sulfonate in turnip “Tsuda” (*Brassica rapa*). *International Journal of Molecular Sciences*. 2017;18(7). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms18071288>.
11. Zhuang H, Lou Q, Liu H, Han H, Wang Q, Tang Z, et al. Differential regulation of anthocyanins in green and purple turnips revealed by combined de novo transcriptome and metabolome analysis. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019;20(18). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20184387>.
12. Helland HS, Leufvén A, Bengtsson GB, Pettersen MK, Lea P, Wold A-B. Storage of fresh-cut swede and turnip: Effect of temperature, including sub-zero temperature, and packaging material on sensory attributes, sugars and glucosinolates. *Postharvest Biology and Technology*. 2016;111:370–379. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.09.011>.
13. Helland HS, Leufvén A, Bengtsson GB, Skaret J, Lea P, Wold A-B. Storage of fresh-cut swede and turnip in modified atmosphere: effects on vitamin C, sugars, glucosinolates and sensory attributes. *Postharvest Biology and Technology*. 2016;111:150–160. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.028>.
14. Anosova MV. Sokhrannost' tekhnologicheskikh kachestv korneplodov repy pri khranении [Preservation of technological qualities of turnips during storage]. *Tekhnologii i tovarovedenie sel'skokhozyaystvennoy produktsii* [Technologies and commodity science of agricultural products]. 2019;12(1):83–86. (In Russ.).
15. Belyakova TN, Zabodalova LA, Shevchenko MYu. Use of turnip (*Brassica rapa* L.) In the production of a fermented beverage on a dairy basis with oncoprotective properties. *Bulletin of Buryat State Academy of Agriculture*. 2018;52(3):111–119. (In Russ.).
16. Tan SY, Mikš-Krajnik M, Neo SY, Tan A, Khoo GH, Yuk H-G. Effectiveness of various sanitizer treatments for inactivating natural microflora and *Salmonella* spp. on turnip (*Pachyrhizus erosus*). *Food Control*. 2015;54:216–224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.02.012>.
17. Zavorokhina NV, Golub OV, Poznyakovskiy VM. Sensornyy analiz prodovol'stvennykh tovarov na predpriyatiyakh pishchevoy promyshlennosti, trgovli i obshchestvennogo pitaniya [Sensory analysis of food products in the food industry, trade, and public catering]. Moscow: INFRA-M; 2020. 144 p. (In Russ.).

Сведения об авторах

Степанова Алла Георгиевна

старший преподаватель кафедры торгового дела и рекламы, АНОО ВО ЦРФ «Сибирский университет потребительской кооперации», 630087, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 26, тел.: +7 (913) 913-99-96, e-mail: allavita@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-0150-3924>

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 (905) 965-81-22, e-mail: nat1861@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2479-8750>

Голуб Ольга Валентиновна

д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры товароведения и экспертизы товаров, АНОО ВО ЦРФ «Сибирский университет потребительской кооперации», 630087, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 26, тел.: +7 (909) 529-30-11, e-mail: golubiza@rambler.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2561-9953>

Information about the authors

Alla G. Stepanova

Senior Lecturer of the Department of Trade and Advertising, Siberian University of Consumer Cooperation, 26, Karl Marx Ave., Novosibirsk, 630087, Russia, phone: +7 (913) 913-99-96, e-mail: allavita@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-0150-3924>

Nataliia I. Davydenko

Dr.Sci.(Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Technology and Organization of Public Catering, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (905) 965-81-22, e-mail: nat1861@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2479-8750>

Olga V. Golub

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Professor of the Department of Commodity and Examination of Goods, Siberian University of Consumer Cooperation, 26, Karl Marx Ave., Novosibirsk, 630087, Russia, phone: +7 (909) 529-30-11, e-mail: golubiza@rambler.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2561-9953>

Степанова Елена Николаевна

канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры товароведения и экспертизы товаров, АНО ВО ЦРФ «Сибирский университет потребительской кооперации», 630087, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 26, тел.: +7 (913) 931-10-90, e-mail: enstepanova@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6183-1313>

Elena N. Stepanova

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Commodity and Examination of Goods, Siberian University of Consumer Cooperation, 26, Karl Marx Ave., Novosibirsk, 630087, Russia, phone: +7 (913) 931-10-90, e-mail: enstepanova@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6183-1313>

Изучение физико-химических свойств и биологической активности экстрактов из высушенной биомассы каллусных, суспензионных клеток и корневых культур *in vitro*

Йонг Янг¹, Л. К. Асякина², О. О. Бабич³, Л. С. Дышлюк², С. А. Сухих^{3,*},
А. Д. Попов³, Н. В. Костюшина³



¹ Цицикарский университет,
161006, Китай, г. Цицикар, ул. Венхуа, 42

² ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

³ ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет
имени Иммануила Канта»,

236016, Россия, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14

Дата поступления в редакцию: 29.06.2020
Дата принятия в печать: 28.08.2020

*e-mail: stas-asp@mail.ru



© Йонг Янг, Л. К. Асякина, О. О. Бабич, Л. С. Дышлюк, С. А. Сухих, А. Д. Попов, Н. В. Костюшина, 2020

Аннотация.

Введение. Одной из актуальных проблем медицины и биологии является использование растительных объектов в качестве промышленных продуцентов целевых метаболитов *in vitro*. Цель работы: состояла в изучении физико-химических свойств и биологической активности экстрактов из высушенной биомассы каллусных, суспензионных клеток и корневых культур *in vitro*.

Объекты и методы исследования. Лекарственные растения, произрастающие в Сибирском федеральном округе. Физико-химические свойства, такие как содержание золы, тяжелых металлов, органических растворителей, определялись стандартными методиками. Антимикробные свойства *in vitro* экстрактов определялись диффузионным методом и методом, основанным на измерении оптической плотности. В качестве условно-патогенных и патогенных тест-штаммов микроорганизмов использовались: *E. coli* ATCC 25922, *S. aureus* ATCC 25923, *P. vulgaris* ATCC 63, *P. aeruginosa* ATCC 9027, *C. albicans* ЭМТК 34. Используя МТТ-колориметрический метод, проводили определение количества жизнеспособных раковых клеток.

Результаты и их обсуждение. В работе представлены результаты исследования физико-химических свойств, показателей безопасности, антиоксидантной активности, антимикробной активности и противоопухолевых свойств экстрактов комплекса биологически активных веществ из высушенной биомассы каллусных, суспензионных культур клеток и корневых культур *in vitro*. Доказано, что максимальные антимикробные и цитотоксические свойства характерны для экстрактов из высушенной биомассы корневых культур *in vitro* лекарственных растений. Установлено, что они способны снижать выживаемость раковых клеток до 24,8–36,8 %.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что экстракты из высушенной биомассы каллусных, суспензионных культур клеток и корневых культур *in vitro* левзеи сафлоровидной (*Leuzea carthamoides* L.), родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.), шлемника байкальского (*Scutellaria baicalensis* L.), шлемника андрахновидного (*Scutellaria andrachnoides* L.), шлемника обыкновенного (*Scutellaria galericulata* L.), лапчатки белой (*Potentilla alba* L.) и женьшеня (*Panax* L.) могут быть использованы для производства фармацевтических препаратов и биологически активных добавок противоопухолевого, антимикробного и антиоксидантного действия.

Ключевые слова. Лекарственные растения, биологически активные добавки, клетки растений, культура клеток, бактерии

Финансирование. Работа выполнена в рамках реализации соглашения № 075-15-2019-1362 от 14.06.2019 с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) по программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы». Уникальный идентификатор проекта RFMEFI57718X0285.

Для цитирования: Изучение физико-химических свойств и биологической активности экстрактов из высушенной биомассы каллусных, суспензионных клеток и корневых культур *in vitro* / Йонг Янг, Л. К. Асякина, О. О. Бабич [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 480–492. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-480-492>.

Physicochemical properties and biological activity of extracts of dried biomass of callus and suspension cells and *in vitro* root cultures

Yong Yang¹, Lyudmila K. Asyakina², Olga O. Babich³, Lyubov S. Dyshlyuk², Stanislav A. Sukhikh^{3,*}, Alexander D. Popov³, Nina V. Kostyushina³

¹ Qiqihar University,
42, Wenhua Str., Qiqihar, 161006, China

² Kemerovo State University,
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia

³ Immanuel Kant Baltic Federal University,
14, A. Nevskogo Str., Kaliningrad, 236016, Russia

Received: June 29, 2020

Accepted: August 28, 2020

*e-mail: stas-asp@mail.ru



© Yong Yang, L.K. Asyakina, O.O. Babich, L.S. Dyshlyuk, S.A. Sukhikh, A.D. Popov, N.V. Kostyushina, 2020

Abstract.

Introduction. One of the urgent problems of medicine and biology is the use of plant objects as industrial producers of target metabolites *in vitro*. *In vitro* cells can be used as pharmaceutical preparations.

Study objects and methods. The present research featured medicinal plants that grow in the Siberian Federal district and are a popular source of medicinal raw materials. The physicochemical properties, e.g. total ash content in extracts, the content of heavy metals, the content of organic solvents in the extracts, and the mass loss upon drying was determined by standard methods. The antimicrobial properties of *in vitro* extracts were determined by the diffusion method and the method based on optical density measurement. The list of opportunistic and pathogenic test strains included the following microorganisms: *E. coli* ATCC 25922, *S. aureus* ATCC 25923, *P. vulgaris* ATCC 63, *P. aeruginosa* ATCC 9027, and *C. albicans* EMTC 34. The number of viable cancer cells was determined using the MTT colorimetric method.

Results and discussion. The paper describes the physicochemical properties, safety indicators, antioxidant activity, antimicrobial activity, and antitumor properties of extracts of a complex of biologically active substances obtained *in vitro* from the dried biomass of callus and suspension cell cultures and root cultures. The root extracts proved to have the maximum antimicrobial and cytotoxic properties. They could reduce the survival rate of cancer cells to 24.8–36.8 %.

Conclusion. The research featured extracts obtained from the dried biomass of callus and suspension cell cultures and root cultures *in vitro* of safflower leuzea (*Leuzea carthamoides* L.), *Rhodiola rosea* (*Rhodiola rosea* L.), various sorts of skullcap (*Scutellaria baicalensis* L., *Scutellaria andrachnoides* L., *Scutellaria galericulata* L.), *Potentilla alba* (*Potentilla alba* L.) and ginseng (*Panax* L.). The results showed that the extracts can be used for the production of pharmaceuticals and biologically active additives with antitumor, antimicrobial, and antioxidant properties.

Keywords. Medicinal plants, biologically active additives, plant cells, cell culture, bacteria

Funding. The research is part of agreement No. 075-15-2019-1362 dated June 14, 2019, with the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka), program “Research and Development in Priority Areas of Development of the Scientific and Technological Complex of Russia for 2014–2020”, unique project identifier RFMEFI57718X0285.

For citation: Yang Y, Asyakina LK, Babich OO, Dyshlyuk LS, Sukhikh SA, Popov AD, et al. Physicochemical properties and biological activity of extracts of dried biomass of callus and suspension cells and *in vitro* root cultures. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):480–492. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-480-492>.

Введение

Состояние здоровья и среды обитания, качество продуктов питания и лекарственных препаратов не удовлетворяют потребности современного человека. В России неуклонно растет число лиц, страдающих или склонных к различным неинфекционным заболеваниям NCD (болезни сердца и сосудов, рак, бронхиальная астма, сахарный диабет и др.), которые имеют длительную продолжительность

и являются результатом сочетания генетических, физиологических, экологических и поведенческих факторов [1].

Известно, что до 70 % лекарственных противоопухолевых препаратов либо полностью растительного происхождения, либо содержат компоненты растительного происхождения. Однако, в связи с неблагоприятной экологической обстановкой, а также интенсивно возрастающим

уровнем потребности в лекарственном сырье, возникает его дефицит. Новым решением является использование в качестве альтернативного источника возобновляемого экологически чистого сырья культур клеток и органов (бородатых корней, hairy roots) высших растений [2].

Культура клеток высших растений представляет собой уникальную, экспериментально созданную биологическую систему – популяцию растительных соматических клеток. В результате фундаментальных исследований было показано, что клетки *in vitro* по ряду характеристик отличаются от клеток интактного растения. Это касается интенсивности роста клеток, а также особенностей синтеза и накопления в них биологически активных веществ [3–5]. Клетки в культуре интенсивно делятся. При оптимальных условиях выращивания продуктивность по биомассе суспензионных культур может составить более грамма сухой биомассы с литра среды за сутки. Качественный и количественный состав вторичных метаболитов в клетках *in vitro* может отличаться от подобного состава интактных растений [6–9]. В культуре клеток содержание этих веществ может быть ниже, чем в целых растениях. Однако известны примеры, когда клетки *in vitro* в несколько раз превосходили по содержанию биологически активных веществ интактные растения (стероидные гликозиды в культуре клеток диоскореи дельтовидной, шиконин в культуре клеток воробейника краснокорневого, берберин в культуре клеток барбариса и др.) [10–13].

В плане практическое использование культур клеток и органов в растительной промышленной биотехнологии. К настоящему времени в мире известно лишь несколько эффективных биотехнологических производств, основанных на крупномасштабном выращивании культур клеток и органов высших растений. На фирме CBN Biotech организовано крупномасштабное выращивание адвентивных корней женьшеня настоящего в биореакторах объемом 10000 литров. По сравнению с культурой клеток адвентивные корни *in vitro* растут медленнее. Однако композиция биологически активных веществ в органах *in vitro* близка к подобной у интактных органах. В Германии крупномасштабное производство биомассы культуры клеток тиса организовано на фирме Phyton (г. Аренсбург), где создана промышленная линия с конечным биореактором объемом 75000 литров [14–16].

Адвентивные корни являются медленно растущими. Поэтому ряд западных фирм (французская Root Lines Technology, швейцарская ROOTec) предпочитают использовать не адвентивные корни, а быстрорастущие бородатые корни (hairy roots). Однако большинство коммерческих разработок вышеназванных фирм засекречены [17, 18].

Использование технологии hairy roots выгодно и с экономической точки зрения. Например, артемизинин – сесквитерпен растительного происхождения – еще в 1994 г. был рекомендован Всемирной организацией здравоохранения в качестве высокоэффективного препарата для борьбы с малярией, которая является весьма распространенным и опасным заболеванием. По данным ВОЗ, например, в 2010 г. число заболевших малярией в мире превысило 200 млн. человек и смертельных исходов зафиксировано более 655 тысяч. В связи с этим необходимо иметь действенное средство от этой болезни [19]. Однако содержание артемизинина в полыни однолетней невелико (от 0,01 до 0,42 %), что делает его экстракцию нерентабельной. Химический синтез артемизинина весьма сложен, многостадийен и характеризуется крайне низким выходом. Попытки увеличить содержание природного артемизинина в культурах тканей, в том числе каллусных, особого успеха не имели. Культура «hairy roots» обеспечила повышенный выход данного вторичного метаболита – лекарственного препарата. В связи с этим разными авторами из многих стран с помощью разных штаммов *A. rhizogenes* созданы многочисленные культуры *Artemisia annua*, отличающиеся по эффективности накопления целевого продукта.

Культуры клеток и органов растений могут быть использованы также как сырье для химического синтеза важных продуктов фармацевтики. Например, для лечения онкологических заболеваний используется паклитаксел (коммерческое название «Таксол»). Это вещество терпеноидной природы содержится в крайне малых количествах (менее 0,1 %) в коре ряда видов тиса *Taxus* – медленно растущих хвойных деревьев. Для проведения только одного курса химиотерапии необходимо уничтожение 8–10 взрослых дерева тиса. В Германии на фирме Phyton организовано крупномасштабное производство биомассы культуры клеток тиса в биореакторах объемом 75000 литров [5–7]. Однако содержание паклитаксела в культуре клеток также невысоко и стоимость конечного продукта (паклитаксела) составляет \$2–3 млн. за 1 кг. Обсуждается вариант биотехнологического производства не конечного продукта, а его предшественников (например, баккатина III) в суспензионной культуре клеток тиса ягодного. При этом стоимость конечного продукта планируется снизить до \$600 тыс за 1 кг. В настоящее время наиболее рентабельным производством паклитаксела считается наработка в культуре растительных клеток его предшественника – 10-деацетилбаккатина III, который методом полусинтеза превращают в пакли-таксел. В настоящее время имеются сообщения о создании трансгенных растений араби-допсиса *Arabidopsis thaliana* и томата *Solanum lycopersicum*, в которых введенные гены изменяют пути метаболизма изопреноидов.

Это привело к наработке различных таксадиенов – предшественников паклитаксела [8, 9].

В России до сих пор не уделяется должного внимания *in vitro* культурам высших растений – продуцентам биологически активных соединений. Лишь несколько научных групп по всей России ведут фундаментальные и прикладные исследования, используя в качестве модельных объектов каллусные культуры. При этом успешно реализованные в этой области коммерческие проекты в России практически отсутствуют. К настоящему времени известен лишь один пример производства на основе биомассы суспензионной культуры клеток парафармацевтического препарата «Витагмал», который был создан усилиями сотрудников Института физиологии растений РАН (Отдел биологии клетки и биотехнологии под руководством А. М. Носова) и коммерческой фирмой «БИОФАРМОС» (Санкт-Петербург). Препарат имеет выраженное антигератогенное действие. В Институте физиологии растений РАН созданы коллекции культур клеток – продуцентов биологически активных веществ (ВРКК РФ) и культивируемых *in vitro* корней, полученных от более чем 40 видов растений, относящихся к 20 семействам.

Известно, что биологически активные вещества, содержащиеся в лекарственных растениях, обладают широким спектром физиологической активности, в частности антимикробной, антиоксидантной и противоопухолевой. Так, показан иммуномодулирующий, антимикробный и антимикотический эффект кофейной кислоты, а также ее способность к поглощению супероксидного радикала, образующегося в ходе аутоокисления адреналина *in vitro* [16]. Кофейная кислота при пероральном применении ингибирует рост и выживаемость линий опухолевых клеток у кроликов, обладает гепатопротекторным действием у крыс, наряду с феруловой кислотой оказывает кардиопротекторный эффект, увеличивая время жизни у крыс с аритмией [6, 20, 24]. В исследовании Х. Ли с соавторами кофейная кислота дозозависимо подавляет бактериальные активности *E. coli* и *P. aeruginosa* как в интактных клетках, так и в цитозольных экстрактах желудочно-кишечного тракта человека [14].

Рутин, относящийся к классу флавоноидов, обладает широким спектром биологической активности, в основе которой находятся ярко выраженные антиоксидантные свойства [2, 16, 19]. В разных модельных системах *in vitro* рутин проявляет антирадикальную активность, сравнимую или превосходящую активность таких природных антиоксидантов, как витамины Е и С [21]. В то же время в исследованиях *in vivo* в условиях окислительного стресса разной этиологии было обнаружено, что антиоксидантная активность

рутина связана не только с его антирадикальными свойствами, но и со способностью активировать антиоксидантные ферменты [12, 13, 16, 22].

Встречающийся во многих растениях флаваноид кверцетин относится к полифенольным соединениям и является вторичным метаболитом. Способность кверцетина захватывать пероксинитриты и гидроксильные радикалы, обладающие высокой реакционной способностью, является доказательством обладания протекторного свойства [7, 23]. Кверцетин – это один из самых мощных антиоксидантов среди полифенолов [5, 18, 24]. Также были продемонстрированы его противовирусные, антибактериальные, противораковые и противовоспалительные эффекты [3, 8]. Антисканцерогенные свойства кверцетина проявляются за счет его значительного воздействия на увеличение апоптоза в мутантных клетках, ингибирование синтеза ДНК, ингибирование роста раковых клеток, снижение и модификация сотовой сигнальной трансдукции [25].

Мангиферин обладает высокой биологической активностью, что подтверждают современные зарубежные исследования. Выявлена иммунопротекторная, радиопротекторная, антиоксидантная активность [10, 11, 17, 26]. Мангиферин обладает протекторной функцией при индуцированном инфаркте миокарда, восстанавливая антиоксидантные свойства ферментов сердечной ткани. Отмечено высокоэффективное действие мангиферина в предотвращении сердечно-сосудистых дисфункций благодаря антиоксидантным и кардиотоническим свойствам [27].

Цель данной работы – изучить физико-химические свойства и биологическую активность экстрактов из высушенной биомассы каллусных, суспензионных клеток и корневых культур *in vitro*.

В задачи исследований входило определение массовой доли влаги, массовой доли сухой золь, убыли массы при высушивании, остаточного растворителя, антимикробной и цитотоксичной активности экстрактов из высушенной биомассы каллусных, суспензионных клеток и корневых культур *in vitro* лекарственных растений.

Новизна данной работы заключается в разработке научно обоснованных подходов к исследованию *in vitro* изолированных клеток и «бородатых корней» лекарственных растений Сибирского региона с целью доказательства цитотоксических, антимикробных и антиоксидантных свойств, востребованных фармацевтическими предприятиями. Полученные культуры *in vitro* характеризуются такими преимуществами, как быстрый прирост биомассы, контролируемые условия выращивания, стабильные ростовые характеристики, синтез целевых биологически активных веществ, возможность культивирования в биореакторе, что позволяет получать растительное сырье круглогодично.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования в работе выбраны лекарственные растения, произрастающие в Сибирском федеральном округе и широко востребованные для получения лекарственного сырья: левзея сафлоровидная (*Leuzea carthamoides* L.), родиола розовая (*Rhodiola rosea* L.), шлемник байкальский (*Scutellaria baicalensis* L.), шлемник андрахновидный (*Scutellaria andrachnoides* L.), шлемник обыкновенный (*Scutellaria galericulata* L.), лапчатка белая (*Potentilla alba* L.) и женьшень (*Panax* L.)

Процесс экстрагирования биологически активных веществ (БАВ) осуществлялся следующим образом. Навеску 3,0 г сухого растительного сырья, взвешенную с точностью до 0,001 г, помещали в пластиковую пробирку объемом 50 мл, добавляли 40 мл соответствующего растворителя, помещали в шейкер и перемешивали в течение 60 мин. Сухую массу отделяли от раствора фильтрованием. Фильтрат дополнительно центрифугировали при 3900 об/мин для удаления взвешенных частиц. Растворитель из экстракта упаривали при пониженном давлении из предварительно взвешенной колбы объемом 100 мл. Колбу взвешивали и определяли выход экстракта. Остаток растворяли в минимальном количестве подходящего растворителя и фракционный состав полученного раствора исследовали методом тонкослойной хроматографии. Полученные результаты ТСХ для каждого растения архивировали и анализировали на предмет наличия веществ свидетелей, которыми выступали: кверцетин, мангиферин, лютеолин, рутин, кверцетин-2-D-глюкозид, кофейная кислота, коричная кислота, феруловая кислота, синапиновая кислота и мальвидин [6].

Пластинку помещали в камеру для тонкослойной хроматографии (ТСХ), в которую добавляли соответствующий элюент. В случае использования ТСХ на силикагеле без модификации хроматографию проводили в градиентном режиме в системе CH₂Cl₂:MeOH с градиентом метанола 0–10 % с шагом в 1 %. В случае обращенно-фазовой хроматографии использовали элюентную систему H₂O:MeCN с градиентом ацетонитрила 0–20 % с шагом 2 %. В качестве модификатора использовали трифторуксусную кислоту, которую добавляли в количестве 0,1 %.

После экстракции образцы БАВ сушили с помощью инфракрасной сушильной камеры при температуре 40 °C в течение 30 мин. Данная щадящая сушка позволяет сохранить весь набор индивидуальных БАВ, выделенных из каллусных, суспензионных культур клеток и корневых культур *in vitro*.

Далее проводился анализ физико-химических свойств и показателей безопасности экстрактов из

высушенной биомассы каллусных, суспензионных культур клеток и корневых культур *in vitro* лекарственных растений. В качестве физико-химических показателей выбраны массовая доля влаги, массовая доля сухой золы, убыль массы при высушивании, остаточный растворитель и антиоксидантная активность. В качестве основного показателя, по которому проводили оценку безопасности экстрактов комплекса БАВ из высушенной биомассы каллусных, суспензионных культур клеток и корневых культур *in vitro*, выбрано содержание тяжелых металлов.

Содержание общей золы в экстрактах определяли по методу, описанному в ОФС.1.2.2.2.0013.15. Содержание тяжелых металлов устанавливали по методу, описанному в ОФС.1.2.2.2.0012.15. Содержание органических растворителей в экстрактах определяли по методу ОФС.1.1.0008.15. Потерю массы при высушивании оценивали согласно методике ОФС.1.2.1.0010.15. Для проведения анализа используют бюксы высотой 35 мм и диаметром 25 мм. Точную навеску 0,15–0,20 г испытуемого образца помещают в бюкс и высушивают с открытой крышкой при температуре 60 ± 1 °C и остаточном давлении, не превышающем 0,667 кПа (5 мм рт. ст.), в течение 3 ч. Открытый бюкс вместе с крышкой помещают в эксикатор для охлаждения на 40 мин, после чего закрывают крышкой и взвешивают.

Потерю в массе при высушивании (X) в процентах вычисляют по формуле:

$$X = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\%$$

где m_1 – масса бюкса, доведенного до постоянной массы, г;

m_2 – масса бюкса с испытуемым образцом до высушивания, г;

m_3 – масса бюкса с испытуемым образцом после высушивания, г.

Определение содержания свинца, кадмия, мышьяка, ртути, хрома, олова проводили по ГОСТ Р 55447-2013. Содержание меди, цинка, кобальта устанавливали, используя ГОСТ Р 56372-2015. Определение ртути проводили согласно ГОСТ 34427-2018. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в растительных экстрактах выявляли по ОФС.1.5.3.0009.15.

Навеску высушенного экстракта массой 0,2–0,5 г, взятую с точностью до 0,0001 г, помещали в тefлоновый сосуд, добавляли 5 мл концентрированной азотной кислоты и 2 мл 30 % перекиси водорода и подвергали мокрому озолению в микроволновом минерализаторе MARS 6. Полученный раствор после минерализации разбавляли в мерной колбе до 50 мл и проводили анализ тяжелых металлов методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ОФС.1.2.1.1.0006.15) с использованием ламп селективного излучения

методом внешнего стандарта. При определении ртути применяли беспламенную атомную абсорбцию с использованием установки получения свободного пара ртути.

Определение содержания остаточных пестицидов в растительных экстрактах проводили согласно методу, описанному в ОФС.1.5.3.0011.15. Остаточное количество растворителя в экстрактах определяли с использованием метода газовой хроматографии/масс-спектрометрии (ОФС.1.2.1.1.0008.15) и масс-спектрометра типа MALDI-TOF (Bruker, Германия),

В качестве стандартов использовались ГСО стандарты растворителей, используемых при получении экстрактов: ГСО ацетон, ГСО этиловый спирт, ГСО метанол, ГСО эфир диэтиловый, ГСО изопропанол, ГСО этилацетат. ГСО были использованы в качестве внешнего стандарта и для построения калибровочной кривой. Идентификацию остаточных растворителей проводили, сопоставляя времена удерживания стандартных веществ и анализируемой пробы, а также с помощью масс-селективного детектора. Параметры настройки ГХ/МС при проведении анализа: скорость потока газа носителя 1 мл/мин, температура канала ввода пробы 250 °С, градиент температуры термостата от 50 до 150 °С за 10 мин, интерфейс ввода, устройство дозирования равновесного пара, температура интерфейса 90 °С, разогрев пробы в виале до 120 °С, уравнивание давления до 2 бар, скорость потока газа в линии носителя 5 мл/мин. Детектирование MS ионизация, электронный удар, диапазон детектирования 50–300 Мз, напряжение ФЭУ 3 кВ, режим сканирования – общий ионный ток + SEMI.

Антимикробные свойства *in vitro* экстрактов определялись в отношении роста условно-патогенных и патогенных тест-штаммов микроорганизмов диффузионным методом и методом, основанным на измерении оптической плотности.

В качестве условно-патогенных и патогенных тест-штаммов микроорганизмов использовали следующие медицинские и природные тест-штаммы: *E. coli* ATCC 25922, *S. aureus* ATCC 25923, *P. vulgaris* ATCC 63, *P. aeruginosa* ATCC 9027, *C. albicans* ЭМТК 34. Выбор тест-штаммов для исследования антимикробной активности экстрактов лекарственных растений обусловлен тем, что тестируемые штаммы вызывают заболевания у человека. *Escherichia coli* – условно-патогенная бактерия, вызывающая гастроэнтерит. *Staphylococcus aureus* – патогенная бактерия, вызывающая пневмонию, менингит, остеомиелит, эндокардит, инфекционно-токсический шок и сепсис. *Proteus vulgaris* – условно-патогенная бактерия, вызывающая кишечные инфекции. *Pseudomonas aeruginosa* – условно-патогенная бактерия, вызывающая нозокомиальные инфекции. *Candida albicans* – микроскопический гриб, возбудитель оппортунистических инфекций.

Диффузионный метод определения антимикробной активности экстрактов лекарственных растений заключался в следующем. Тест-штамм высевался на агаризованную питательную среду газонем и одновременно на газон помещали анализируемые экстракты. В качестве контроля использовался бумажный диск с питательной средой, препарата сравнения – диск с антибиотиком ципрофлоксацином (из стандартного набора). Чашки Петри инкубировались при температуре, соответствующей оптимальной температуре роста каждого тест-штамма, в течение 24 часов. Результаты учитывались по наличию и размеру (в мм) прозрачной зоны отсутствия роста микроорганизмов вокруг диска [13].

В случае использования второго метода для оценки антимикробного действия экстрактов проводили совместное инкубирование клеточных культур с исследуемыми экстрактами в 96-луночных планшетах для культивирования. Ночные бульонные культуры ресуспендировали в среде Мюллера-Хинтона (*Candida albicans* – в среде Сабуро), доводя количество микроорганизмов до посевной дозы $\sim 10^5$ КОЕ/мл. В лунки одновременно вносили клеточную суспензию и исследуемые экстракты в количестве 1/10 общего объема. Контроль – MRS. Препарат сравнения – ципрофлоксацин (10 мкг/мл). Общий объем суспензии в лунке – 200 мкл. Количество повторов – 2. Инкубировали при 35 °С на качалке (580 об/мин). Через 24 ч проводили измерение оптической плотности (ОП) на мультиридере при длине волны 595 нм. Наличие бактерицидности оценивали по изменению ОП в сравнении с контролем. В лунках, где рост клеток остановился или замедлился, ОП была ниже, чем в лунках с нормальным ростом микроорганизмов.

Фотометрия позволяет сравнить и оценить, насколько происходит изменение значения оптической плотности исследуемого раствора по отношению к контролю с изменением числа жизнеспособных клеток. На таких раковых клеточных линиях, как рак поджелудочной железы человека PANC-1, лимфома Беркитта ЛБР2 осуществлялось тестирование экстрактов *in vitro*. Для этого в специализированной среде RPMI 1640, которая в своём составе содержит фетальную бычью сыворотку с концентрацией 10 % от общего объема, 2 мМ L-глутамин и в равных концентрациях пенициллин и сульфат стрептомицин (100 мкг/мл), осуществляли культивирование раковых клеток при температурном режиме 37 °С. Осуществляли световую микроскопию при изучении клеток. Клеточную жизнеспособность определяли с использованием камеры Горяева.

При достижении раковыми клетками логарифмической фазы роста осуществляли их распределение в 96-луночные микропланшеты («Costar») с концентрацией 5×10^4 – $6,5 \times 10^4$ клеток

на каждую лунку. После этого рассредоточенные клетки по лункам инкубировали в течение суток, прежде чем добавить к ним исследуемые экстракты лекарственных растений, при условиях, что концентрация углекислого газа составляла около 5 %, а температура при этом поддерживалась на уровне 37 °С. По истечении 24 ч исследуемые экстракты добавляли в лунки с раковыми клетками и проводили культивирование на протяжении 48 ч. Используя МТТ-колориметрический метод, проводили определение количества жизнеспособных клеток после завершения инкубационного периода [11].

Цитотоксичность тестируемых экстрактов оценивали по формуле:

$$C=1 - \frac{N_o}{N_k} \cdot 100 \%$$

где N_o – оптическая плотность в опытных пробах;

N_k – оптическая плотность в контроле.

Результаты и их обсуждение

В результате исследования эффективности различных экстракционных систем получены максимальные по выходу тотальные экстракты из высушенной биомассы каллусных, суспензионных клеток и корневых культур *in vitro*.

Результаты исследования физико-химических свойств и показателей безопасности экстрактов комплекса БАВ из высушенной биомассы каллусных, суспензионных культур клеток и корневых культур *in vitro* лекарственных растений приведены в таблицах 1–3.

Результаты исследования физико-химических свойств экстрактов комплекса БАВ из высушенной биомассы каллусных культур клеток лекарственных растений (табл. 1) показывают, что все исследуемые образцы характеризуются низким содержанием влаги. Также показано, что в полученных экстрактах практически не содержится органический растворитель. Для всех исследуемых образцов значение показателя остаточного растворителя составляет менее 0,003 мкг/кг. Результаты свидетельствуют о том, что экстракты комплекса БАВ проявляют антиоксидантную активность. Так, экстракты комплекса БАВ из высушенной биомассы каллусных культур клеток лапчатки белой характеризуются высокой антиоксидантной активностью. Значение показателя антиоксидантной активности у данных экстрактов составляет от 1,14 до 4,08 мгDPPH/кг.

Анализ результатов, характеризующих физико-химические свойства экстрактов комплекса БАВ из высушенной биомассы суспензионных культур клеток лекарственных растений (табл. 2), свидетельствует о том, что уровень влаги в полученных экстрактах находится от 1,31 до 2,87 %. Массовая доля золы полученных экстрактов комплекса не превышает 1,51 %. Также показано, что в полученных экстрактах практически не содержится органический растворитель. Данный показатель не превышает 0,003 мкг/кг. Подробное изучение показателя антиоксидантной активности позволило сделать вывод о том, что все исследуемые экстракты обладают высокой антиоксидантной активностью. Максимальной антиоксидантной активностью

Таблица 1. Результаты исследования физико-химических свойств и показателей безопасности экстрактов комплекса БАВ из высушенной биомассы каллусных культур клеток лекарственных растений

Table 1. Physicochemical properties and safety indicators of extracts of the BAS complex obtained from the dried biomass of callus cell cultures of medicinal plants

Наименование показателя	Значение показателя для экстрактов, полученных из биомассы каллусных культур лекарственных растений						
	Левзея сафлоровидная	Родиола розовая	Шлемник байкальский	Шлемник андрахновидный	Лапчатка белая	Женьшень	Шлемник обыкновенный
Массовая доля влаги, %	2,08 ± 0,10	1,71 ± 0,09	1,23 ± 0,06	1,31 ± 0,07	1,87 ± 0,09	2,31 ± 0,12	1,47 ± 0,07
Массовая доля золы, %	0,41 ± 0,02	0,71 ± 0,04	0,62 ± 0,03	0,28 ± 0,01	0,63 ± 0,03	0,32 ± 0,02	0,79 ± 0,04
Убыль массы при высушивании, %	0,09 ± 0,010	0,11 ± 0,010	0,13 ± 0,010	0,05 ± 0,003	0,07 ± 0,004	0,07 ± 0,010	0,06 ± 0,003
Содержание остаточного растворителя, мкг/кг	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Антиоксидантная активность, мгDPPH/кг	1,14 ± 0,06	1,47 ± 0,07	1,35 ± 0,07	1,08 ± 0,05	3,55 ± 0,18	1,25 ± 0,06	1,71 ± 0,09
Содержание свинца, мг/кг	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Содержание кадмия, мг/кг	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Содержание меди, мг/кг	1,54 ± 0,08	1,21 ± 0,06	1,34 ± 0,07	1,47 ± 0,07	1,17 ± 0,06	3,27 ± 0,16	1,87 ± 0,09
Содержание цинка, мг/кг	0,43 ± 0,02	0,37 ± 0,02	0,69 ± 0,03	0,81 ± 0,04	0,53 ± 0,03	0,59 ± 0,03	0,63 ± 0,03
Содержание железа, мг/кг	1,21 ± 0,06	1,41 ± 0,07	1,74 ± 0,09	1,52 ± 0,08	1,81 ± 0,09	1,78 ± 0,09	1,51 ± 0,08
Содержание мышьяка, мг/кг	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08
Содержание ртути, мг/кг	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Таблица 2. Результаты исследования физико-химических свойств и показателей безопасности экстрактов комплекса БАВ из высушенной биомассы суспензионных культур клеток лекарственных растений

Table 2. Physicochemical properties and safety indicators of extracts of the BAS complex obtained from the dried biomass of suspension cultures of medicinal plant cells

Наименование показателя	Значение показателя для экстрактов, полученных из биомассы суспензионных культур лекарственных растений						
	Левзея сафлоровидная	Родиола розовая	Шлемник байкальский	Шлемник андрахновидный	Лапчатка белая	Женьшень	Шлемник обыкновенный
Массовая доля влаги, %	2,21 ± 0,11	1,51 ± 0,08	1,43 ± 0,07	1,97 ± 0,10	1,41 ± 0,07	2,87 ± 0,14	1,12 ± 0,06
Массовая доля золы, %	0,79 ± 0,04	1,12 ± 0,06	1,04 ± 0,05	0,98 ± 0,05	1,51 ± 0,08	0,52 ± 0,03	0,49 ± 0,03
Убыль массы при высушивании, %	0,17 ± 0,01	0,85 ± 0,04	0,67 ± 0,03	0,98 ± 0,05	0,26 ± 0,01	0,08 ± 0,01	1,55 ± 0,08
Содержание остаточного растворителя, мкг/кг	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Антиоксидантная активность, мгDPPH/кг	10,47 ± 0,52	5,31 ± 0,27	4,02 ± 0,20	3,04 ± 0,15	3,47 ± 0,17	10,22 ± 0,51	3,12 ± 0,16
Содержание свинца, мг/кг	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Содержание кадмия, мг/кг	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Содержание меди, мг/кг	1,31 ± 0,07	1,27 ± 0,06	1,61 ± 0,08	1,21 ± 0,06	1,11 ± 0,06	2,21 ± 0,11	1,33 ± 0,07
Содержание цинка, мг/кг	0,63 ± 0,03	0,73 ± 0,04	0,96 ± 0,05	0,21 ± 0,01	0,35 ± 0,02	0,51 ± 0,03	0,36 ± 0,02
Содержание железа, мг/кг	1,01 ± 0,05	1,27 ± 0,06	1,47 ± 0,07	1,25 ± 0,06	1,18 ± 0,06	1,21 ± 0,06	1,15 ± 0,06
Содержание мышьяка, мг/кг	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08
Содержание ртути, мг/кг	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Таблица 3. Результаты исследования физико-химических свойств и показателей безопасности экстрактов комплекса БАВ из высушенной биомассы корневых культур *in vitro* лекарственных растений

Table 3. Physicochemical properties and safety indicators of extracts of the BAS complex obtained from the dried biomass of *in vitro* root cultures of medicinal plants

Наименование показателя	Значение показателя для экстрактов, полученных из биомассы корневых культур <i>in vitro</i> лекарственных растений						
	Левзея сафлоровидная	Родиола розовая	Шлемник байкальский	Шлемник андрахновидный	Лапчатка белая	Женьшень	Шлемник обыкновенный
Массовая доля влаги, %	1,12 ± 0,06	1,71 ± 0,09	1,32 ± 0,07	1,13 ± 0,06	1,63 ± 0,08	1,73 ± 0,09	1,87 ± 0,09
Массовая доля золы, %	0,71 ± 0,04	0,31 ± 0,02	0,42 ± 0,02	0,38 ± 0,02	0,38 ± 0,02	0,52 ± 0,03	0,69 ± 0,03
Убыль массы при высушивании, %	0,03 ± 0,001	0,08 ± 0,010	0,10 ± 0,005	0,01 ± 0,005	0,06 ± 0,003	0,02 ± 0,001	0,02 ± 0,001
Содержание остаточного растворителя, мкг/кг	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Антиоксидантная активность, мгDPPH/кг	4,32 ± 0,22	6,71 ± 0,34	8,78 ± 0,44	9,14 ± 0,46	14,57 ± 0,73	5,81 ± 0,29	10,47 ± 0,52
Содержание свинца, мг/кг	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Содержание кадмия, мг/кг	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Содержание меди, мг/кг	1,14 ± 0,06	1,72 ± 0,09	1,16 ± 0,06	1,18 ± 0,06	1,67 ± 0,08	1,43 ± 0,07	1,87 ± 0,09
Содержание цинка, мг/кг	0,71 ± 0,04	0,43 ± 0,02	0,76 ± 0,04	0,31 ± 0,02	0,15 ± 0,01	0,54 ± 0,03	0,76 ± 0,04
Содержание железа, мг/кг	1,08 ± 0,05	1,37 ± 0,07	1,72 ± 0,09	1,34 ± 0,07	1,12 ± 0,06	1,11 ± 0,06	1,65 ± 0,08
Содержание мышьяка, мг/кг	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08
Содержание ртути, мг/кг	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

обладают экстракты комплекса БАВ из высушенной биомассы суспензионных культур клеток женьшеня и левзеи сафлоровидной.

Наибольшей антиоксидантной активностью обладают экстракты комплекса БАВ из высушенной биомассы корневых культур *in vitro* лекарственных растений (табл. 3).

Подробный анализ результатов изучения показателей безопасности экстрактов комплекса БАВ из высушенной биомассы каллусных, суспензионных культур клеток и корневых культур *in vitro* лекарственных растений, приведенных в таблицах 1–3, свидетельствует о том, что полученные экстракты безопасны, поскольку их показа-

Таблица 4. Результаты определения антимикробной активности экстрактов из высушенной биомассы каллусных, суспензионных культур клеток и корневых культур *in vitro* лекарственных растений диффузионным методом

Table 4. Antimicrobial activity of extracts obtained from dried biomass of callus and suspension cell cultures and *in vitro* root cultures of medicinal plants: diffusion method

Лекарственное растение	Диаметр зоны ингибирования разных тест-штаммов, мм, для экстрактов каллусных, суспензионных культур клеток и корневых культур <i>in vitro</i> лекарственных растений				
	<i>E. coli</i> ATCC 25922	<i>S. aureus</i> ATCC 25923	<i>P. vulgaris</i> ATCC 63	<i>P. aeruginosa</i> ATCC 9027	<i>C. albicans</i> ЭМТК 34
Левзея сафлоровидная	14,0 ± 0,7	17,0 ± 0,9	16,0 ± 0,8	15,0 ± 0,8	16,0 ± 0,8
	16,0 ± 0,8	13,0 ± 0,7	14,0 ± 0,7	14,0 ± 0,7	15,0 ± 0,8
	21,0 ± 1,1*	19,0 ± 1,0	22,0 ± 1,1	23,0 ± 1,2	21,0 ± 1,2
Родиола розовая	12,0 ± 0,6	15,0 ± 0,8	14,0 ± 0,7	17,0 ± 0,9	16,0 ± 0,8
	11,0 ± 0,6	14,0 ± 0,7	15,0 ± 0,8	18,0 ± 0,9	16,0 ± 0,8
	20,0 ± 1,0	19,0 ± 1,0	21,0 ± 1,1	22,0 ± 1,1	21,0 ± 1,1
Шлемник байкальский	18,0 ± 0,9	13,0 ± 0,7	16,0 ± 0,8	14,0 ± 0,7	15,0 ± 0,8
	17,0 ± 0,9	12,0 ± 0,6	17,0 ± 0,9	15,0 ± 0,8	16,0 ± 0,8
	22,0 ± 1,1	20,0 ± 1,0	21,0 ± 1,1	23,0 ± 1,2	22,0 ± 1,2
Шлемник андрахновидный	15,0 ± 0,8	12,0 ± 0,6	14,0 ± 0,7	17,0 ± 0,9	16,0 ± 0,8
	14,0 ± 0,7	11,0 ± 0,6	13,0 ± 0,7	16,0 ± 0,8	17,0 ± 0,9
	22,0 ± 1,1	20,0 ± 1,0	21,0 ± 1,1	22,0 ± 1,1	21,0 ± 1,1
Шлемник обыкновенный	16,0 ± 0,8	14,0 ± 0,7	15,0 ± 0,8	13,0 ± 0,7	16,0 ± 0,8
	18,0 ± 0,9	16,0 ± 0,8	14,0 ± 0,7	12,0 ± 0,6	14,0 ± 0,7
	23,0 ± 1,2	20,0 ± 1,0	19,0 ± 1,0	22,0 ± 1,1	21,0 ± 1,1
Лапчатка белая	16,0 ± 0,8	13,0 ± 0,7	14,0 ± 0,7	14,0 ± 0,7	15,0 ± 0,8
	18,0 ± 0,9	15,0 ± 0,8	15,0 ± 0,8	13,0 ± 0,7	15,0 ± 0,8
	21,0 ± 1,1	19,0 ± 1,0	20,0 ± 1,0	23,0 ± 1,2	22,0 ± 1,1
Женьшень	14,0 ± 0,7	12,0 ± 0,6	16,0 ± 0,8	15,0 ± 0,8	14,0 ± 0,7
	17,0 ± 0,9	14,0 ± 0,7	15,0 ± 0,8	16,0 ± 0,8	13,0 ± 0,7
	21,0 ± 1,1	20,0 ± 1,0	21,0 ± 1,1	22,0 ± 1,1	21,0 ± 1,1
Контроль	0	0	0	0	0
Ципрофлоксацин	23,0 ± 1,2	21,0 ± 1,1	22,0 ± 1,1	24,0 ± 1,2	23,0 ± 1,2

* первая строка – каллусные культуры; вторая строка – суспензионные культуры; третья строка – корневые культуры *in vitro*.

* line 1 – callus cultures; line 2 – suspension cultures; line 3 – *in vitro* root cultures.

Таблица 5. Результаты определения противоопухолевых свойств экстрактов из высушенной биомассы каллусных, суспензионных культур клеток и корневых культур *in vitro* лекарственных растений

Table 5. Antitumor properties of extracts obtained from dried biomass of callus and suspension cell cultures and *in vitro* root cultures of medicinal plants

Лекарственное растение	Выживаемость раковых клеток разных клеточных линий, %					
	PANC-1			ЛБР2		
	1	2	3*	1	2	3
Левзея сафлоровидная	45,6 ± 2,3	49,5 ± 2,5	33,2 ± 1,7	51,6 ± 2,6	53,2 ± 2,7	36,5 ± 1,8
Родиола розовая	48,4 ± 2,4	50,1 ± 2,5	32,8 ± 1,6	50,9 ± 2,5	52,0 ± 2,6	35,2 ± 1,8
Шлемник байкальский	46,8 ± 2,3	47,6 ± 2,4	33,9 ± 1,7	52,3 ± 2,6	53,5 ± 2,7	35,0 ± 1,8
Шлемник андрахновидный	44,1 ± 2,2	43,2 ± 2,2	35,6 ± 1,8	52,2 ± 2,6	54,1 ± 2,7	36,8 ± 1,8
Шлемник обыкновенный	47,2 ± 2,4	45,0 ± 2,3	34,1 ± 1,7	54,0 ± 2,7	48,7 ± 2,4	33,2 ± 1,7
Лапчатка белая	45,0 ± 2,3	44,1 ± 2,2	32,0 ± 1,6	51,9 ± 2,6	52,7 ± 2,6	35,7 ± 1,8
Женьшень	43,6 ± 2,2	47,8 ± 2,4	28,7 ± 1,4	48,9 ± 2,4	50,7 ± 2,5	32,4 ± 1,6

* 1 – каллусные культуры; 2 – суспензионные культуры; 3 – корневые культуры *in vitro*.

* 1 – callus cultures; 2 – suspension cultures; 3 – *in vitro* root cultures.

тели не превышают установленные нормативные значения.

Результаты определения антимикробных свойств экстрактов из высушенной биомассы каллусных, суспензионных культур клеток и корневых культур

in vitro лекарственных растений диффузионным методом представлены в таблице 4.

Данные таблицы 4 свидетельствуют о том, что все исследуемые экстракты обладают антимикробными свойствами в отношении тестируемых штаммов.

Максимальные антимикробные свойства характерны для экстрактов высушенной биомассы корневых культур *in vitro* лекарственных растений. Полученные результаты коррелируют с результатами определения антимикробных свойств экстрактов, полученных при использовании метода, основанного на измерении оптической плотности.

В работе исследовались цитотоксические свойства каллусных, суспензионных клеток и корневых культур *in vitro*.

Результаты определения противоопухолевых свойств экстрактов лекарственных растений приведены в таблице 5.

В контрольных вариантах (без добавления экстрактов) выживаемость обеих тестируемых клеточных линий (PANC-1, ЛБР2) составила 100 %

Из табличных данных следует, что все экстракты лекарственных растений характеризуются наличием противоопухолевых свойств в отношении тестируемых клеточных линий, т. к. вызывают снижение выживаемости раковых клеток. Следует отметить, что наиболее выраженными цитотоксическими свойствами обладают экстракты из высушенной биомассы корневых культур *in vitro* лекарственных растений, поскольку они способны снижать выживаемость раковых клеток до 24,8–36,8 %.

Выводы

В работе изучена *in vitro* биологическая активность (цитотоксическая, антимикробная, антиоксидантная) экстрактов из высушенной биомассы каллусных, суспензионных культур клеток и корневых культур *in vitro* лекарственных растений,

произрастающих в Сибирском федеральном округе. Полученные результаты свидетельствуют о том, что экстракты из высушенной биомассы каллусных, суспензионных культур клеток и корневых культур *in vitro* левзеи сафлоровидной (*Leuzea carthamoides* L.), родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.), шлемника байкальского (*Scutellaria baicalensis* L.), шлемника андрахновидного (*Scutellaria andrachnoides* L.), шлемника обыкновенного (*Scutellaria galericulata* L.), лапчатки белой (*Potentilla alba* L.) и женьшеня (*Panax* L.) могут быть использованы для производства фармацевтических препаратов и биологически активных добавок противоопухолевого, антимикробного и антиоксидантного действия.

Критерии авторства

Фактический вклад каждого автора: Йонг Янг – 13 %, Л. К. Асякина – 18 %, О. О. Бабич – 13 %, Л. С. Дышлюк – 28 %, С. А. Сухих – 13 %, А. Д. Попов – 5 %, Н. В. Костюшина – 10 %.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Contribution

Each of the authors is responsible for the following part of research: Y. Yang – 13%, L.K. Asyakina – 18%, O.O. Babich – 13%, L.S. Dyshlyuk – 28%, S.A. Sukhikh – 13%, A.D. Popov – 5%, N.V. Kostyushina – 10%.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Plant cell culture as emerging technology for production of active cosmetic ingredients / V. Georgiev, A. Slavov, I. Vasileva [et al.] // Engineering in Life Sciences. – 2018. – Vol. 18, № 11. – P. 779–798. DOI: <https://doi.org/10.1002/elsc.201800066>.
2. Shikonin production by callus culture of *Onosma bulbotrichom* as active pharmaceutical ingredient / F. Bagheri, R. Tahvilian, N. Karimi [et al.] // Iranian Journal of Pharmaceutical Research. – 2018. – Vol. 17, № 2. – P. 495–504.
3. Espinosa-Leal, C. A. In vitro plant tissue culture: means for production of biological active compounds / C. A. Espinosa-Leal, C. A. Puente-Garza, S. García-Lara // Planta. – 2018. – Vol. 248, № 1. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-018-2910-1>.
4. High production of bioactive depsides in shoot and callus cultures of *Aronia arbutifolia* and *Aronia × prunifolia* / A. Szopa, P. Kubica, A. Snoch [et al.] // Acta Physiologiae Plantarum. – 2018. – Vol. 40, № 3. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2623-x>.
5. Effect of plant growth regulators on coloured callus formation and accumulation of azadirachtin, an essential biopesticide in *Azadirachta indica* / S. Ashokhan, R. Othman, M. H. A. Rahim [et al.] // Plants. – 2020. – Vol. 9, № 3. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9030352>.
6. Plants of the Russian Federation pharmacopeia: an unexhausted natural products research opportunity? / E. Chupakhin, O. Babich, A. Prosekov [et al.] // Natural Product Research. – 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1727474>.
7. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02245>.
8. Extracts of *Rhodiola rosea* L. and *Scutellaria galericulata* L. in functional dairy products / A. V. Zaushintsena, E. N. Bruhachev, O. V. Belashova [et al.] // Foods and Raw Materials. – 2020. – Vol. 8, № 1. – P. 163–170. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-163-170>.

9. *Maackia amurensis* agglutinin discriminates between normal and chronic leukemic human lymphocytes / M. Benallal, H. Zotter, R. M. Anner [et al.] // *Biochemical and Biophysical Research Communications*. – 1995. – Vol. 209, № 3. – P. 921–929. DOI: <https://doi.org/10.1006/bbrc.1995.1586>.
10. Two isoprenoid-substituted isoflavans from roots of *Maackia tenuifolia* / J.-F. Zeng, G.-L. Li, X. Xu [et al.] // *Phytochemistry*. – 1996. – Vol. 43, № 4. – P. 893–896. DOI: [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(96\)00294-4](https://doi.org/10.1016/0031-9422(96)00294-4).
11. Absolute configuration of (–)-lusanine, a new lupin alkaloid in *maackia* species / K. Saito, T. Yoshino, S. Tsai [et al.] // *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. – 1987. – Vol. 35, № 3. – P. 1308–1310. DOI: <https://doi.org/10.1248/cpb.35.1308>.
12. Lupin alkaloids from Chinese *Maackia hupehensis* / Y.-H. Wang, J.-S. Li, H. Kubo [et al.] // *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. – 1999. – Vol. 47, № 9. – P. 1308–1310. DOI: <https://doi.org/10.1248/cpb.47.1308>.
13. Cytotoxic prenylated flavonoids from the stem bark of *Maackia amurensis* / X. Li, D. Wang, M. Xia [et al.] // *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. – 2009. – Vol. 57, № 3. – P. 302–306. DOI: <https://doi.org/10.1248/cpb.57.302>.
14. Li, X. A new cytosine-type alkaloid from the stem bark of *Maackia amurensis* / X. Li, D. Wang, Z. Cui // *Natural Product Research*. – 2010. – Vol. 24, № 16. – P. 1499–1502. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786410903265561>.
15. Isoflavonoid composition of a callus culture of the relict tree *Maackia amurensis* Rupr. et Maxim / S. A. Fedoreyev, V. P. Bulgakov, O. V. Grishchenko [et al.] // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2008. – Vol. 56, № 16. – P. 7023–7031. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf801227q>.
16. Callus cell proliferation from broccoli leaf slice using IBA and BAP *in vitro* culture: Its biochemical and antioxidant properties / A. B. M. Sharif Hossain, I. Haq, N. A. Ibrahim [et al.] // *Data in Brief*. – 2016. – Vol. 6. – P. 214–220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2015.11.061>.
17. Efferth, T. Biotechnology applications of plant callus cultures / T. Efferth // *Engineering*. – 2019. – Vol. 5, № 1. – P. 50–59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.11.006>.
18. Study of callus induction and cell culture to secondary metabolite production in *Hyssopus officinalis* L. / G. Pakseresht, D. Kahrizi, M. Mansouri [et al.] // *Journal of Reports in Pharmaceutical Sciences*. – 2016. – Vol. 5, № 2. – P. 104–111.
19. Production of callus biomass and antioxidant secondary metabolites in black cumin / A. Bibi, M. A. Khan, M. Adil [et al.] // *Journal of Animal and Plant Sciences*. – 2018. – Vol. 28, № 5. – P. 1321–1328.
20. Ali, A. M. A. Total phenolic and flavonoid contents and antioxidant activity of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) rhizome, callus and callus treated with some elicitors / A. M. A. Ali, M. E. M. El-Nour, S. M. Yagi // *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. – 2018. – Vol. 16, № 2. – P. 677–682. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2018.03.003>.
21. Ainsworth, E. A. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent / E. A. Ainsworth, K. M. Gillespie // *Nature Protocols*. – 2007. – Vol. 2, № 4. – P. 875–877. DOI: <https://doi.org/10.1038/nprot.2007.102>.
22. Determination of flavonoids as complexes with Al³⁺ in microemulsion media by HPLC method with fluorescence detection / A. Pirogov, L. Sokolova, E. Sokerina [et al.] // *Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies*. – 2016. – Vol. 39, № 4. – P. 220–224. DOI: <https://doi.org/10.1080/10826076.2016.1147462>.
23. Antioxidant potential in callus culture of *Artemisia amygdalina* Decne / R. Rasool, B. A. Ganai, A. N. Kamili [et al.] // *Natural Product Research*. – 2012. – Vol. 26, № 22. – P. 2103–2106. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2011.617749>.
24. Antioxidative effects of hesperetin against lead acetate-induced oxidative stress in rats / J. Wang, H. Zhu, Z. Yang [et al.] // *Indian Journal of Pharmacology*. – 2013. – Vol. 45, № 4. – P. 395–398. DOI: <https://doi.org/10.4103/0253-7613.115015>.
25. Molecular mechanisms behind the biological effects of hesperidin and hesperetin for the prevention of cancer and cardiovascular diseases / A. Roohbakhsh, H. Parhiz, F. Soltani [et al.] // *Life Sciences*. – 2015. – Vol. 124. – P. 64–74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2014.12.030>.
26. Antioxidant and anti-inflammatory properties of the citrus flavonoids hesperidin and hesperetin: an updated review of their molecular mechanisms and experimental models / H. Parhiz, A. Roohbakhsh, F. Soltani [et al.] // *Phytotherapy Research*. – 2015. – Vol. 29, № 3. – P. 323–331. DOI: <https://doi.org/10.1002/ptr.5256>.
27. Hesperidin and rutin, antioxidant citrus flavonoids, attenuate cisplatin-induced nephrotoxicity in rats / K. M. Kamel, O. M. Abd El-Raouf, S. A. Metwally [et al.] // *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*. – 2014. – Vol. 28, № 7. – P. 312–319. DOI: <https://doi.org/10.1002/jbt.21567>.

References

1. Georgiev V, Slavov A, Vasileva I, Pavlov A. Plant cell culture as emerging technology for production of active cosmetic ingredients. *Engineering in Life Sciences*. 2018;18(11):779–798. DOI: <https://doi.org/10.1002/elsc.201800066>.
2. Bagheri F, Tahvilian R, Karimi N, Chalabi M, Azami M. Shikonin production by callus culture of *Onosma bulbotrichom* as active pharmaceutical ingredient. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*. 2018;17(2):495–504.
3. Espinosa-Leal CA, Puente-Garza CA, García-Lara S. In vitro plant tissue culture: means for production of biological active compounds. *Planta*. 2018;248(1). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-018-2910-1>.
4. Szopa A, Kubica P, Snoch A, Ekiert H. High production of bioactive depsides in shoot and callus cultures of *Aronia arbutifolia* and *Aronia × prunifolia*. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2018;40(3). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2623-x>.

5. Ashokhan S, Othman R, Rahim MHA, Karsani SA, Yaacob JS. Effect of plant growth regulators on coloured callus formation and accumulation of azadirachtin, an essential biopesticide in *Azadirachta indica*. *Plants*. 2020;9(3). DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9030352>.
6. Chupakhin E, Babich O, Prosekov A, Asyakina L, Gureev M, Krasavin M. Plants of the Russian Federation pharmacopeia: an unexhausted natural products research opportunity? *Natural Product Research*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1727474>.
7. 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). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02245>.
8. Zaushintsena AV, Bruhachev EN, Belashova OV, Asyakina LK, Kurbanova MG, Vesnina AD, et al. Extracts of *Rhodiola rosea* L. and *Scutellaria galericulata* L. in functional dairy products. *Foods and Raw Materials*. 2020;8(1):163–170. DOI: <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-163-170>.
9. Benallal M, Zotter H, Anner RM, Lacotte D, Moosmayer M, Anner BM. *Maackia amurensis* agglutinin discriminates between normal and chronic leukemic human lymphocytes. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 1995;209(3):921–929. DOI: <https://doi.org/10.1006/bbrc.1995.1586>.
10. Zeng J-F, Li G-L, Xu X, Zhu D-Y. Two isoprenoid-substituted isoflavans from roots of *Maackia tenuifolia*. *Phytochemistry*. 1996;43(4):893–896. DOI: [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(96\)00294-4](https://doi.org/10.1016/0031-9422(96)00294-4).
11. Saito K, Yoshino T, Tsai S, Murakoshi I, Ohmiya S, Kubo H, et al. Absolute configuration of (–)-lusitanine, a new lupin alkaloid in maackia species. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 1987;35(3):1308–1310. DOI: <https://doi.org/10.1248/cpb.35.1308>.
12. Wang Y-H, Li J-S, Kubo H, Higashiyama K, Komiya H, Ohmiya S. Lupin alkaloids from Chinese *Maackia hupehensis*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 1999;47(9):1308–1310. DOI: <https://doi.org/10.1248/cpb.47.1308>.
13. Li X, Wang D, Xia M, Wang Z, Wang W, Cui Z. Cytotoxic prenylated flavonoids from the stem bark of *Maackia amurensis*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 2009;57(3):302–306. DOI: <https://doi.org/10.1248/cpb.57.302>.
14. Li X, Wang D, Cui Z. A new cytisine-type alkaloid from the stem bark of *Maackia amurensis*. *Natural Product Research*. 2010;24(16):1499–1502. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786410903265561>.
15. Fedoreyev SA, Bulgakov VP, Grishchenko OV, Veselova MV, Krivoschekova OE, Kulesh NI, et al. Isoflavonoid composition of a callus culture of the relict tree *Maackia amurensis* Rupr. et Maxim. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008;56(16):7023–7031. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf801227q>.
16. Sharif Hossain ABM, Haq I, Ibrahim NA, Aleissa MS. Callus cell proliferation from broccoli leaf slice using IBA and BAP *in vitro* culture: Its biochemical and antioxidant properties. *Data in Brief*. 2015;6:214–220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2015.11.061>.
17. Efferth T. Biotechnology applications of plant callus cultures. *Engineering*. 2019;5(1):50–59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.11.006>.
18. Pakseresht G, Kahrizi D, Mansouri M, Ghorbani T, Kazemi N. Study of callus induction and cell culture to secondary metabolite production in *Hyssopus officinalis* L. *Journal of Reports in Pharmaceutical Sciences*. 2016;5(2):104–111.
19. Bibi A, Khan MA, Adil M, Mashwani ZUR. Production of callus biomass and antioxidant secondary metabolites in black cumin. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 2018;28(5):1321–1328.
20. Ali AMA, El-Nour MEM, Yagi SM. Total phenolic and flavonoid contents and antioxidant activity of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) rhizome, callus and callus treated with some elicitors. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2018;16(2):677–682. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2018.03.003>.
21. Ainsworth EA, Gillespie KM. Estimation of total phenolic and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nature Protocols*. 2007;2(4):875–877. DOI: <https://doi.org/10.1038/nprot.2007.102>.
22. Pirogov A, Sokolova L, Sokerina E, Tataurova O, Shpigun O. Determination of flavonoids as complexes with Al³⁺ in microemulsion media by HPLC method with fluorescence detection. *Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies*. 2016;39(4):220–224. DOI: <https://doi.org/10.1080/10826076.2016.1147462>.
23. Rasool R, Ganai BA, Kamili AN, Akbar S. Antioxidant potential in callus culture of *Artemisia amygdalina* Decne. *Natural Product Research*. 2012;26(22):2103–2106. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2011.617749>.
24. Wang J, Zhu H, Yang Z, Liu Z. Antioxidative effects of hesperetin against lead acetate-induced oxidative stress in rats. *Indian Journal of Pharmacology*. 2013;45(4):395–398. DOI: <https://doi.org/10.4103/0253-7613.115015>.
25. Roohbakhsh A, Parhiz H, Soltani F, Rezaee R, Iranshahi M. Molecular mechanisms behind the biological effects of hesperidin and hesperetin for the prevention of cancer and cardiovascular diseases. *Life Sciences*. 2015;124:64–74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2014.12.030>.
26. Parhiz H, Roohbakhsh A, Soltani F, Rezaee R, Iranshahi M. Antioxidant and anti-inflammatory properties of the citrus flavonoids hesperidin and hesperetin: an updated review of their molecular mechanisms and experimental models. *Phytotherapy Research*. 2015;29(3):323–331. DOI: <https://doi.org/10.1002/ptr.5256>.

27. Kamel KM, Abd El-Raouf OM, Metwally SA, Abd El-Latif HA, El-sayed ME. Hesperidin and rutin, antioxidant citrus flavonoids, attenuate cisplatin-induced nephrotoxicity in rats. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*. 2014;28(7):312–319. DOI: <https://doi.org/10.1002/jbt.21567>.

Сведения об авторах

Янг Йонг

профессор колледжа пищевой промышленности и биоинженерии, Цицикарский университет, 161006, Китай, Цицикар, ул. Венхуа, 42, тел.: +7 (613) 020-002-853, e-mail: yangyong7904@163.com

Асякина Людмила Константиновна

канд. техн. наук, доцент кафедры бионанотехнологии, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-73, e-mail: alk_kem@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-4988-8197>

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: olich.43@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4921-8997>

Дышлюк Любовь Сергеевна

канд. био. наук, доцент кафедры бионанотехнологии, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-73, e-mail: soldatovals1984@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-7333-8411>

Сухих Станислав Алексеевич

канд. техн. наук, 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: stas-asp@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7910-8388>

Попов Александр Дмитриевич

научный сотрудник, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», 236016, Россия, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14, тел.: +7 (4012) 59-55-95, e-mail: ADpopov@kantiana.ru

Костюшина Нина Владеленовна

доцент, ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», 236016, Россия, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14, тел.: +7 (921) 260-55-52, e-mail: NiKostiushina@kantiana.ru

Information about the authors

Yong Yang

Professor of the College of Food and Bioengineering, Qiqihar University, 42, Wenhua Str., Qiqihar, 161006, China, phone: +7 (613) 020-002-853, e-mail: yangyong7904@163.com

Lyudmila K. Asyakina

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of BioNano-technology, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-73, e-mail: alk_kem@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-4988-8197>

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: olich.43@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4921-8997>

Lyubov S. Dyshlyuk

Dr.Sci.(Bio.), Associate Professor of the Department of BioNano-technology, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-73, e-mail: soldatovals1984@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-7333-8411>

Stanislav A. Sukhikh

Cand.Sci.(Eng.), Head of the Laboratory, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14, A. Nevskogo Str., Kaliningrad, 236016, Russia, phone: +7 (4012) 59-55-95, e-mail: stas-asp@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7910-8388>

Alexander D. Popov

Research, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14, A. Nevskogo Str., Kaliningrad, 236016, Russia, phone: +7 (4012) 59-55-95, e-mail: ADpopov@kantiana.ru

Nina V. Kostyushina

Associate Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14, A. Nevskogo Str., Kaliningrad, 236016, Russia, phone: +7 (921) 260-55-52, e-mail: NiKostiushina@kantiana.ru

Влияние сорта винограда, места его произрастания и технологии переработки на физико-химические показатели виноградной выжимки

А. Н. Тихонова*^{ORCID}, Н. М. Агеева^{ORCID}, С. А. Бирюкова^{ORCID},
Е. В. Глоба^{ORCID}, А. А. Абакумова^{ORCID}



Дата поступления в редакцию: 17.07.2020
Дата принятия в печать: 25.09.2020

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный
центр садоводства, виноградарства, виноделия,
350901, Россия, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39

*e-mail: anastasia.he@yandex.ru



© А. Н. Тихонова, Н. М. Агеева, С. А. Бирюкова, Е. В. Глоба, А. А. Абакумова, 2020

Аннотация.

Введение. Любые отходы – это вещества, которые могут и должны стать сырьем для получения различных продуктов. Поэтому отходы следует рассматривать как вторичные материальные ресурсы. В свете этих задач важное значение приобретает полное и комплексное использование отходов винодельческой промышленности, особенно виноградных выжимок, в связи с чем актуальной задачей является исследование их химического состава.

Объекты и методы исследования. Сладкие и сброженные выжимки белых и красных сортов винограда, полученные при производстве красных и белых вин на винодельческих предприятиях Краснодарского края. Определение массовых концентраций органических кислот и катионов щелочных и щелочно-земельных элементов проводили методом капиллярного электрофореза в экстрактах с последующим пересчетом на сухое вещество. Влажность вычисляли в процентах по изменению массы виноградных выжимок путем взвешивания навески до и после высушивания с последующим пересчетом.

Результаты и их обсуждение. Влажность сладких выжимок варьировала от $49,33 \pm 2,04$ до $70,35 \pm 0,60$ %, сброженных – от $47,49 \pm 0,02$ % до $64,24 \pm 0,60$ %. В исследуемых вариантах определены массовые концентрации винной, яблочной, янтарной, лимонной и молочной кислот, основное количество которых представлено винной и яблочной кислотами. Наибольшее количество винной кислоты выявлено в выжимках из винограда сорта «Рислинг» ($104,47 \pm 4,16$ г/кг), яблочной – «Шардоне» ($19,40 \pm 2,67$ г/кг), лимонной ($12,61 \pm 1,12$) и янтарной ($11,72 \pm 1,23$) а в выжимках сорта «Морава». Суммарная концентрация органических кислот в сладких выжимках была выше, чем в сброженных. Исследованы концентрации щелочных и щелочно-земельных элементов виноградных выжимок. Установлено, что основным катионом выжимки является калий, доля которого в общей минерализации выжимки составляла до 94 %. Наибольшая массовая концентрация калия выявлена в выжимке винограда сорта «Рислинг» ($36,46 \pm 4,65$ г/кг). В сброженной выжимке красных сортов винограда массовая концентрация калия была значительно меньше, чем в сладкой выжимке белых сортов винограда. Показаны значительные корреляции между содержанием винной кислоты и калия в выжимках винограда.

Выводы. Установлено существенное варьирование концентрации исследованных органических кислот и катионов щелочных и щелочно-земельных металлов в зависимости от сорта винограда, места его произрастания и переработки. Выжимки винограда имели различную влажность, которая зависела от объема жидкой фракции – суслу или виноматериала, отобранных при прессовании для производства вина.

Ключевые слова. Ягоды, влажность, органические кислоты, винная кислота, яблочная кислота, катионы

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и администрации Краснодарского края (АКК) в рамках научного проекта № 19-416-233027 и частично в рамках выполнения госзадания ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (ФГБНУ СКФНЦСВВ).

Для цитирования: Влияние сорта винограда, места его произрастания и технологии переработки на физико-химические показатели виноградной выжимки / А. Н. Тихонова, Н. М. Агеева, С. А. Бирюкова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 493–502. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-493-502>.

Original article

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

Effect of grape variety, place of growth, and processing technology on the physical and chemical indicators of grape pomace

Anastasia N. Tikhonova*^{ORCID}, Natalia M. Ageyeva^{ORCID}, Svetlana A. Biryukova^{ORCID},
Ekaterina V. Globa^{ORCID}, Alla A. Abakumova^{ORCID}

Received: July 17, 2020

Accepted: September 25, 2020

*e-mail: anastasia.he@yandex.ru



© A.N. Tikhonova, N.M. Ageyeva, S.A. Biryukova, E.V. Globa, A.A. Abakumova, 2020

Abstract.

Introduction. Any waste can become a raw material for new products. Therefore, waste should be considered as secondary material resources. Grape pomace is the basic waste of wine industry, and research in its chemical composition may allow for a more effective recycling of food industry waste.

Study objects and methods. The research featured sweet and fermented pomace of white and red grapes, namely “Chardonnay”, “Sauvignon Blanc”, “Riesling”, “Pinot Blanc”, “Traminer Pink”, “Viognier”, “Morava” “Pinot Noir”, “Roesler”, “Cabernet Sauvignon”, “Merlot”, “Saperavi”, and “Rebo”. They were obtained in the production of wines at wineries in the Krasnodar region. Mass concentrations of organic acids and cations of alkaline and alkaline-earth elements were determined in extracts by capillary electrophoresis. The data was converted to dry matter. Moisture content was calculated as a percentage of the change in the mass of grape pomace.

Results and discussion. The moisture content of sweet pomace varied from 49.33 ± 2.04 to $70.35 \pm 0.60\%$, and in fermented pomace – from 47.49 ± 0.02 to $64.24 \pm 0.60\%$. The varieties were studied for mass concentrations of tartaric, malic, succinic, citric, and lactic acids. Tartaric and malic acids proved to be the most abundant ones. The pomace of Riesling grapes had the greatest amount of tartaric acid (104.47 ± 4.16 g/kg). The “Chardonnay” variety proved rich in malic acid (19.40 ± 2.67 g/kg), while the “Morava” pomace had the biggest amount of citric acid (12.61 ± 1.12) and succinic acid (11.72 ± 1.23). The research also defined concentrations of alkaline and alkaline-earth elements. Their content ranged from 41.04 to 3.29 g/kg. Potassium appeared to be the main cation in the pomace samples. The share of potassium in the total mineralization of pomace was up to 94%. The “Riesling” variety grown near Novorossiysk had the largest amount of potassium (36.46 ± 4.65 g/kg). The samples demonstrated a significant correlation between the content of tartaric acid and potassium.

Conclusion. The research revealed a significant variation in the concentration of the organic acids and cations of alkaline and alkaline-earth metals, depending on the grape variety, the place of its growth, and processing. The grape pomace samples differed moisture content. It depended on the volume of the liquid fraction, i.e. wort or wine material selected during pressing.

Keywords. Berries, moisture, organic acids, tartaric acid, malic acid, cations

Funding. The study was financially supported the Russian Foundation for Basic Research (RFBR) and the Administration of the Krasnodar Region as part of research project No. 19-416-233027 and state task of the North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, and Wine-Making (NCFSCHVW).

For citation: Tikhonova AN, Ageyeva NM, Biryukova SA, Globa EV, Abakumova AA. Effect of grape variety, place of growth, and processing technology on the physical and chemical indicators of grape pomace. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):493–502. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-493-502>.

Введение

Современный динамичный рост народного хозяйства приводит к ускоренному потреблению природных ресурсов. В условиях их ограниченности все большую остроту приобретает проблема их экономного использования.

Виноград в своем составе, кроме основного компонента виноградного сусла, обычно содержит примеси: выжимки, гребни и косточки. Их может колебаться в зависимости от множества факторов. В первую очередь – от сорта винограда и технологии его переработки. К числу наиболее ценного вторичного сырья относятся виноградные выжимки белых и красных сортов винограда. Они содержат органические кислоты, микроэлементы, витамины, виноградное масло, выделяемое из семян выжимки. Особенно ценны выжимки красных сортов винограда, в состав которых входят фенольные соединения, обладающие высокой антиоксидантной активностью. Именно эти вторичные продукты

могут стать отличным сырьем для производства полуфабрикатов (экстрактов, концентратов, танинов, пищевых волокон, виноградного масла и пр.), содержащих большое количество биологически ценных компонентов [1–4].

В связи с этим основными направлениями в решении проблемы экономии сырья являются разработка и применение комплексных технологий его переработки. Любые отходы – это вещества, которые могут и должны стать сырьем для получения различных продуктов. Поэтому отходы следует рассматривать как вторичные материальные ресурсы. В развитых винодельческих регионах мира построены специальные предприятия по переработке отходов с целью получения винной кислоты, виноградного масла, природных сорбентов, виноградной муки, а также биологических активных добавок, в том числе для медицины и косметологии.

В свете этих задач важное значение приобретает полное и комплексное использование отходов

винодельческой промышленности, особенно виноградных выжимок. Поэтому актуальной задачей является исследование их химического состава. В связи с внедрением в винодельческую промышленность нового технологического оборудования, в том числе линий по первичной переработке винограда, пневматических прессов непрерывного действия, обеспечивающих разделение качественного виноградного сусла и выжимки, многие литературные данные (полученные еще в 70–80-е годы прошлого столетия) о составе выжимок и их физико-химических характеристиках устарели. В зависимости от технологии переработки винограда выжимки подразделяют на сладкие и сброженные. Сладкие выжимки винограда получают в результате отделения виноградного сусла и содержащие до 8–10 % природных сахаров. Сброженные образуются при сбраживании мезги. Их химический состав различается не только по концентрации сахаров, но и по многим показателям из-за протекания процесса спиртового брожения.

Между тем, этот вопрос по-прежнему нуждается в дальнейших исследованиях. Имеется лишь небольшое количество работ, в которых выжимки рассматривают только с позиции конкретного вида производимой из них продукции. Также не уделяется должного внимания другим физико-химическим компонентам состава виноградной выжимки [5–8].

К числу наиболее значимых компонентов виноградных выжимок относятся органические кислоты. В связи с этим для получения новой информации нами изучены физико-химические показатели выжимок различных сортов винограда, переработанных винодельческими предприятиями Краснодарского края.

Объекты и методы исследования

Объектами исследований были сладкие и сброженные выжимки белых и красных сортов винограда «Шардоне», «Совиньон блан», «Рислинг», «Пино блан», «Траминер розовый», «Вионье», «Морава», «Пино нуар», «Розлер», «Каберне Совиньон», «Мерло», «Саперави» и «Ребо». Виноград был переработан различными винодельческими предприятиями Краснодарского края по общепринятым технологическим схемам производства сухих столовых вин [9]. Массовую долю сухого вещества определяли путем высушивания навески виноградных выжимок до постоянной массы при температуре 100 °С с последующим пересчетом. За окончательный результат определения принимали среднеарифметическое значение трех параллельных определений массовой доли сухого вещества, полученных в условиях повторяемости. Массовые концентрации органических кислот и катионов щелочных и щелочно-земельных элементов в экстрактах выжимок, полученных по [10], определяли методом капиллярного электрофореза (система капиллярного электрофореза «Капель-104 Т», Россия, ООО НПФ «ЛЮМЭКС») с последующим пересчетом данных на сухое вещество [11]. Стандартные отклонения совокупности данных и коэффициенты корреляции Пирсона для различных переменных были рассчитаны в Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

В зависимости от объема жидкой фракции – сусла или виноматериала, отобранных при прессовании для производства вина, – выжимки винограда имели различную влажность (табл. 1). В исследуемых сладких выжимках она варьировала от $49,33 \pm 2,04$ %

Таблица 1. Влажность исследуемых виноградных выжимок

Table 1. Moisture content in the grape pomace

№	Сорт винограда	Район произрастания	Тип выжимки	Влажность, %
1	«Шардоне»	Темрюкский	сладкая	$53,03 \pm 3,53$
2	«Шардоне»	Темрюкский	сладкая	$67,53 \pm 0,14$
3	«Шардоне»	Славянский	сладкая	$60,26 \pm 0,12$
4	«Совиньон блан»	Новороссийский	сладкая	$57,34 \pm 1,85$
5	«Совиньон блан»	Крымский	сладкая	$64,59 \pm 1,55$
6	«Рислинг»	Крымский	сладкая	$63,35 \pm 2,56$
7	«Рислинг»	Новороссийский	сладкая	$70,35 \pm 0,60$
8	«Пино блан»	Славянский	сладкая	$62,87 \pm 0,13$
9	«Траминер розовый»	Славянский	сладкая	$61,66 \pm 1,18$
10	«Морава»	Темрюкский	сладкая	$49,33 \pm 2,04$
11	«Вионье»	Новороссийский	сладкая	$67,78 \pm 0,30$
12	«Пино нуар»	Темрюкский	сладкая	$55,12 \pm 0,93$
13	«Розлер»	Темрюкский	сброженная	$50,67 \pm 0,85$
14	«Саперави»	Темрюкский	сброженная	$47,49 \pm 0,02$
15	«Каберне Совиньон»	Славянский	сброженная	$51,79 \pm 0,20$
16	«Мерло»	Геленджикский	сброженная	$64,46 \pm 0,37$
17	«Ребо»	Геленджикский	сброженная	$64,24 \pm 0,60$

Таблица 2. Массовая концентрация органических кислот в экстракте виноградных выжимок в пересчете на сухое вещество, г/кг

Table 2. Mass concentration of organic acids in the extract of grape pomace in terms of dry matter, g/kg

№	Сорт винограда	Район произрастания	Тип выжимок	Кислота					
				винная	яблочная	янтарная	лимонная	молочная	сумма
Белые сорта винограда									
1	«Шардоне»	Темрюкский	сладкие	29,18 ± 3,95	10,25 ± 1,17	0,28 ± 0,06	2,51 ± 0,51	0,21 ± 0,01	42,43
2	«Шардоне»	Темрюкский	сладкие	30,95 ± 3,01	19,40 ± 2,67	2,46 ± 0,49	1,42 ± 0,28	3,23 ± 0,65	57,46
3	«Шардоне»	Славянский	сладкие	40,95 ± 3,20	8,06 ± 1,14	1,39 ± 0,04	2,39 ± 0,47	2,10 ± 0,25	54,89
4	«Совиньон блан»	Новороссийский	сладкие	58,27 ± 2,30	6,32 ± 0,40	2,93 ± 0,15	3,74 ± 0,01	1,29 ± 0,05	72,55
5	«Совиньон блан»	Крымский	сладкие	64,30 ± 1,80	5,36 ± 0,01	2,26 ± 0,10	2,90 ± 0,35	0,42 ± 0,15	74,74
6	«Рислинг»	Крымский	сладкие	54,19 ± 3,68	7,78 ± 0,02	0,68 ± 0,02	1,37 ± 0,13	2,87 ± 0,40	66,89
7	«Рислинг»	Новороссийский	сладкие	104,47 ± 4,16	10,11 ± 0,95	4,55 ± 0,23	1,69 ± 0,31	0,84 ± 0,01	121,66
8	«Пино блан»	Славянский	сладкие	32,41 ± 2,31	9,15 ± 0,71	2,02 ± 0,35	2,56 ± 0,01	0,27 ± 0,12	46,41
9	«Траминер розовый»	Славянский	сладкие	32,89 ± 2,19	14,88 ± 0,66	1,31 ± 0,26	1,83 ± 0,36	1,31 ± 0,24	52,22
10	«Морава»	Темрюкский	сладкие	22,46 ± 1,16	15,96 ± 1,01	11,72 ± 1,23	12,61 ± 1,12	11,92 ± 0,54	74,67
11	«Вионье»	Новороссийский	сладкие	70,99 ± 3,72	7,91 ± 0,78	3,72 ± 0,10	0,78 ± 0,16	2,79 ± 0,01	86,19
<i>Максимум</i>			<i>сладкие</i>	<i>104,47</i>	<i>19,40</i>	<i>11,72</i>	<i>12,61</i>	<i>0,21</i>	<i>121,66</i>
<i>Минимум</i>			<i>сладкие</i>	<i>22,46</i>	<i>5,36</i>	<i>0,28</i>	<i>0,78</i>	<i>11,92</i>	<i>42,43</i>
Красные сорта винограда									
12	«Пино нуар»	Темрюкский	сладкие	27,65 ± 1,14	4,46 ± 0,42	1,78 ± 0,30	0,89 ± 0,15	1,56 ± 0,22	36,34
13	«Розлер»	Темрюкский	сброженные	20,30 ± 0,61	1,32 ± 0,10	1,62 ± 0,32	0,61 ± 0,12	0,81 ± 0,16	24,66
14	«Саперави»	Темрюкский	сброженные	27,17 ± 2,12	4,75 ± 0,57	0,19 ± 0,03	0,67 ± 0,13	0,57 ± 0,11	33,35
15	«Каберне Совиньон»	Славянский	сброженные	45,54 ± 3,06	1,97 ± 0,20	1,76 ± 0,05	0,72 ± 0,05	0	49,99
16	«Мерло»	Геленджикский	сброженные	86,41 ± 3,86	2,81 ± 0,02	3,09 ± 0,03	1,26 ± 0,02	3,93 ± 0,22	97,5
17	«Ребо»	Геленджикский	сброженные	100,24 ± 4,35	2,94 ± 0,36	2,52 ± 0,06	0,98 ± 0,12	2,24 ± 0,014	108,92
<i>Максимум</i>			<i>сброженные</i>	<i>100,24</i>	<i>4,75</i>	<i>3,09</i>	<i>1,26</i>	<i>3,93</i>	<i>108,92</i>
<i>Минимум</i>			<i>сброженные</i>	<i>20,30</i>	<i>1,32</i>	<i>0,19</i>	<i>0,61</i>	<i>0</i>	<i>24,66</i>

до $70,35 \pm 0,60$ %, в сброженных – от $47,49 \pm 0,02$ % до $64,24 \pm 0,60$ %. Существенное влияние на влажность выжимок оказывал тип вина, на производство которого использовали виноград. При изготовлении игристых, высококачественных столовых вин отбирается лучшая фракция (75–80 % от общего выхода виноградного сусла). Для производства столовых виноматериалов используют все 100 % виноградного сусла. Этим объясняется различие величины влажности для одного и того же сорта винограда. Например, 2 вариант сорта винограда «Шардоне» (табл. 1) получили при производстве игристого вина, варианты 1 и 3 – столового.

В процессе хранения влажность выжимок может изменяться. Поэтому для анализа их химического состава, а также объективного сравнения показателей между собой концентрации всех исследованных компонентов в дальнейших исследованиях пересчитывали на сухое вещество.

В таблице 2 представлены результаты анализа органических кислот в выжимках различных сортов винограда. Органические кислоты образуются в процессе дыхания растений за счет неполного окисления углеводов, а также по пути синтеза аминокислот в листьях, откуда они транспортируются в ягоды винограда. Накопление в винограде той или иной кислоты тесно связано со всем комплексом превращений органических кислот во время развития растения, с типом обмена веществ и его зависимостью от внешней среды.

Важнейшими органическими кислотами винограда и продуктов его переработки являются:

- винная, образующая из глюкозы по схеме: глюкоза – кето-5-глюконовая кислота – альдегид винной кислоты – гликолевый альдегид – винная кислота;
- яблочная, синтез которой протекает несколькими путями, в частности, путем декарбоксилирования пировиноградной кислоты;
- янтарная (мощный антиоксидант, наличие которого способствует инактивации окислительных процессов в винограде и продуктах его переработки) образуется в процессе дыхания. Янтарная кислота является продуктом пятой и субстратом шестой реакции цикла трикарбоновых кислот;
- лимонная кислота синтезируется в цикле Кребса ферментативным путем из ацетилкофермента А. Синтез лимонной кислоты происходит в результате конденсации какой-либо кислоты, содержащей четыре атома углерода и две карбоксильные группы, с кислотой, содержащей два атома углерода и одну карбоксильную группу [12–14].

В виноградной ягоде суммарное содержание винной и яблочной кислот может составлять более 90 % от суммы всех органических кислот [13]. В выжимках винограда, за исключением полученных из сорта винограда «Морава», процентное содержание суммы винной и яблочной кислот к общей сумме органических кислот составляет от 87,6 («Шардоне» Темрюкского района) до 96 % («Саперави») (рис. 1).

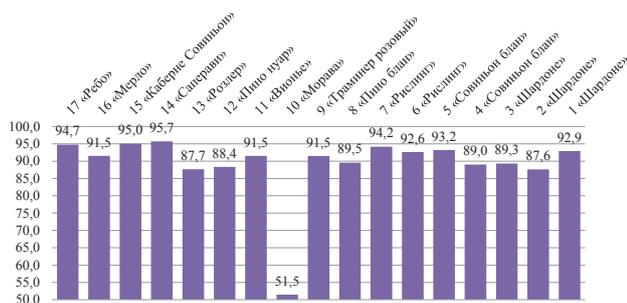


Рисунок 1. Процентное содержание суммы винной и яблочной кислот к общей сумме органических кислот в выжимке винограда, %

Figure 1. Percentage content of tartaric and malic acids to the total amount of organic acids in the grape pomace, %

В выжимке винограда из сербского белого технического сорта «Морава» (сложного межвидового гибрида) – 51,5 %, что связано с особенностями сорта.

Различие в содержании отдельных кислот – следствие различий в соотношении ферментативных реакций, лежащих в основе образования и превращения комплекса органических кислот в цикле Кребса [13].

Определены массовые концентрации винной, яблочной, янтарной, лимонной и молочной кислот. Выбор этих кислот обусловлен их значимым влиянием на качество винодельческой продукции и ее вторичного сырья [15]. Суммарные концентрации органических кислот варьировались в диапазоне от 20,30 до 121,46 г/кг.

Установлено существенное варьирование концентрации всех исследованных кислот как в зависимости от сорта винограда, так и от места его произрастания и технологии переработки. Наибольшее количество винной кислоты выявлено в выжимках из винограда сорта «Рислинг», обладающий высокой устойчивостью к окислительному распаду органических кислот, – $104,47 \pm 4,16$ г/кг. Далее следует «Вионье» – $70,99 \pm 3,72$ г/кг. Наименьшее количество винной кислоты выявлено в выжимках винограда из сорта «Морава» – $22,46 \pm 1,16$ г/кг. При этом в выжимках сорта «Морава» наблюдается наибольшее количество лимонной кислоты – $12,61 \pm 1,12$ г/кг. Высокая концентрация яблочной кислоты выявлена в выжимках сортов «Шардоне» Темрюкского района ($19,40 \pm 2,67$ г/кг), «Траминер розовый» ($14,88 \pm 0,66$ г/кг) и «Морава» ($15,96 \pm 1,01$ г/кг). К числу ценных компонентов виноградной выжимки относится янтарная кислота, которая, как и ее соли, обладает антиоксидантным действием. Ее наибольшее количество обнаружено в выжимках сорта «Морава» Темрюкского района – $11,72 \pm 1,23$ г/кг. Это свидетельствует о возможности переработки

выжимок винограда с целью производства экстрактов, концентратов и другой продукции с высокой биологической ценностью.

Молочная кислота в винограде содержится в малых концентрациях и определяется генетическими особенностями сорта. Ее образование связывают с анаэробным дыханием растений, которое активно протекает в ранних сортах винограда [14]. Высокая концентрация этой кислоты отмечена в выжимках из сорта «Морава» ($11,92 \pm 0,54$ г/кг), наименьшее – «Шардоне» ($0,21 \pm 0,01$ г/кг) и «Пино блан» ($0,27 \pm 0,12$ г/кг).

В процессе спиртового брожения сахаров виноградного сула органические кислоты претерпевают ряд изменений [15]. Например, под действием ферментных систем винных дрожжей из аминокислот синтезируются янтарная, молочная, яблочная, глиоксалева и другие кислоты. Часть яблочной кислоты превращается в молочную, лимонная кислота активно реагирует с катионами металлов, образуя соли и связанные формы [16]. В связи с этим в сброженных выжимках, в сравнении со сладкими, возможно снижение концентраций органических кислот. В результате проведенных исследований установлено, что массовые концентрации органических кислот в сброженных выжимках варьировались в достаточно широком интервале значений в зависимости от сорта винограда и места его произрастания. Наибольшее количество винной кислоты выявлено в выжимках винограда сорта «Ребо» Геленджикского района – $100,24 \pm 4,35$ г/кг.

Наибольшее количество яблочной кислоты было в сброженных выжимках «Саперави» ($4,75 \pm 0,57$ г/кг) и «Пино нуар» ($4,46 \pm 0,42$ г/кг); янтарной и лимонной – «Мерло» ($3,09 \pm 0,03$ и $1,26 \pm 0,02$ г/кг соответственно) и «Ребо» ($2,52 \pm 0,06$ и $0,98 \pm 0,12$ г/кг соответственно).

Концентрация молочной кислоты изменялась от 0 («Каберне Совиньон») до $3,93$ г/кг («Мерло»). Это объясняется тем, что при спиртовом брожении в стационарной стадии развития дрожжей в бродящую среду с целью кислотопонижения вносят бактерии яблочно-молочного брожения. Кроме того, спонтанное яблочно-молочное брожение может протекать одновременно со спиртовым за счет наличия на поверхности ягод яблочно-молочных бактерий. Поэтому концентрация молочной кислоты в виноградных выжимках обуславливается не сортовыми особенностями винограда, а технологией брожения.

Кислоты в винограде и продуктах его переработки могут находиться в свободном (по разным данным от 2,8 до 10 %) и связанном (преимущественно) состоянии [17]. При этом основными компонентами винограда, с которыми связаны кислоты, являются катионы щелочных и щелочно-земельных элементов,

прежде всего калия и кальция. Они образуют смесь виннокислого калия и виннокислого кальция – винный камень. В 70–80-е годы прошлого столетия винодельческие заводы, имевшие цеха утилизации, выделяли винный камень и передавали на предприятия по выработке винной кислоты. В связи с этим представляет интерес исследование концентрации щелочных и щелочно-земельных элементов виноградных выжимках.

В исследуемых вариантах определены катионы щелочных и щелочноземельных элементов – калия, натрия, магния и кальция. Установлено, что суммарные концентрации перечисленных катионов варьируются от 3,29 до 41,04 г/кг (табл. 3). Выявлено, что основным катионом выжимки является калий, доля которого в общей минерализации выжимки составляла до 94 %. Наибольшее количество калия выявлено в выжимке винограда сорта «Рислинг» ($36,46 \pm 4,65$ г/кг), произраставшем в районе г. Новороссийска, что коррелирует с высокой концентрацией винной кислоты. Высокая концентрация катиона калия выявлена также в выжимке из винограда «Рислинг» ($22,95 \pm 3,62$ г/кг) и «Совиньон блан» ($23,07 \pm 3,36$ г/кг) Крымского района. В этих же образцах выжимки отмечено наиболее высокое содержание катионов натрия и кальция.

В сброженной выжимке красных сортов винограда массовая концентрация катиона калия была меньше, чем в сладкой выжимке белых сортов винограда. Это связано с большей экстракцией катиона калия виноматериалом при сбраживании мезги. Наибольшее количество катионов калия выявлено в выжимке сортов винограда «Мерло» ($17,67 \pm 2,82$ г/кг) и «Ребо» ($18,45 \pm 2,96$), выращенных в районе г. Геленджик.

Концентрация катиона магния в сладких выжимках варьировалась в широком диапазоне концентраций – от 0,08 («Совиньон блан», Новороссийск) до 0,63 г/кг («Морава»); в сброженных выжимках – от 0,21 до 0,34 г/кг. Наличие магния в растении связывают с повышением содержания лимонной кислоты, что прослеживается на примере сортов винограда «Морава» и «Совиньон блан». Ион магния является активатором ферментной системы, катализирующей превращение яблочной кислоты в лимонную. Уменьшение концентрации катиона магния в сброженных выжимках, в сравнении со сладкими, можно объяснить его активным связыванием фосфат- и сульфатонами с образованием труднорастворимых соединений.

Результаты корреляционного анализа Пирсона между массовыми концентрациями органических кислот, катионов металлов, типом выжимки и

Таблица 3. Массовая концентрация щелочных и щелочно-земельных элементов в экстракте виноградных выжимок, г/кг сухого вещества

Table 3. Mass concentration of alkaline and alkaline-earth elements in the extract of grape pomace, g/kg dry matter

№	Сорт винограда	Район произрастания	Тип выжимок	Концентрация, г/кг (в пересчете на сухое вещество)				
				калий	натрий	магний	кальций	сумма
Белые сорта винограда								
1	«Шардоне»	Темрюкский	сладкие	$7,23 \pm 0,86$	$0,76 \pm 0,12$	$0,25 \pm 0,04$	$0,38 \pm 0,06$	8,62
2	«Шардоне»	Темрюкский	сладкие	$13,41 \pm 2,27$	$1,31 \pm 0,19$	$0,20 \pm 0,03$	$0,14 \pm 0,02$	15,06
3	«Шардоне»	Славянский	сладкие	$8,49 \pm 1,18$	$0,97 \pm 0,15$	$0,23 \pm 0,03$	$0,26 \pm 0,03$	9,96
4	«Совиньон блан»	Новороссийский	сладкие	$9,45 \pm 1,29$	$0,43 \pm 0,06$	$0,08 \pm 0,01$	$0,10 \pm 0,01$	10,05
5	«Совиньон блан»	Крымский	сладкие	$23,07 \pm 3,36$	$4,44 \pm 0,69$	$0,71 \pm 0,10$	$0,81 \pm 0,11$	29,03
6	«Рислинг»	Крымский	сладкие	$22,95 \pm 3,62$	$3,98 \pm 0,63$	$0,50 \pm 0,07$	$0,61 \pm 0,09$	28,04
7	«Рислинг»	Новороссийский	сладкие	$36,46 \pm 4,65$	$3,43 \pm 0,54$	$0,57 \pm 0,09$	$0,57 \pm 0,08$	41,04
8	«Пино блан»	Славянский	сладкие	$7,42 \pm 0,87$	$1,21 \pm 0,18$	$0,21 \pm 0,03$	$0,29 \pm 0,03$	9,13
9	«Траминер розовый»	Славянский	сладкие	$8,45 \pm 1,11$	$0,99 \pm 0,13$	$0,19 \pm 0,02$	$0,22 \pm 0,03$	9,84
10	«Морава»	Темрюкский	сладкие	$9,23 \pm 1,23$	$2,33 \pm 0,32$	$0,63 \pm 0,09$	$0,84 \pm 0,11$	13,03
11	«Вионье»	Новороссийский	сладкие	$10,78 \pm 1,72$	$1,21 \pm 0,18$	$0,18 \pm 0,02$	$0,31 \pm 0,04$	12,48
	<i>Максимум</i>		<i>сладкие</i>	36,46	4,44	0,71	0,84	41,04
	<i>Минимум</i>		<i>сладкие</i>	7,23	0,43	0,08	0,10	8,62
Красные сорта винограда								
12	«Пино нуар»	Темрюкский	сладкие	$5,15 \pm 0,76$	$0,84 \pm 0,12$	$0,34 \pm 0,05$	$0,60 \pm 0,09$	6,93
13	«Розлер»	Темрюкский	сброженные	$2,00 \pm 0,29$	$1,05 \pm 0,12$	$0,21 \pm 0,03$	$0,39 \pm 0,05$	3,65
14	«Саперави»	Темрюкский	сброженные	$1,91 \pm 0,25$	$0,82 \pm 0,11$	$0,21 \pm 0,04$	$0,34 \pm 0,04$	3,29
15	«Каберне Совиньон»	Славянский	сброженные	$8,71 \pm 1,25$	$1,30 \pm 0,21$	$0,25 \pm 0,03$	$0,69 \pm 0,07$	10,94
16	«Мерло»	Геленджикский	сброженные	$17,67 \pm 2,82$	$2,17 \pm 0,16$	$0,34 \pm 0,05$	$0,70 \pm 0,11$	20,89
17	«Ребо»	Геленджикский	сброженные	$18,45 \pm 2,96$	$2,11 \pm 0,35$	0,26	$0,65 \pm 0,08$	21,47
	<i>Максимум</i>		<i>сброженные</i>	18,45	2,17	0,34	0,70	21,47
	<i>Минимум</i>		<i>сброженные</i>	1,91	0,82	0,21	0,34	3,29

Таблица 4. Результаты корреляционного анализа Пирсона

Table 4. Results of Pearson correlation analysis

Показатель	Винная кислота	Яблочная кислота	Янтарная кислота	Лимонная кислота	Молочная кислота	Суммарное содержание органических кислот	K	Na	Mg	Ca	Суммарное содержание катионов металлов
Регион произрастания винограда (сладкие выжимки винограда)	0,75	-0,51	-0,24	-0,33	-0,37	0,54	0,58	0,56	0,21	0,08	0,58
Регион произрастания винограда	0,53	-0,10	-0,10	-0,15	-0,25	0,51	0,59	0,56	0,28	0,07	0,59
Тип выжимки	0,13	-0,66	-0,20	-0,33	-0,15	-0,26	-0,20	-0,13	-0,23	0,25	-0,19
Винная кислота		-0,28	0,06	-0,25	-0,09	0,73	0,81	0,53	0,26	0,32	0,79
Винная кислота (сладкие выжимки)		-0,36	-0,04	-0,34	-0,31	0,86	0,84	0,55	0,31	0,15	0,81
Яблочная кислота			0,38	0,48	0,44	0,18	0,08	-0,01	0,10	-0,32	0,07
Янтарная кислота				0,86	0,87	0,39	0,17	0,22	0,47	0,41	0,19
Лимонная кислота					0,84	0,16	-0,06	0,11	0,42	0,28	-0,02
Молочная кислота						0,17	0,01	0,17	0,39	0,36	0,05
Суммарное содержание органических кислот							0,76	0,55	0,40	0,25	0,75
K								0,82	0,63	0,41	1,00
Na									0,87	0,67	0,87
Mg										0,79	0,69
Mg (сладкие выжимки винограда)										0,94	0,69
Ca											0,47

регионом произрастания винограда представлен в таблице 4.

Выявлено, что на суммарное содержание исследуемых катионов металлов оказывает влияние массовая концентрация калия. Линейный коэффициент корреляции составил $r = 1,00$, границы 95 % доверительного интервала (далее ДИ) – от 0,99 до 1,0. Немного меньше взаимосвязь с натрием: $r = 0,75$, ДИ – от 0,67 до 0,95.

Суммарное содержание органических кислот коррелирует с массовой концентрацией винной кислоты $r = 0,73$, но ДИ – от 0,38 до 0,90, т. е. большой разброс. Взаимосвязь стала значимой при изменении выборки на результаты только сладких выжимок – $r = 0,86$, ДИ – от 0,65 до 0,95. Это объясняется тем, что винная кислота является основной в свежей виноградной кожице, а следовательно, и в сладких выжимках винограда. Виноградные выжимки после отделения виноматериалов (сброженные выжимки) дополнительно обогащаются кислотами, образовавшимися при брожении.

При рассмотрении корреляции между содержанием винной кислоты и катиона калия при анализе всех выжимок винограда $r = 0,81$, ДИ – от 0,56 до 0,93, а при анализе сладких выжимок винограда взаимосвязь также стала значима ($r = 0,84$, ДИ – от 0,61 до 0,93). Прослеживается также взаимосвязь между сладкими выжимками и регионом произрастания винограда ($r = 0,75$, ДИ – от 0,53 до 0,91).

Выявлена взаимосвязь суммарного содержания органических кислот в сладких выжимках и

катиона калия ($r = 0,83$, ДИ – от 0,57 до 0,94) и суммарного содержания катионов металлов ($r = 0,81$, ДИ – от 0,54 до 0,93). Взаимосвязь сумм компонентов связана с взаимосвязью компонентов, оказывающих влияние на них, т. е. калия и винной кислоты. Во время созревания винограда калий накапливается в виноградной кожице и образует растворимые и нерастворимые соли с органическими кислотами [18]. В выжимках винограда виннокислые соединения представлены в форме битартрата калия $\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$, которые легко растворяется в горячей воде.

Выводы

Установлено, что влажность сладких выжимок варьировалась от $49,33 \pm 2,04$ % до $70,35 \pm 0,60$ %, сброженных – от $47,49 \pm 0,02$ % до $64,24 \pm 0,60$ %. Показано существенное варьирование концентрации винной, яблочной, лимонной, янтарной и молочной кислот в зависимости от сорта винограда и места его произрастания. Наибольшее количество винной кислоты выявлено в выжимках из винограда сортов «Рислинг» и «Вионье», наименьшее – из сорта «Морава». В выжимках сорта «Морава» выявлено наибольшее количество лимонной кислоты. Высокая концентрация яблочной кислоты выявлена в выжимках сортов «Шардоне» Темрюкского района, «Траминер розовый» и «Морава». Суммарная концентрация органических кислот в сладких выжимках была выше, чем в сброженных. Установлено, что основным катионом выжимки является калий, доля которого в общей

минерализации выжимки составляла до 94 %. Наибольшее количество калия выявлено в выжимке винограда сорта «Рислинг», произраставшем в районе г. Новороссийска и Крымской районе, а также «Совиньон блан». В этих же образцах выжимки отмечено наиболее высокое содержание катионов натрия и кальция. В сброженной выжимке красных сортов винограда массовая концентрация калия была значительно меньше, чем в сладкой выжимке белых сортов винограда. Наибольшее количество катионов калия выявлено в выжимке сортов винограда «Мерло» и «Ребо», выращенных в районе г. Геленджик.

Критерии авторства

А. Н. Тихонова – 35 %, Н. М. Агеева – 35 %, С. А. Бирюкова – 10 %, Е. В. Глоба – 10 %, А. А. Абакумова – 10 %.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Благодарности

Авторы выражают особую благодарность Ю.

Ф. Якуба, руководителю Центра коллективного пользования СКФНЦСВВ за оказанную помощь при проведении анализов, а также предприятиям ОАО «АПФ «Фанагория», ЗАО «Славпром», МПБК «Очаково», ООО «Раевское», АО «Дивно-морье», ООО «Олимп» за представленные образцы виноградных выжимок для исследования.

Contribution

A.N. Tikhonova – 35%, N.M. Ageyeva – 35%, S.A. Biryukova – 10%, E.V. Globa – 10%, A.A. Abakumova – 10%.

Conflict of interest

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

Acknowledgements

The authors express their sincere gratitude to Yu.F. Yakuba, head of the Shared Access Center, of the North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, and Wine-making for the assistance in the analysis, as well as the enterprises of PC APF Fanagoria, CJSC Slavprom, MPBK Ochakovo, LLC Raevskoye, JSC Divnomorye, and LLC Olymp for the samples of grape pomace.

Список литературы

1. Bordiga, M. Valorisation of grape pomace: an approach that is increasingly reaching its maturity – a review / M. Bordiga, F. Travaglia, M. Locatelli // International Journal of Food Science and Technology. – 2019. – Vol. 54, № 4. – P. 933–942 DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.14118>.
2. From winery waste to bioactive compounds and new polymeric biocomposites: A contribution to the circular economy concept / M. Ferri, M. Vannin, M. Ehrnell [et al.] // Journal of Advanced Research. – 2020. – Vol. 24. – P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.02.015>.
3. Technology of production grape food fibers from grape surface / A. N. Tikhonova, N. M. Ageyeva, A. P. Biryukov [et al.] // 8th International Conference «Social Science and Humanity». – London, 2018. – P. 19–25.
4. Tsali, A. Valorization of grape pomace: Encapsulation and storage stability of its phenolic extract / A. Tsali, A. M. Goula // Powder Technology. – 2018. – Vol. 340. – P. 194–207. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.09.011>.
5. Тихонова, А. Н. Исследование химического состава виноградных выжимок с целью получения пищевых волокон / А. Н. Тихонова, Н. М. Агеева, А. П. Бирюков // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2–3. – С. 52.
6. Phenolic compounds recovery from grape skin using conventional and non-conventional extraction methods / T. W. Caldas, K. E. L. Mazza, A. S. C. Teles [et al.] // Industrial Crops and Products. – 2018. – Vol. 111. – P. 86–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.012>.
7. Макарова, Н. В. Сравнительные исследования методов извлечения биологически активных веществ с антиоксидантными свойствами из косточек винограда (*Vitis vinifera* L.) / Н. В. Макарова, Д. Ф. Валиулина, Н. Б. Еремеева // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2020. – Т. 10, № 1 (32). – С. 140–148. DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-140-148>.
8. Optimization of acid-extraction of pectic fraction from grape (*Vitis vinifera* cv. Chardonnay) pomace, a Winery Waste / C. Colodel, L. C. Vriesmann, R. F. Teófilo [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2020. – Vol. 161. – P. 204–213. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.272>.
9. Валуйко, Г. Г. Технология виноградных вин / Г. Г. Валуйко. – Симферополь : Таврида, 2001. – 624 с.
10. Органические кислоты выжимок винограда / А. Н. Тихонова, Н. М. Агеева, А. А. Абакумова [и др.] // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2020. – Т. 62, № 2. – С. 176–188. DOI: <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-62-2-176-188>.
11. Использование газовой хроматографии и капиллярного электрофореза для анализа винодельческой продукции / М. В. Кузилов, М. С. Ложникова, М. В. Захарова [и др.] // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2012. – Т. 14, № 2. – С. 116–128.

12. Coulter, A. D. Succinic acid-how is it formed, what is its effect on titratable acidity, and what factors influence its concentration in wine? / A. D. Coulter, P. W. Godden, I. S. Pretorius // Wine Industrial Journal. – 2004. – Vol. 19. – P. 16–24.
13. Ford, C. M. The biochemistry of organic acids in the grape / C. M. Ford // The biochemistry of the grape berry / H. Gerós, M. M. Chaves, S. Delrot. – Bentham Books, 2012. – P. 67–88. DOI: <https://doi.org/10.2174/978160805360511201010067>.
14. Vasudevan, D. M. Citric acid cycle / D. M. Vasudevan, S. Sreekumari, V. Kannan // Textbook of biochemistry for medical students / D. M. Vasudevan, S. Sreekumari, V. Kannan. – New Delh : Jaypee Brothers Medical, 2016. – P. 303–311. DOI: https://doi.org/10.5005/jp/books/13014_21.
15. Volschenk, H. Malic acid in wine: origin, function and metabolism during vinification / H. Volschenk, H. J. J. van Vuuren, M. Viljoen-Bloom // South African Journal of Enology and Viticulture. – 2006. – Vol. 27, № 2. – P. 123–136. DOI: <https://doi.org/10.21548/27-2-1613>.
16. Bayraktar, V. N. Organic acids concentration in wine stocks after *Saccharomyces cerevisiiae* fermentation / V. N. Bayraktar // Biotechnologia Acta. – 2013. – Vol. 6, № 2. – P. 97–106. DOI: <https://doi.org/10.15407/biotech6.02.097>.
17. Handbook of enology: the chemistry of wine stabilization and treatments. Volume 2 / P. Ribéreau-Gayon, Y. Glories, A. Maujean [et al.]. – John Wiley and Sons. – 2006. – 441 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/0470010398>.
18. Nunes, M. A. Grape processing by-products as active ingredients for cosmetic proposes / M. A. Nunes, F. Rodrigues, M. B. P. P. Oliveira // Handbook of grape processing by-products. Sustainable Solutions / C. M. Galanakis. – Academic Press, 2017. – P. 267–292. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809870-7.00011-9>.

References

1. Bordiga M, Travaglia F, Locatelli M. Valorisation of grape pomace: an approach that is increasingly reaching its maturity – a review. International Journal of Food Science and Technology. 2019;54(4):933–942 DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.14118>.
2. Ferri M, Vannin M, Ehrnell M, Eliasson L, Xanthakis E, Monari S, et al. From winery waste to bioactive compounds and new polymeric biocomposites: A contribution to the circular economy concept. Journal of Advanced Research. 2020;24:1–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.02.015>.
3. Tikhonova AN, Ageeva NM, Biryukov AP, Markovsky MG. Technology of production grape food fibers from grape surface. 8th International Conference «Social Science and Humanity»; 2018; London. London: SCIEURO; 2018. p. 19–25.
4. Tsali A, Goula AM. Valorization of grape pomace: Encapsulation and storage stability of its phenolic extract. Powder Technology. 2018;340:194–207. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.09.011>.
5. Tikhonova AN, Ageeva NM, Biryukov AP. Investigation of the chemical composition of husks of grapes to produce dietary fiber. Modern problems of science and education. 2015;(2–3):52. (In Russ.).
6. Caldas TW, Mazza KEL, Teles ASC, Mattos GN, Brígida AIS, Conte-Junior CA, et al. Phenolic compounds recovery from grape skin using conventional and non-conventional extraction methods. Industrial Crops and Products. 201;111:86–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.012>.
7. Makarova NV, Valiulina DF, Eremeeva NB. Comparative studies of extraction methods of biologically-active substances with antioxidant properties from grape seed (*Vitis vinifera* L.). Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2020;10(1)(32):140–148. DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-140-148>.
8. Colodel C, Vriesmann LC, Teófilo RF, de Oliveira Petkowicz CL. Optimization of acid-extraction of pectic fraction from grape (*Vitis vinifera* cv. Chardonnay) pomace, a Winery Waste. International Journal of Biological Macromolecules. 2020;161: 204–213. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.272>.
9. Valuyko GG. Tekhnologiya vinogradnykh vin [Grape wine technology]. Simferopol: Tavrida; 2001. 624 p. (In Russ.).
10. Tikhonova AN, Ageyeva NM, Abakumova AA, Biryukova SA, Globa EV. Organic acids of grape pomace. Fruit growing and viticulture of South Russia. 2020;62(2):176–188. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-2-62-176-188>.
11. Kuzilov MV, Lozhnikova MS, Zaharova MV, Yakuba YuF. Use of gas chromatography and capillary electrophoresis for analysis of wine production. Fruit growing and viticulture of South Russia. 2012;14(2):116–128. (In Russ.).
12. Coulter AD, Godden PW, Pretorius IS. Succinic acid-how is it formed, what is its effect on titratable acidity, and what factors influence its concentration in wine? Wine Industrial Journal. 2004;19:16–24.
13. Ford CM. The biochemistry of organic acids in the grape. In: Gerós H, Chaves MM, Delrot S. The biochemistry of the grape berry. Bentham Books; 2012. pp. 67–88. DOI: <https://doi.org/10.2174/978160805360511201010067>.
14. Vasudevan DM, Sreekumari S, Kannan V. Citric acid cycle. In: Vasudevan DM, Sreekumari S, Kannan V, editors. Textbook of biochemistry for medical students. New Delh: Jaypee Brothers Medical; 2016. pp. 303–311. DOI: https://doi.org/10.5005/jp/books/13014_21.
15. Volschenk H, van Vuuren HJJ, Viljoen-Bloom M. Malic acid in wine: origin, function and metabolism during vinification. South African Journal of Enology and Viticulture. 2006;27(2):123–136. DOI: <https://doi.org/10.21548/27-2-1613>.
16. Bayraktar VN. Organic acids concentration in wine stocks after *Saccharomyces cerevisiiae* fermentation. Biotechnologia Acta. 2013;6(2):97–106. DOI: <https://doi.org/10.15407/biotech6.02.097>.
17. Ribéreau-Gayon P, Glories Y, Maujean A, Dubourdieu D. Handbook of enology: the chemistry of wine stabilization and treatments. Volume 2. John Wiley and Sons; 2006. 441 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/0470010398>.

18. Nunes MA, Rodrigues F, Oliveira MBPP. Grape processing by-products as active ingredients for cosmetic proposes. In: Galanakis CM, editor. Handbook of grape processing by-products. Sustainable Solutions. Academic Press; 2017. pp. 267–292. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809870-7.00011-9>.

Сведения об авторах

Тихонова Анастасия Николаевна

канд. техн. наук, научный сотрудник научного центра «Виноделие», ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», 350901, Россия, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39, тел.: +7 (861) 252-58-77, e-mail: anastasia.he@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3509-3345>

Агеева Наталья Михайловна

д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник научного центра «Виноделие», ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», 350901, Россия, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39, тел.: +7 (861) 252-58-77, e-mail: ageyeva@inbox.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9165-6763>

Бирюкова Светлана Александровна

аспирант, младший научный сотрудник научного центра «Виноделие», ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», 350901, Россия, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39, тел.: +7 (861) 252-58-77, e-mail: b.svetlana777@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-8182-7429>

Глоба Екатерина Владимировна

младший научный сотрудник научного центра «Виноделие», ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», 350901, Россия, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39, тел.: +7 (861) 252-58-77, e-mail: balandina119@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6890-3076>

Абакумова Алла Андреевна

аспирант, младший научный сотрудник научного центра «Виноделие», ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», 350901, Россия, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, 39, тел.: +7 (861) 252-58-77, e-mail: kgau.0701@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3182-0197>

Information about the authors

Anastasia N. Tikhonova

Cand.Sci.(Eng.), Research of the Scientific Center «Wine-making», North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39, 40 years of Victory Str., Krasnodar, 350901, Russia, phone: +7 (861) 252-58-77, e-mail: anastasia.he@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3509-3345>

Natalia M. Ageyeva

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Chief Researcher of the Scientific Center «Wine-making», North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39, 40 years of Victory Str., Krasnodar, 350901, Russia, phone: +7 (861) 252-58-77, e-mail: ageyeva@inbox.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9165-6763>

Svetlana A. Biryukova

Postgraduate Student, Junior Researcher of the Scientific Center «Wine-making», North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39, 40 years of Victory Str., Krasnodar, 350901, Russia, phone: +7 (861) 252-58-77, e-mail: b.svetlana777@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-8182-7429>

Ekaterina V. Globa

Junior Researcher of the Scientific Center «Wine-making», North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39, 40 years of Victory Str., Krasnodar, 350901, Russia, phone: +7 (861) 252-58-77, e-mail: balandina119@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6890-3076>

Alla A. Abakumova

Postgraduate Student, Junior Researcher of the Scientific Center «Wine-making», North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39, 40 years of Victory Str., Krasnodar, 350901, Russia, phone: +7 (861) 252-58-77, e-mail: kgau.0701@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3182-0197>

Маркетинговое исследование рынка биологически активных добавок

И. С. Антонова¹, А. Д. Веснина², В. Г. Шадрин^{2,*}



¹ ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет»,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

² ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

Дата поступления в редакцию: 05.08.2020
Дата принятия в печать: 25.09.2020

*e-mail: vladiii@mail.ru



© И. С. Антонова, А. Д. Веснина, В. Г. Шадрин, 2020

Аннотация.

Введение. Для профилактики и лечения большинства патологических процессов в организме человека используются функциональные продукты питания и биологически активные добавки (БАД), которые лишены основных недостатков лекарственных препаратов: привыкания, аллергических реакций, накопления лекарственных компонентов в организме человека. Актуальным является проведение исследования потребительской заинтересованности в биологически активных добавках. Целью данной работы является изучение современного состояния рынка биологически активных добавок путем проведения маркетингового исследования.

Объекты и методы исследования. Данная работа основана на системном подходе изучения рынка биологически активных добавок с использованием абстрактно-логического, статистико-экономического и графического методов.

Результаты и их обсуждение. Маркетинговое исследование позволило классифицировать БАД, представленные на фармацевтическом рынке г. Кемерово, выделить 45 организаций и 15 брендов. Социологический опрос 100 респондентов позволил выявить, что молодое поколение знакомо с понятием биологически активных добавок. Также все опрошенные следят за состоянием своего здоровья, но, несмотря на это, большинство из них нейтрально относятся к употреблению различных функциональных добавок к пище. Респонденты употребляют биологически активные добавки для укрепления здоровья и для решения локальных проблем (например, с кожей) в течение 1 курса в год по рекомендациям врачей и советам близких родственников. Опрос также помог выделить бренды и производителей биологически активных добавок в г. Кемерово, а также то, что добавки приобретаются через сеть аптек и в специализированных магазинах. Среди всех факторов, влияющих на выбор функциональных добавок, наименьшее влияние оказывает упаковка. В результате были выдвинуты рекомендации для производителей БАД касательно упаковки.

Выводы. Биологически активные добавки являются востребованным продуктом на территории г. Кемерово и актуальным средством для восполнения необходимого количества нутриентов для поддержания здорового состояния организма. Но, несмотря на всю пользу данных функциональных добавок, населению необходимо дополнительное изучение всех возможностей и перспектив от употребления данного продукта.

Ключевые слова. Бактериоцин, маркетинг, потребитель, биологически активные добавки, здоровье

Финансирование. Работа выполнена в рамках реализации федеральной целевой программы Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) на тему «Получение фармацевтических субстанций на основе микроорганизмов антагонистов, выделенных из природных источников» (соглашения № 075-02-2018-1934 от 20.12.2018 и № 075-15-2019-1383 от 18.06.2019). Уникальный идентификатор проекта RFMEFI57418X0207.

Для цитирования: Антонова, И. С. Маркетинговое исследование рынка биологически активных добавок / И. С. Антонова, А. Д. Веснина, В. Г. Шадрин // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 503–514. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-503-514>.

Dietary Supplements Market Research

Irina S. Antonova¹, Anna D. Vesnina², Vladislav G. Shadrin^{2,*}

¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenina Ave., Tomsk, 634050, Russia

Received: August 05, 2020
Accepted: September 25, 2020

² Kemerovo State University,
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia

*e-mail: vladii@mail.ru



© I.S. Antonova, A.D. Vesnina, V.G. Shadrin, 2020

Abstract.

Introduction. The market of dietary supplements is actively developing due to the general deterioration of public health and the fact degenerative diseases affect younger population. Functional foods and biologically active additives can prevent and treat various pathological processes. Unlike pharmaceuticals, they provoke neither addiction nor allergic reactions and do not accumulate in the human body. Therefore, consumer interest in dietary supplements is a relevant research issue. The research objective was to conduct marketing research in order to study the current state of the market of dietary supplements.

Study objects and methods. This research was based on a systematic approach and abstract-logical, statistical-economic, and graphical methods.

Results and discussion. The marketing research made it possible to classify biologically active additives on the pharmaceutical market of Kemerovo (Russia). The market included 45 organizations and 15 brands. A sociological survey of 100 respondents revealed that the younger participants were familiar with the concept of dietary supplements. All respondents monitored the state of their health; however, their attitude to functional food additives was quite neutral. They used supplements for general health promotion and to solve particular problems, e.g. acne. On average, they took one course of administration per year based on medical prescriptions and recommendations of close relatives. The survey identified the most popular brands and producers of dietary supplements in Kemerovo. Most supplements were purchased in pharmacies and specialized stores. Packaging appeared to be the least important factor that affected the consumer behavior. The paper introduces some recommendations on attractive packaging.

Conclusion. Biologically active additives replenish the necessary amount of nutrients to maintain health, which makes them a popular product on Kemerovo market. Further study is required, despite the obvious benefits of functional additives.

Keywords. Bacteriocin, marketing, consumer, biologically active additives, health

Funding. The research was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka) as part of the Federal Target Program “Research and Development in Priority Areas of the Scientific and Technological Complex of Russia for 2014–2020” (grant agreement № 075-02-2018-1934 dated December 20, 2018; No. 075-15-2019-1383 dated June 18, 2019; project identifier RFMEFI57418X0207).

For citation: Antonova IS, Vesnina AD, Shadrin VG. Dietary Supplements Market Research. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):503–514. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-503-514>.

Введение

Развитие дефицитных состояний населения связано с изменением структуры питания: употребление однотипных продуктов, имеющих низкую пищевую ценность, частые стрессовые ситуации, применение (злоупотребление) медикаментов, ухудшающаяся экологическая обстановка и вредные условия труда [1–3]. Одним из путей решения данной проблемы является систематическое употребление биологически активных веществ (БАВ), содержащихся в различных добавках [4].

Под биологически активными добавками (БАД) подразумевают природные или идентичные натуральным биологические вещества, обладающие физиологической активностью при малых концентрациях¹. Благодаря своим функциональным свойствам БАД являются альтернативой синтетическим лекарственным препаратам, т. к. обладают наименьшей токсичностью, привыканием, повышенной переносимостью и возможностью длительного применения [5]. Источником БАД может служить растительное, животное и минера-

льное сырье, например, лекарственные растения, панты марала и т. д. Изучение природных источников БАД является способом, позволяющим получать натуральные и богатые нутриентами добавки, используемые как в пищевой, так и в фармацевтической промышленности для профилактики и лечения дегенеративных заболеваний (диабета, рака, сердечно-сосудистых заболеваний и т. д.) [6]. Применение БАД важно для населения, проживающего в условиях естественной недостаточности нутриентов (например, витаминов), в промышленных регионах. Например, Кемеровская область, на территории которой располагается большое количество предприятий угольной, химической и металлургической промышленности.

В начале 60-х годов был открыт первый бактериоцин – низин. К 1969 г. он был одобрен к применению в качестве безопасной пищевой добавки Американской организацией по контролю медикаментов и продуктов питания и Всемирной Организацией Здравоохранения. В начале 2000-х годов случился своеобразный бум в исследовании бактериоцинов. В результате чего появилось более 500 опубликованных работ и более 300 выданных патентов (с 2004 по 2015 год).

¹ МУК 2.3.2.721-98. Определение безопасности и эффективности биологически активных добавок к пище. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999. – 87 с.

В области медицинского применения бактериоцинов было опубликовано около 37 % научных работ и выдано около 31 % патентов. Около 25 % патентов связаны с масштабированием процесса получения бактериоцинов, что является рискованной патентной стратегией. Будучи природным объектом бактериоцинов не может быть запатентован на основе аминокислотной последовательности и штамма-продуцента. Соответственно возникает всего два способа патентования: либо как способ применения (или клетки-мишени), либо как способ производства. Патент на способ производства можно обойти за счет методов генной инженерии (например, изменив клетку-хозяина или усовершенствовав последовательность самого бактериоцина). Поэтому подобные инициативы обычно являются внутренней инициативой крупных компаний-производителей. Научные коллективы или стартапы патентуют способ применения (или клетки-мишени), надеясь что адаптировать производственный процесс под коммерческие нужды будет сам производитель.

Остальные 63 % исследований и 69 % патентов сосредоточены на пищевом применении, в том числе в качестве добавки в корм для скота и покрытие упаковочных пленок и тары для хранения продуктов питания. На данный момент в рыночный оборот вышли 8 продуктов на основе бактериоцинов (с использованием низина и пептидов аналогичной группы), которые имеют пищевое применение и продаются (98 % рынка) в виде порошковой субстанции для добавления в продукты питания. Общая оценка данного рынка разнится от \$325 млн. до \$443 млн. Рынок данного размера определяется венчурными фондами как «незрелый» и «высокорискованный». Поэтому подавляющее большинство опубликованных исследований проведено за счет грантов и других систем поддержки научных лабораторий и малых инновационных компаний.

Бактериоцины применяют в медицине для лечения онкологических и системных инфекционных заболеваний, заболеваний респираторной системы и полости рта, инфекции желудка и вагинальных инфекций. Также бактериоцины нашли свое применение в сфере косметологии и изготовления контрацептивов.

Системные инфекционные заболевания. Золотистый стафилококк (*Staphylococcus aureus*) инфицирует дыхательные пути пациентов и способен давать системные воспалительные реакции, а также способен вызывать внутрибольничные инфекции. Этот патоген оказывается устойчив к антибиотикам. Именно поэтому вопрос о лечении данной инфекции бактериоцинами имеет огромные перспективы. Не смотря на обнадеживающие результаты при проведении испытаний *in vitro* (т. е. на культурах клеток золотистого стафилококка), исследование

терапевтического действия на моделях зараженных животных показали неоднозначный результат. Бактериоцины способны облегчить течение инфекции и уменьшить локальное воспаление, но не вылечить инфекцию при самостоятельном применении [7, 8].

Заболевания полости рта и инфекции верхних дыхательных путей и перспективы применения против них бактериоцинов освещаются в исследовании их активности против *Pseudomonas aeruginosa* (отиты и воспаления легких у новорожденных), *S. pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *E. faecalis*, *E. Faecium* и кандидоза полости рта. Помимо исследований проводимых *in vitro* были проведены и исследования терапевтической активности на моделях грызунов, которые показали высокую эффективность при местном использовании бактериоцинов.

Заболевания желудочно-кишечного тракта. Существует биологически активная добавка, состоящая из бактерий *Streptococcus salivarius* K12 (пробиотик 109 КОЕ). Обычно он прописывается гастроэнтерологами, отоларингологами и стоматологами при воспалительных процессах полости рта, верхних дыхательных путей и желудочно-кишечного тракта. Он используется в сочетании с медикаментозной терапией. Однако доказано, что этот распространенный представитель микрофлоры ротоглотки также выделяет бактериоцины, подавляющие рост условно патогенной и патогенной микрофлоры. Примерно с 2010 года ведутся попытки выделить конкретные бактериоцины, ответственные за подавление других бактерий микрофлоры. Однако препарат на их основе еще не был передан на клинические испытания из-за своего несоответствия требованиям Европейского медицинского агентства и Американской организацией по контролю медикаментов и продуктов питания.

Еще одним перспективным методом применения бактериоцинов могут быть *спермициды* (противозачаточные средства, которые одновременно являются профилактикой вагинальных инфекций). Основным недостатком современных спермицидов является серьезное подавление вагинальной микрофлоры и длительное снижение местного иммунитета. Доказано, что бактериоцины (лактацин, ферментицин HV6b, SB83, энтероцин 62-6) существенно снижают подвижность сперматозоидов, а также обладают противомикробной активностью в части условно-патогенных и патогенных штаммов *Gardnerella vaginalis* и *Prevotella bivia*, *Bacteroides*, *Peptostreptococcus* и *Mobiluncus* spp. Предполагается, что данные бактериоцины могут войти в состав спермицидов в виде вагинальных свечей (если покажут термоустойчивость, т. к. свечи разливаются в блистерные заготовки при высокой температуре), в виде спермицидных гелей или в качестве

компонента спермицидной смазки презерватива. Однако литературных данных о проведении полномасштабных доклинических исследований и клинического апробирования данных лекарственных форм на данный момент не опубликовано.

Противораковая активность бактериоцинов исследуется в направлении либо крайне агрессивных форм онкологии (в отношении которых используется химиотерапия с тяжелыми побочными эффектами и не могут быть использованы таргетные препараты), либо орфанных онкологических заболеваний (например, рак головы и шеи). Потенциальное использование бактериоцинов в противораковой терапии обусловлено их ингибированием синтеза ДНК и мембранного белка, индуцирующим апоптоз или цитотоксичность в опухолевых клетках. На данный момент существует всего 14 бактериоцинов, которые имеют перспективы применения в онкологии. Сложность их изучения заключается в том, что, согласно современным стандартам доказательной медицины, непременно нужно доказать: какую мишень несет раковая клетка, как эту мишень поражает бактериоцин и каковы потенциальные риски для здоровых тканей человека. Данный подход требует сложных *in vitro* экспериментов и проверки на моделях животных (в основном грызунах). Но даже это не гарантирует эффективности на высших приматах и людях (что является общей проблемой любой онкологической модели животных).

Косметология. Бактериоцины для ухода за кожей уже имеют активное коммерческое применение. Были доказаны эффекты антивозрастного применения, профилактики кожных заболеваний, включая внешние признаки старения, прыщи, розацеа, бактериальные и дрожжевые инфекции, псориаз и дерматит. Бактериоцины способствуют модуляции микрофлоры кожи, липидов кожи и иммунной системы, что приводит к сохранению естественного гомеостаза кожи. Саливарицин, низин А, мерсацидин, лактицин 3147 и лейкоцин А могут эффективно лечить инфекции, вызванные мультирезистентными бактериями. Они также использовались против *Propionibacterium acnes*, ответственных за патогенные обыкновенные угри, и в качестве иммуномодуляторов при лечении внутрибольничных инфекций кожи и слизистых ран. ESL5, бактериоцин, производимый *E. faecalis* SL-5 и применяемый в качестве лосьона у пациента с воспалительными поражениями угрей, вызванными *P. acnes*, уменьшит воспалительный лесихомеостаз. Саливарицин, низин А, мерсацидин, лактицин 3147 и лейкоцин А лечат инфекции, вызванные мультирезистентными бактериями [9–12].

Ветеринария. У молочных животных низин А, лактицин 3147, ауреоцин А70, низин Z и македоцин ST91KM были протестированы для борьбы с

маститом, который вызывает большие экономические потери в молочной промышленности. Другие группы оценивали диверсин бактериоцина AS7 в качестве пищевой добавки у домашней птицы, контролирующей микрофлору желудочно-кишечного тракта против *Salmonella* spp., *Campylobacter jejuni*, *Salmonella enteritidis*, *S. wien*, *Shigella flexneri*, *P. aeruginosa* и *P. stutzeri*. Также были проведены испытания бактериоцинов в качестве профилактики желудочно-кишечных заболеваний у свиней путем добавления в корм [13, 14].

Стоит отметить, что лишь 21 бактериоцин с потенциальным медицинским применением были опробованы на моделях животных. Исследования на животных предшествовал длительный процесс выделения и характеристики бактериоцина, наработка его в достаточном количестве и с достаточной чистотой (для проведения экспериментов), подбор мишени, валидация мишени и оптимизация лидерных последовательностей. При проведении доклинических исследований на животных основной упор делается на фармакокинетику препарата (при системном действии) и фармако-токсикологию (при местном действии).

При попадании в организм далеко не все бактериоцины длительное время не разрушаются клетками человека или его микрофлоры. Поэтому важно показать как время жизни препарата в таргетной ткани (ткани-мишени) зависит от дозировки препарата. Для этого используются либо флуоресцентные метки, либо радиоактивные частицы. Они соединяются с последовательностью пептида и показывают как долго препарат не выводится (а значит, сохраняет действие) в таргетной ткани. Если речь идет о местном применении, то исследуется фармако-токсикология, т. е. местно-раздражающее действие и побочные эффекты препарата в зависимости от дозировки. При местном применении протокол исследования значительно проще, чем при системном действии, а практику применения флуоресцентных меток или радиоизотопов можно заменить на визуальный осмотр обработанного участка ткани.

Особое внимание уделяется исследованию безопасности препарата. Поскольку бактериоцин может иметь родство со здоровыми клетками человека или его нормальной микрофлорой, то рекомендуется тщательное планирование следующих экспериментов: острая токсичность, хроническая токсичность, аллергенность, иммунотоксичность, репродуктивная токсичность, мутагенность, канцерогенность.

Исследования фармакодинамики проводятся в соответствии с выбранной моделью животных и заболеваний.

Таким образом наиболее предпочтительным среди коммерчески-ориентированных проектов является

вывод на рынок и регистрация бактериоцина в качестве биологически активной добавки, которая может облегчить симптомы течения заболевания, но не является самостоятельным препаратом.

Если же бактериоцин способен быть элементом монотерапии, который обладает активностью в части патогенов местной локализации (кожа, полость рта, вагинальная слизистая, верхние дыхательные пути, пищевод и т. д.), то срок его регистрации будет короче по сравнению с препаратом системного действия. Кроме того, подобные препараты могут быть перспективными при использовании в ветеринарии домашних животных или домашнего скота.

Что касается препаратов системного действия, то регистрационный трек в этом направлении будет самым тяжелым. Учитывая, что бактериоцины еще не вошли в медицинскую практику, велика вероятность, что требования к способу проведения и количеству экспериментов могут меняться в процессе регистрации бактериоцина в качестве фармпрепарата. Таким образом, существует объективная необходимость изучения применения бактериоцина в качестве фармпрепарата на рынке В2С. Для этого требуется проведения предварительных исследований как в клинической области, так и рыночных возможностей. Одним из инструментов таких исследований являются маркетинговые исследования [15, 16].

Целью данной работы является изучение современного состояния фармацевтического рынка на примере биологически активных добавок путем проведения маркетингового исследования и социологического опроса населения в г. Кемерово.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является фармацевтический рынок, а именно рынок биологически активных добавок (БАД).

Методом исследования стал социологический опрос населения г. Кемерово в форме онлайн анкетирования (база Google Форма). Также использовался абстрактно-логический метод исследования, для которого использовали прогнозные, аналитические, статистические и концептуальные материалы, статистико-экономический и графический методы исследования.

В исследовании приняли участие 100 респондентов разных возрастов.

Научная новизна данного исследования заключается в выявлении факторов, влияющих на принятие решения о приобретении БАД потребителями как альтернативы современным антибиотикам для лечения инфекционных заболеваний желудочно-кишечного тракта, кожи, мочевыводящих путей и половых органов, дыхательных путей, стоматологических заболеваний.

Результаты и их обсуждение

Маркетинговое исследование позволило выделить следующую классификацию БАД:

- по форме выпуска (фиточаи, таблетки, капсулы, порошки, фитомикросферы, драже, карамели, шипучие таблетки, капли, сиропы, бальзамы, коктейли, кисели и т. д.);
- по возрастной группе (для детей, подростков, женщин, мужчин, для пожилых людей, беременных, спортсменов и т. д.);
- по стране производства (Россия, Индия, Китай, Вьетнам, Лаос, Корея; Украина, Беларусь, Прибалтика, Польша, Болгария, Чехия, Германия, Франция, Нидерланды, Великобритания, США и Канада);
- по региональному расположению отечественных компаний производителей (Приморье, Алтай, Сибирь, Байкал);
- по количественным особенностям упаковки (существуют различные формы выпуска: штучные, мелкие для 5–10 приемов, средние для 10–15 суточных доз, крупные для курсового применения в 30–45 дней приема);
- по ценовому диапазону.

По данным, полученным при исследовании информации международной картографической компании ООО «Дубльгис», видно, что на апрель 2020 года на территории г. Кемерово находится 45 компаний, которые можно отнести к категории «Биологически активные добавки». Это организации, которые по основному виду деятельности предприятий принадлежат рыночному сегменту «Медицина, здоровье, красота» и рубрике «Аптеки». Также было обнаружено, что на территории города БАД представлены 15 производителями торговых марок (брендов): «Lactoflorene», «Nature's Bounty», «Nestle», «Now Foods Nutrition», «SOLGAR», «WELEDA», «ВИТАМИР», «Green Side», «ЛЕОВИТ», «Мицеллярные витамины», «СУСТАМЕД», «Цитамины», «Эвалар».

Социологический опрос 100 респондентов различной возрастной категории (рис. 1) позволил изучить покупательские предпочтения БАД, реализуемые на рынке г. Кемерово.

Анализ показал, что в опросе участвовали преимущественно молодые люди в возрасте от 18 до 21 года (62,7 %).

Для определения отношения к БАД и к осведомленности о данной категории респондентам были заданы вопросы относительно здорового образа жизни, отношению к продуктам и регулярности употребления биологически активных добавок. Ответы были распределены следующим образом (рис. 2–15).

По данным опроса большинство респондентов ведут здоровый образ жизни (58,2 %), что

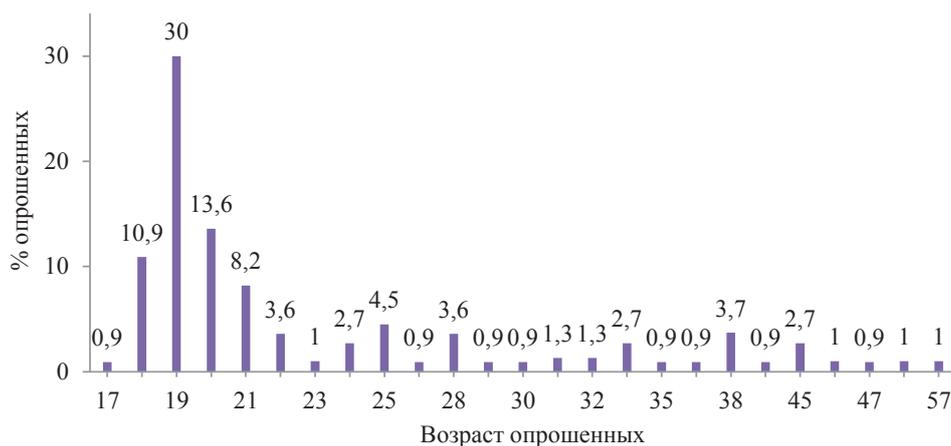


Рисунок 1. Возрастная категория опрошенных респондентов

Figure 1. Age category of the respondents

предполагает отсутствие или минимизацию алкоголя и курения. Стоит отметить, что основная масса ответивших представляет собой молодое поколение до 35 лет. С одной стороны, этот факт может снижать релевантность исследования, т. к. существует распространенное мнение, что основным потребителем фармацевтических субстанций, в том числе биологически активных добавок, является пожилое население, подверженное хроническим заболеваниям в силу возраста [17, 18]. С другой стороны, возрастающее влияние интернет маркетинговых коммуникаций и электронной коммерции, внимание к нутрициологии, фитнес-нутрициологии, детоксу, диетологии и заботы о своем здоровье позволяет выделить как ключевой сегмент потребителей в возрасте до 35 лет. Молодое поколение ведет активный образ жизни, отказалось от вредных привычек, уделяет повышенное внимание к правильности своего питания и здоровья, к минимизации употребления привычных лекарственных препаратов в противовес

нетрадиционным, инновационным методам, технологиям оздоровления и профилактики заболеваний.

Основную часть (64,5 %) респондентов составили люди, нейтрально относящиеся к употреблению БАД. Минимальное количество опрошенных отрицательно высказались об употреблении БАД (1 %). Отдельно стоит вопрос доверия к информации, которую транслируют во внешнее окружение производители и маркетплейсы лекарственных препаратов, особенно в интернет среде. Большая часть респондентов отметили, что доверяют информации из социальных сетей и других онлайн-источников, т. к. проводят большую часть своего времени в Сети. Таким образом, размещение рекламы в Интернете и социальных сетях станет достаточно результативным способом привлечения внимания к товару. При этом организация понесет небольшие расходы.

Работа агентов влияния. Агенты влияния – это искусственно созданные персонажи, которые под

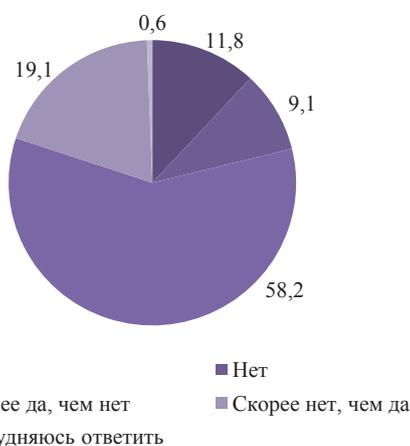


Рисунок 2. Внимание респондентов к своему здоровью, %

Figure 2. Health behavior, %



Рисунок 3. Отношение респондентов к употреблению биологически активных добавок, %

Figure 3. Attitude to dietary supplements, %



Рисунок 4. Употребление биологически активных добавок в пищу, %

Figure 4. Consumption of dietary supplements, %

видом обычных людей незаметно управляют мнением целевой аудитории, направляя позитивное внимание людей на рекламируемый продукт. Скрытая реклама от агентов влияния не воспринимается покупателями как реклама, она выглядит как обсуждение продукта с реальными людьми. Агенты влияния оставляют позитивное мнение, нейтрализуют негатив, повышают лояльность к бренду, провоцируют всплески интереса к бренду, рекламируют обновления товаров и услуг, сообщают пользователям актуальную информацию.

Исходя из ответов респондентов, видно, что 47,3 % ответивших не знают, что приобретаемые ими препараты относятся к БАД или в данный момент потенциально могут нуждаться в добавках.

Видно, что 40,4 % опрошенных не употребляют БАД в настоящий момент. 23,9 % опрошенных употребляют БАД по мере необходимости.

Среди выше представленных брендов и производителей особой популярностью у респондентов обладают комплексы витаминов и минералов

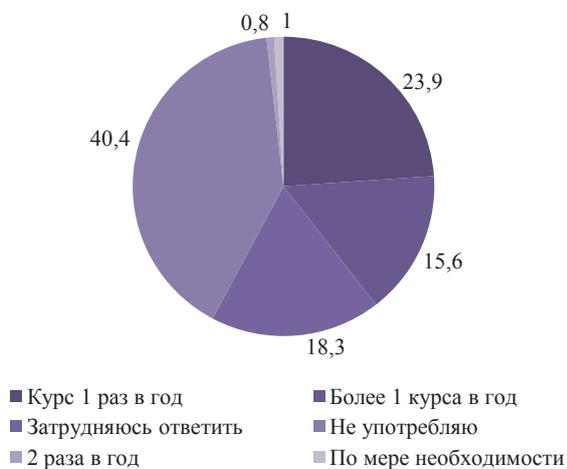


Рисунок 5. Частота употребления биологически активных добавок, %

Figure 5. Dose frequency of dietary supplements, %

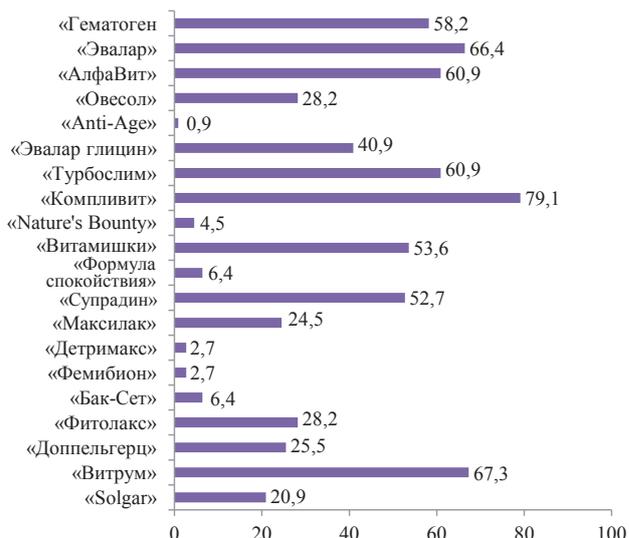


Рисунок 6. Узнаваемость производителей и брендов, %

Figure 6. Brand recognition, %

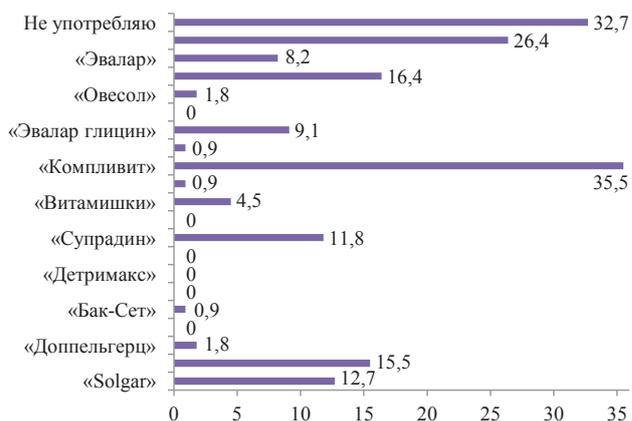


Рисунок 7. Потребительские предпочтения при покупке, %

Figure 7. Consumer preferences, %

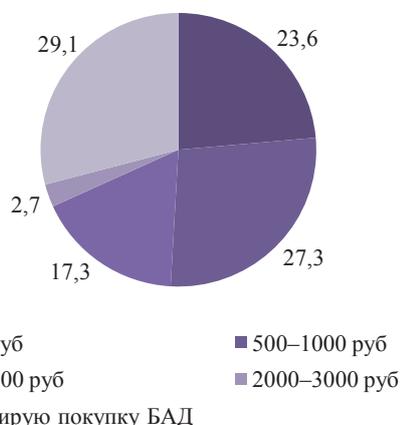


Рисунок 8. Ценовой диапазон при приобретении БАД, %

Figure 8. Price range of dietary supplements, %



Рисунок 9. Мотивы респондентов при приобретении биологически активных добавок, %

Figure 9. Buying motive, %

«Компливит» – 79,1 %, «Витрум» – 67,3 % и компания «Эвалар» – 66,4 %. Узнавание брендов, выпускающих витамины, объясняется тем, что население заинтересовано в их употреблении, т. к. проживает в витаминodefицитном регионе.

Полученные данные также подтверждают, что для респондентов г. Кемерово в приоритете употребление биологически активных добавок в виде витаминов.

В ценовом диапазоне лидирует ответ от 500–1000 руб (27,3 % опрошенных). 29,1 % респондентов указали, что не планирует покупку в ближайшее время.

Лидирующими мотивами, побуждающими респондентов к приобретению БАД, являются рекомендации врача (83,6 %) и мнение близких родственников (46,4 %).

Форма выпуска БАД важна для респондентов. 70,9 % опрошенных отмечают, что для них важна лекарственная форма биологически активных добавок по сравнению с другими представленными формами.

При ранжировании факторов, наиболее важных при выборе БАД, ответы распределились следующим образом: цена, отзывы, консультации. Респондентам важно приобретать уже проверенные биологически активные добавки с невысокой стоимостью. Это подтверждается данными, представленными на рисунке 8.

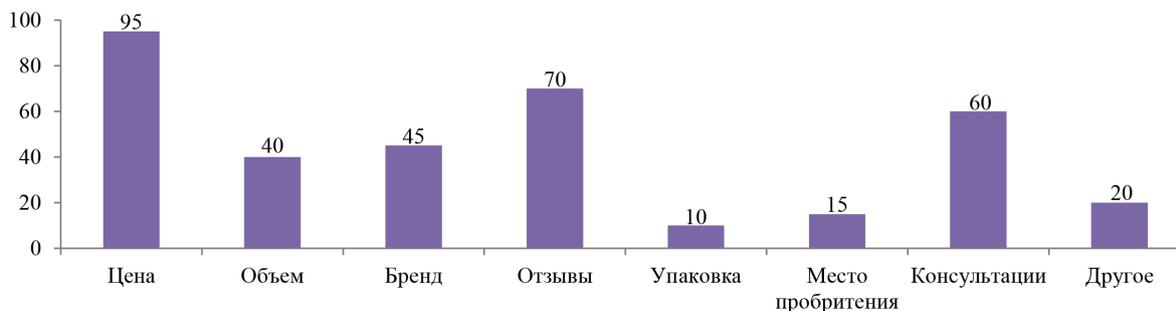


Рисунок 11. Факторы, влияющие на принятие решения о покупке БАД, %

Figure 11. Factors affecting consumer behavior, %

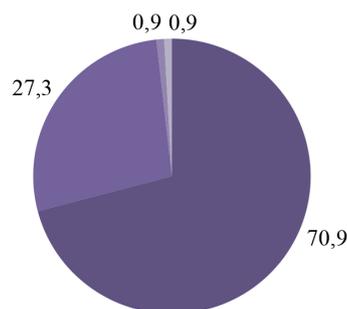


Рисунок 10. Предпочитаемая форма выпуска биологически активных добавок, %

Figure 10. Preferred drug form of dietary supplements, %

Так как наименьшее влияние на выбор БАД оказывает упаковка, то было принято решение о подробном изучении данного вопроса.

По результатам опроса было выявлено, что упаковка для большинства опрошенных респондентов не играет существенной роли при выборе БАД (средневзвешенная оценка важности упаковки 4,9). Но с точки зрения маркетинговых коммуникаций потребитель не в состоянии оценить бессознательный фактор, через который производитель может влиять на окончательное принятие решения о покупке путем визуальных образов и преодоления стереотипов восприятия. Одним из таких инструментов является упаковка. При традиционной торговле через аптечную сеть упаковка до момента ознакомления с товаром действительно не играет роли. В интернет-торговле, особенно с использованием 3D витрин или фотографий содержимого, цвет, вид, материалы упаковки, описание могут и должны привлекать внимание, формируя образ качества и характеристик продукции, ее инновационность. Это относится и к фармацевтической продукции.

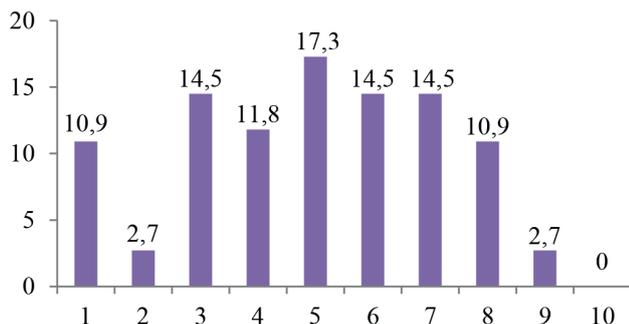


Рисунок 12. Влияние упаковки на принятие решения о покупке биологически активных добавок, %. Оценка по шкале от 1 до 10, где 1 – упаковка не важна, 10 – очень важна

Figure 12. Effect of packaging on consumer behavior, % on a 1 to 10 scale, where 1 – packaging is not important, 10 – packaging is very important



Рисунок 14. Места приобретения биологически активных добавок, %

Figure 14. Places of purchase of dietary supplements, %

Данные опроса показывают, что большинство респондентов предпочитает средний объем упаковки – на это обратили внимание чуть менее половины опрошенных. Если исключить нейтральные ответы, то далее по популярности идет большой объем упаковки. Это свидетельствует о востребованности данной продукции и желании потребителей либо сэкономить на соотношении цена-стоимость за условную единицу препарата, либо длительном курсовом употреблении.

Результаты опроса показывают, что респондентам важно чувствовать легальность и надежность покупки, поэтому они выбирают аптеки (91,8 % респондентов), специализированные магазины (43,6 %), и интернет-магазины производителей (20,9 %).

Из данных социологического опроса видно, что ключевыми мотивами к применению и потреблению БАД служит укрепление здоровья и различные локальные проблемы, которые респонденты хотели бы решить при помощи употребления БАД.

Выводы

На сегодняшний день люди уделяют огромное внимание состоянию своего здоровья и в качестве



Рисунок 13. Предпочитаемый объем упаковки биологически активных веществ, %

Figure 13. Preferred packaging volume, %

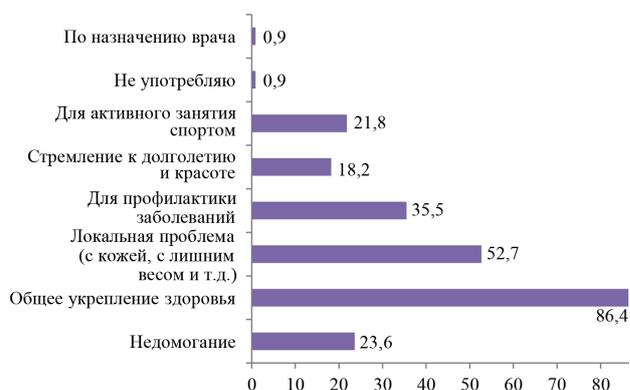


Рисунок 15. Мотивы респондентов для употребления биологически активных добавок, %

Figure 15. Buying motives, %

актуального средства для укрепления иммунитета, профилактики развития различных заболеваний можно использовать систематическое употребление БАД (витаминов, полифенолов, антиоксидантов и т. д.).

Население г. Кемерово готово употреблять БАД (особенно витамины), но несмотря на это, уровень информированности о важности БАД для поддержания здорового состояния организма не достаточен. Решением данной проблемы может стать активная рекламная компания, повышение компетентности в области фармацевтического консультирования и развитие упаковки как средства продвижения данных продуктов.

На основании социологического исследования по изучению потребительских потребностей в БАД получены следующие результаты. В основном респонденты г. Кемерово имеют нейтральное или положительное отношение к БАД; оптимальная

сумма покупки составляет от 500 до 1000 рублей за упаковку; максимально комфортный объем упаковки составил от 100 мл или от 60–200 шт капсул и т. п.; для употребления предпочтительней лекарственная форма БАД (таблетки, сиропы, капли и др.). Факторами, влияющими на принятие решения о приобретении БАД, стали цена, отзывы других потребителей и возможность получить консультацию при приобретении БАД. Упаковка не являлась важным фактором приобретения БАД. Средняя оценка этого показателя составила 4,9 балла из 10. Мотивами приобретения являются общее укрепление здоровья, наличие локальных проблем со здоровьем в организме (кожа, лишний вес и пр.), а также профилактика заболеваний. Что касается торговых наименований БАД, то корреляция между знанием марок и их приобретением обнаруживается в данном исследовании только у витаминов («Компливит», «Витрум»). Высокая оценка знания торгового наименования «Эвалар», например, не прослеживается в оценке приобретения. В основном респонденты предпочитают приобретать БАД у надежных офлайн-посредников (аптеки и специализированные магазины).

Исходя из достаточно низкой оценки степени важности упаковки БАД как фактора выбора, приобретения и использования, можно предложить, что востребованность БАД для потребителя осуществляется через другие атрибуты продукта. Однако оценка не является нулевой, поэтому в данной работе авторы представили следующие рекомендации развития упаковки как средства продвижения продукта:

- использование даунсайзинга, то есть уменьшение объема упаковки или количества содержащегося продукта при неизменности цены или небольшом ее повышении;
- вторая рекомендация основана на предпочтениях потребителей, выбирающих средний размер упаковки, т. е. объем упаковки равен 1 курсу, что является экономичным и удобным для потребителя;
- дополнительное размещение элементов нативной

рекламы, стимулирующей приобретение других продуктов бренда или сопутствующих продуктов, т. е. публикация советов по использованию комплекса БАД, полезные советы по питанию, оздоровлению организма, закаливанию и т. д.

– обязательное применение брендинга с привлечение специалистов по неймингу для подбора названия БАД ассоциативно и содержательно отражающего полезные фармакологические свойства продукта, выгодно его отличающего от конкурентов и самопозиционирующегося;

– перевод значительной части продаж в электронную среду как с применением уже популярных маркетплейсов, так и создание собственного электронного магазина и интернет-приложения, привлечение для раскрытия медицинских свойств продукта, его продвижения и распространения лидеров мнений.

Критерии авторства

И. С. Антонова участвовала в написании таких разделов статьи, как «введение», «объекты и методы исследования», «результаты и их обсуждение», «выводы». А. Д. Веснина участвовала в подготовке и обработке статистических данных. В. Г. Шадрин участвовал в написании аннотации, результатов исследования и выводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

I.S. Antonova wrote the introduction, research objects and methods, results and discussion, and conclusions. A.D. Vesnina processed the statistical data. V.G. Shadrin wrote the abstract, research results, and conclusions.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы / В. М. Коденцова, О. А. Вржесинская, Д. В. Рисник [и т.д.] // Вопросы питания. – 2017. – Т. 86, № 4. – С. 113–124. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00067>.
2. Николаева, Ю. В. Экология питания и перспективные тенденции производства пищевых продуктов быстрого приготовления на основе пищевых волокон / Ю. В. Николаева, В. В. Тарасова, А. П. Нечаев // Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2019. – № 2. – С. 117–125. DOI: <https://doi.org/10.36906/2311-4444/19-2/15>.
3. Михайлова, А. П. Пищевое поведение в норме, в условиях стресса и при патологии: библиографический обзор / А. П. Михайлова, А. В. Штрахова // Вестник Южно-уральского государственного университета. Серия: Психология. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 80–95. DOI: <https://doi.org/10.14529/psy180310>.
4. Олейникова, Т. А. Изучение потребительских предпочтений БАД-нутрицевтиков на фармацевтическом рынке / Т. А. Олейникова // Региональный вестник. – 2020. – Т. 48, № 9. – С. 102–104.
5. Смирнов, С. О. Разработка рецептуры и технологии получения биологически активной добавки к пище с использованием природных компонентов / С. О. Смирнов, О. Ф. Фазуллина // Техника и технология пищевых производств. – 2018. – Т. 48, № 3. – С. 105–114. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-105-114>.

6. Фазуллина, О. Ф. Разработка состава и технологии получения биологически активной добавки к пище на основе лекарственных растений / О. Ф. Фазуллина, М. И. Лындина // Ползуновский вестник. – 2018. – № 4. – С. 89–94. DOI: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2018.04.018>.
7. MRSA carriage among healthcare workers in non-outbreak settings in Europe and the United States: A systematic review / M. Dulon, C. Peters, A. Schablon [et al.] // BMC Infectious Diseases. – 2014. – Vol. 14, № 3. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2334-14-363>.
8. De Kwaadsteniet, M. Nisin F in the treatment of respiratory tract infections caused by *Staphylococcus aureus* / M. De Kwaadsteniet, K. T. Doeschate, L. M. Dicks // Letters in Applied Microbiology. – 2009. – Vol. 48, № 1. – P. 65–70. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2008.02488.x>.
9. Use of probiotics for dermal applications / B. Cinque, C. La Torre, E. Melchiorre // Probiotics, Biology, genetics and health aspects / M.-T. Liong. – Berlin : Springer, 2011. – P. 221–241. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-20838-6_9.
10. Staphylococcus aureus colonization: modulation of host immune response and impact on human vaccine design / A. F. Brown, J. M. Leech, T. R. Rogers [et al.] // Frontiers in Immunology. – 2013. – Vol. 4.
11. Bowe, W. P. Acne vulgaris, probiotics and the gut-brain-skin axis: from anecdote to translational medicine / W. P. Bowe, N. B. Patel, A. C. Logan // Beneficial Microbes. – 2014. – Vol. 5, № 2. – P. 185–199. DOI: <https://doi.org/10.3920/BM2012.0060>.
12. Chung, W. O. Antimicrobial peptides of skin and oral mucosa / W. O. Chung, H. Dommisch // Innate immune system of skin and oral mucosa: properties and impact in pharmaceuticals, cosmetics, and personal care products / N. Dayan, P. W. Wertz. – Hoboken : John Wiley and Sons, 2011. – P. 117–121. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118025338>.
13. Aureocin A70 production is disseminated amongst genetically unrelated *Staphylococcus aureus* involved in bovine mastitis / H. Ceotto, R. C. Da Silva Dias, J. Dos Santos Nascimento [et al.] // Letters in Applied Microbiology. – 2012. – Vol. 54, № 5. – P. 455–461. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2012.03226.x>.
14. Pieterse, R. Mode of action and *in vitro* susceptibility of mastitis pathogens to macedocin ST91KM and preparation of a teat seal containing the bacteriocin / R. Pieterse, S. D. Todorov, L. M. T. Dicks // Brazilian Journal of Microbiology. – 2010. – Vol. 41, № 1. – P. 133–145. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-83822010000100020>.
15. Белоусова, О. В. Биологически активные добавки как перспективное направление развития фармацевтического рынка / О. В. Белоусова, Е. А. Белоусов, А. О. Иващенко // Научный результат. Медицина и фармация. – 2016. – Т. 2, № 4. – С. 89–94.
16. Белоусов, Е. А. Изучение спроса на лекарственные препараты для лечения кожных заболеваний / Е. А. Белоусов, О. В. Белоусова, В. Г. Трофимова // Научный результат. Медицина и фармация. – 2016. – Т. 2, № 1. – С. 59–62. DOI: <https://doi.org/10.18413/2313-8955-2016-2-1-59-62>.
17. Bacteriocin production: a relatively unharnessed probiotic trait? [version 1; peer review: 2 approved] / J. W. Hegarty, C. M. Guinane, R. P. Ross [et al.] // F1000Research. – 2016. – Vol. 5. DOI: <https://doi.org/10.12688/f1000research.9615.1>.
18. Shanker, E Quorum sensing regulation of competence and bacteriocins in *Streptococcus pneumoniae* and mutants / E. Shanker, M. Federle // Genes. – 2017. – Vol. 8, № 1. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes8010015>.
19. Antiherpes simplex virus type 2 activity of the antimicrobial peptide subtilisin / V. M. Quintana, N. I. Torres, M. B. Wachsmann [et al.] // Journal of Applied Microbiology. – 2014. – Vol. 117, № 5. – P. 1253–1259. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.12618>.

References

1. Kodentsova VM, Vrzhesinskaya OA, Risnik DV, Nikityuk DB, Tutelyan VA. Micronutrient status of population of the Russian Federation and possibility of its correction. State of the problem. Problems of Nutrition. 2017;86(4):113–124. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00067>.
2. Nikolaeva YuV, Tarasova VV, Nechaev AP. Ecology of nutrition and promising trends in production of dietary fiber based instant foods. Bulletin of Nizhnevartovsk State University. 2019;(2):117–125. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36906/2311-4444/19-2/15>.
3. Mikhaylova AP, Shtrakhova AV. Eating behavior in norm, in conditions of stress and in the presence of pathology: bibliographic review. Bulletin of the South Ural State University. Series Psychology. 2018;11(3):80–95. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14529/psy180310>.
4. Oleynikova TA. Izuchenie potrebitel'skikh predpochteniy BAD-nutritsevtikov na farmatsevticheskom rynke [Consumer preferences of nutraceutical dietary supplements on the pharmaceutical market]. Regional'nyy vestnik [Regional Bulletin]. 2020;48(9):102–104. (In Russ.).
5. Smirnov SO, Fazullina OF. Formula and technology development for obtaining biologically active natural food additives. Food Processing: Techniques and Technology. 2018;48(3):105–114. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-105-114>.
6. Fazullina OF, Lyndina MI. Razrabotka sostava i tekhnologii polucheniya biologicheskii aktivnoy dobavki k pishche na osnove lekarstvennykh rasteniy [Development of the composition and technology of producing a biologically active food supplement based on medicinal plants]. Polzunovsky vestnik. 2018;(4):89–94. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2018.04.018>.

7. Dulon M, Peters C, Schablon A, Nienhaus A. MRSA carriage among healthcare workers in non-outbreak settings in Europe and the United States: A systematic review. *BMC Infectious Diseases*. 2014;14(3). DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2334-14-363>.
8. De Kwaadsteniet M, Doeschate KT, Dicks LM. Nisin F in the treatment of respiratory tract infections caused by *Staphylococcus aureus*. *Letters in Applied Microbiology*. 200;48(1):65–70. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2008.02488.x>.
9. Cinque B, La Torre C, Melchiorre E, Marchesani G, Zoccali G, Palumbo P, et al. Use of probiotics for dermal applications. In: Liong M-T, editor. *Probiotics. Biology, genetics and health aspects*. Berlin: Springer; 2011. pp. 221–241. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-20838-6_9.
10. Brown AF, Leech JM, Rogers TR, McLoughlin RM. *Staphylococcus aureus* colonization: modulation of host immune response and impact on human vaccine design. *Frontiers in Immunology*. 2013;4.
11. Bowe WP, Patel NB, Logan AC. Acne vulgaris, probiotics and the gut-brain-skin axis: from anecdote to translational medicine. *Beneficial Microbes*. 2014;5(2):185–199. DOI: <https://doi.org/10.3920/BM2012.0060>.
12. Chung WO, Dommisch H. Antimicrobial peptides of skin and oral mucosa. In: Dayan N, Wertz PW, editors. *Innate immune system of skin and oral mucosa: properties and impact in pharmaceuticals, cosmetics, and personal care products*. Hoboken: John Wiley and Sons; 2011. pp. 117–121. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118025338>.
13. Ceotto H, Da Silva Dias RC, Dos Santos Nascimento J, De Paiva Brito MAV, Giambiagi-deMarval M, Do Carmo de Freire Bastos M. Aureocin A70 production is disseminated amongst genetically unrelated *Staphylococcus aureus* involved in bovine mastitis. *Letters in Applied Microbiology*. 2012;54(5):455–461. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2012.03226.x>.
14. Pieterse R, Todorov SD, Dicks LMT. Mode of action and *in vitro* susceptibility of mastitis pathogens to macedocin ST91KM and preparation of a teat seal containing the bacteriocin. *Brazilian Journal of Microbiology*. 2010;41(1):133–145. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-83822010000100020>.
15. Belousova OV, Belousov EA, Ivashenkova AO. Biologically active additives as a perspective direction of the development of the pharmaceutical market. *Research Result. Medicine and Pharmacy*. 2016;2(4):89–94. (In Russ.).
16. Belousov EA, Belousova OV, Trofimova VG. Studying demand for medicines for the treatment of skin diseases. *Research Result. Medicine and Pharmacy Series*. 2016;2(1):59–62. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18413/2313-8955-2016-2-1-59-62>.
17. Hegarty JW, Guinane CM, Ross RP, Hill C, Cotter PD. Bacteriocin production: a relatively unharnessed probiotic trait? [version 1; peer review: 2 approved]. *F1000Research*. 2016;5. DOI: <https://doi.org/10.12688/f1000research.9615.1>.
18. Shanker E, Federle M. Quorum sensing regulation of competence and bacteriocins in *Streptococcus pneumoniae* and mutants. *Genes*. 2017;8(1). DOI: <https://doi.org/10.3390/genes8010015>.
19. Quintana VM, Torres NI, Wachsmann MB, Sinko PJ, Castilla V, Chikindas M. Antiherpes simplex virus type 2 activity of the antimicrobial peptide subtilisin. *Journal of Applied Microbiology*. 2014;117(5):1253–1259. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.12618>.

Сведения об авторах

Антонова Ирина Сергеевна

канд. экон. наук, доцент школы Инженерного предпринимательства, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел.: +7 (3822) 60-63-33, e-mail: antonova_is@tpu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4993-2904>

Веснина Анна Дмитриевна

лаборант-исследователь лаборатории биотестирования природных нутрицевтиков, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 73-68-73, e-mail: koledockop1@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4552-7418>

Шадрин Владислав Георгиевич

канд. экон. наук, доцент, заведующий кафедрой маркетинга и бизнес-коммуникаций, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 73-41-67, e-mail: vladii@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7145-6775>

Information about the authors

Irina S. Antonova

Cand.Sci.(Econ.), Associate Professor of the School of Engineering Entrepreneurship, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenina Ave., Tomsk, 634050, Russia, phone: +7 (3822) 60-63-33, e-mail: antonova_is@tpu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4993-2904>

Anna D. Vesnina

Laboratory Assistant of the Laboratory of Biotesting of Natural Nutraceuticals, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 73-68-73, e-mail: koledockop1@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4552-7418>

Vladislav G. Shadrin

Cand.Sci.(Econ.), Associate Professor, Head of the Department of Marketing and Business Communications, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 73-41-67, e-mail: vladii@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7145-6775>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-515-524>
УДК 664:637.344

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Снижение контаминации воды для обеспечения качества и безопасности продукции пищевых предприятий

М. Иветич¹, А. К. Горелкина^{2,*} 



¹ Белградский университет,
11000, Сербия, г. Белград, Студенческая площадь, 1

² ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

Дата поступления в редакцию: 07.08.2020
Дата принятия в печать: 25.09.2020

*e-mail: alengora@yandex.ru



© М. Иветич, А. К. Горелкина, 2020

Аннотация.

Введение. Среди опасных факторов, оказывающие влияние на качество продукции и приводящие к его снижению, можно выделить химический фактор, под которым подразумеваются вещества, попадающие в готовый продукт. Одним из источников таких веществ является вода, используемая в процессе производства. Вода системы хозяйственно-питьевого водоснабжения содержит различные контаминанты, обладающие токсичными и канцерогенными свойствами и влияющие на качественные характеристики продукции.

Объекты и методы исследования. На различных этапах исследования объектами выступали приоритетные загрязнители воды системы хозяйственно питьевого водоснабжения, компоненты фруктово-сывороточных напитков, процесс адсорбционного извлечения исследуемых контаминантов сорбентами различной природы.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрено влияние контаминации воды как опасного химического фактора на качество восстановленных сывороточных напитков. Показано влияние органических загрязнителей воды (хлороформа и трихлорэтилена) на рецептурные компоненты восстановленных молочных продуктов. Предложен способ снижения контаминации воды, в основу которого положены адсорбционные процессы извлечения органической составляющей из водной среды. Исследованы особенности, закономерности и механизм адсорбции, получены кинетические и динамические характеристики процесса, позволяющие предложить параметры адсорбционных колонн и режимы работы адсорбционного фильтра. Внедрение в технологический процесс получения фруктово-сывороточных напитков этапа адсорбционной доочистки отражено в производственной блок-схеме.

Выводы. Предложенный способ снижения контаминации воды в определенной степени сократит влияние опасного химического фактора и позволит повысить качество готовой продукции.

Ключевые слова. Питьевая вода, трихлорэтилен, хлороформ, дихлорэтан, адсорбционная доочистка, сывороточные напитки

Для цитирования: Иветич, М. Снижение контаминации воды для обеспечения качества и безопасности продукции пищевых предприятий / М. Иветич, А. К. Горелкина // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 515–524. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-515-524>.

Original article

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

Reducing Water Contamination to Ensure the Quality and Safety of Food Products

Marco Ivetich¹, Alena K. Gorelkina^{2,*} 

¹ Belgrade University,
1, Student Square, Belgrade, 11000, Serbia

² Kemerovo State University,
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia

Received: August 07, 2020
Accepted: September 25, 2020

*e-mail: alengora@yandex.ru



© М. Ivetich, A.K. Gorelkina, 2020

Abstract.

Introduction. Chemical factor presupposes substances that enter the finished product and reduce its quality. Water used in production process can be a source of such substances. The domestic drinking water supply system may contain various contaminants that possess toxic and carcinogenic properties and can affect the quality characteristics of food products.

Study objects and methods. The research featured popular water pollutants found in the drinking water supply system, components of fruit and whey beverages, and the process of adsorption extraction of the contaminants by various sorbents.

Results and discussion. The paper focuses on the effect of water contamination as a dangerous chemical factor on the quality of restored whey products. The study revealed the effect of organic water pollutants on the formulation components of reduced fruit and whey beverages, including interaction with proteins, lactose, and vitamins of the reduced whey. The research also featured such components of fruit and whey vitamin beverages as anthocyanins, catechins, leucoanthocyanins, and karatine, as well as additives introduced to regulate the sensory properties and improve shelf life. The paper introduces a new method for reducing water contamination based on adsorption processes for extracting organic compounds from aqueous solutions. It describes the specifics, patterns, and mechanisms of adsorption. Activated carbons of SKD-515, AG-OV-1, and AG-3 brands proved to have the best adsorption capacity for both chloroform and trichloroethylene, which makes it possible to recommend them for further research and practical use. A study of the kinetic and dynamic characteristics of the process resulted in the optimal parameters of adsorption columns and operation modes of the adsorption filter. A production flowchart describes the introduction of the adsorption post-treatment stage in the technological process of producing fruit and whey beverages.

Conclusion. The proposed method of water decontamination partially reduced the chemical factor and improved the quality of the finished products.

Keywords. Drinking water, trichloroethylene, chloroform, adsorption post-treatment, whey drinks

For citation: Ivetich M, Gorelkina AK. Reducing Water Contamination to Ensure the Quality and Safety of Food Products. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):515–524. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-515-524>.

Введение

В основу пищевой безопасности молочных продуктов может быть взята модель управления качеством и безопасностью пищевой продукцией – система ХАССП (НАССР). Опасным фактором в системе ХАССП называют биологическое, химическое или физическое воздействие, которое может привести к снижению качества продукции.

К биологическим опасным факторам относят вредные бактерии, вирусы и паразиты. Опасности определяются сырьем. Кроме того, биологическое воздействие может быть связано с человеческим фактором, т. е. люди, участвующие в производственном процессе, заносят из внешней среды опасные микроорганизмы.

Химические опасные факторы – вещества, которые могут нанести вред непосредственно или через определенное время. Они могут образоваться в продукте естественным путем или могут быть внесены извне во время переработки.

К физическим опасным факторам относят различного рода инородные предметы в пищевых продуктах, которые могут оказать вредное воздействие на человеческий организм при их употреблении (бой стекла, металлическая стружка, пластик, дерево и т. д.). Такие предметы попадают в пищевые продукты из-за нарушений производственного процесса или из-за неправильной эксплуатации оборудования [1, 2].

Данная система реализуется с помощью различных подходов, что позволяет обеспечить устойчивую поставку безопасных продуктов. Применяемые схемы в рассматриваемой системе включают: средства разработки продуктов, надежно

обеспечивающие их безопасность (например, возможность своевременного проведения различных микробиологических исследований); регулярные производственные практики, мойка и дезинфекция производственного оборудования; своевременное повышение квалификации персонала, непосредственно принимающего участие в разработке рецептуры и производстве продукта; надежные системы качества для контроля безопасности производственных процессов [1].

Из приведенных в системе ХАССП категорий факторов, оказывающих влияние на безопасность и качество готового продукта, нами рассмотрен химический фактор. На рисунке 1 приведена условная схема направления действий опасных факторов (рис. 1).

Нами была изучена контаминация воды как сырья, составляющего до 80 % восстановленных молочных продуктов, на примере фруктово-сывороточных напитков. Рассмотрено как качество воды оказывает влияние на различные компоненты восстановленного продукта и возможность снижения уровня загрязнения за счет внедрения в технологическую схему системы доочистки путем встраивания адсорбционной установки.

Контаминация воды имеет различный характер и обусловлена как природными соединениями, так и попадающими в водный источник в результате деятельности человека (включая ксенобиотики органической природы). Несмотря на сложность процесса подготовки воды системы хозяйственно-питьевого водоснабжения, включающего различные этапы, на которых происходит значительное снижение уровня загрязнения, в отношении

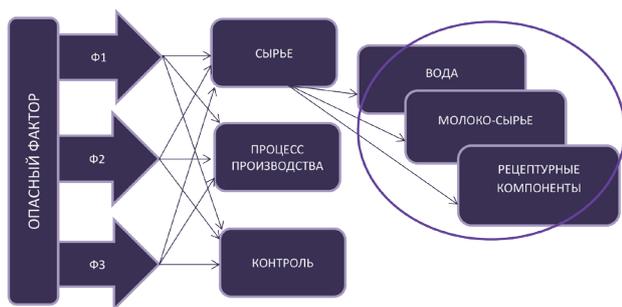


Рисунок 1. Условная схема действия опасных факторов на продукт

Figure 1. Conditional scheme of the effect of hazardous factors on the finished product

органических загрязнителей барьерные функции недостаточно эффективны. Также сам процесс водоподготовки на стадии обеззараживания служит источником образования дополнительных токсикантов [3].

Обеззараживание воды – процесс, предполагающий обеспечение микробиологического показателя в соответствии с СанПиН. Успех достигается при использовании различных окислителей, таких как хлор или озон. В обоих случаях высока вероятность контаминации очищаемой воды контаминантами, обладающими канцерогенными свойствами [4, 5]. Наиболее часто на водоподготовительных станциях в качестве обеззараживающего реагента используют хлорсодержащие соединения. Исследования воды системы хозяйственно-питьевого водоснабжения в различные периоды года показали, что при обработке природной воды хлорагентами образуются галогенсодержащие органические соединения [6]. Независимо от источника водоснабжения, вида дезинфектанта, технологической схемы водоподготовки и применяемого оборудования, основное количество галогенсодержащих органических соединений образуется после первичного хлорирования воды. Качественный состав зарегистрированных галогенорганических соединений (хлороформ, трихлорэтилен, в некоторых пробах дихлорэтан) оставался неизменным на всех ступенях очистки, независимо от применяемой технологии [7]. Независимо от сезона года, содержания минеральных и органических веществ в воде поверхностного источника, концентрация галогенорганических соединений в воде системы хозяйственно-питьевого водоснабжения ниже (в среднем на 25 %) при применении на стадии обеззараживания гипохлорита натрия. При этом в течение 3 месяцев в году (июнь–август) концентрация хлороформа и трихлорэтлена превышает нормируемые значения ПДК этих веществ в питьевой воде (СанПиН 2.1.4.1074-01).

Даже незначительное превышение предельно допустимых концентраций органических контаминантов в воде оказывает отрицательное воздействие на человеческий организм (токсическое, аллергенное, мутагенное и канцерогенное). Применение в пищевой промышленности воды, концентрация загрязнителей в которой немного превышает ПДК, может привести к снижению качества готовой продукции и оказать отрицательное воздействие на ее безопасность. Влияние контаминации воды прослеживается на различных показателях восстановленных продуктов. Это связано со значительными объемами, необходимыми на восстановление сухого сырья.

В молочной промышленности использование сухого молочного сырья актуально, т. к. является одним из решений проблемы обеспечения предприятий молочной отрасли полноценным сырьём равномерно на протяжении года. Восстановленные и рекомбинированные молочные продукты позволяют обеспечивать население в течение года важнейшим компонентом здорового питания.

На примере восстановленных сывороточных напитков можно проследить влияние контаминации воды на нутриенты молокасырья и другие компоненты напитков.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» на базе кафедры техносферной безопасности. В качестве объектов исследования были выбраны восстановленные фруктово-сывороточные напитки, их отдельные рецептурные компоненты, в том числе вода системы хозяйственно-питьевого водоснабжения и присутствующие в ней органические контаминанты. В технологию производства напитков, содержащих плодово-ягодную основу, включены следующие этапы: приемка сырья и различные манипуляции, направленные на подготовку, растворение (собственно процесс восстановления) и охлаждение сыворотки, внесение сахара в виде сиропа. Лимонная кислота и пищевые добавки, в том числе вкусо-формирующие концентраты, вводятся в растворенном состоянии. Далее следуют пастеризация и охлаждение смеси, розлив, упаковка, маркировка [8, 9].

Подготовка сухого молочного сырья, в качестве которого использовалась сухая сыворотка молочная деминерализованная (ГОСТ 56833-2015), заключается в следующем: просеивание сухого молочного продукта; растворение (в небольшом количестве воды 1:10) при температуре 38–41 °С, фильтрование; введение необходимого по рецептуре количества воды при перемешивании; охлаждение ($t = 5–8\text{ }^{\circ}\text{C}$); выдержка 3–4 часа [8].

Получение сахарного сиропа: сахар-песок пропускают через сита, смешивают с питьевой водой

($C_{12}H_{22}O_{11}$ до 80 % концентрации). Требуемое по рецептуре количество сахарного песка доводят водой в соотношении 4:1 (сахарин:вода), кипятят в течение 3–5 мин, фильтруют, охлаждают и вносят в молочную составляющую продукта. Пищевая лимонная кислота вводится в виде водного раствора (массовая доля $C_6H_8O_7$, 50 %) [10].

Получение плодово-ягодного наполнителя (в соответствии с рецептурной композицией): плодово-ягодные концентраты (содержание сухих веществ до 70 % в соответствии с ГОСТ Р 54682-2011) нормализуют питьевой водой до содержания сухих веществ 10–12 %.

Определение физико-химических показателей (содержание белков, лактозы, витаминов, красящих БАВ, сахарозы, лимонной кислоты) фруктово-сывороточных напитков проводили по стандартным методикам с использованием рефрактометрического и фотоколориметрического методов анализа, метода капиллярного электрофореза на российском приборе Капель-105М (Люмекс, Санкт-Петербург) [8, 10].

Один из объектов исследования в данной работе – вода. Ее используют в качестве растворителя в процессе восстановления сухого молочного сырья и приготовления растворов не молочных рецептурных компонентов фруктово-сывороточных напитков с различным содержанием загрязнителей, присутствующих в воде системы хозяйственно-питьевого водоснабжения (трихлорэтилен, хлороформ, дихлорэтан). Содержание загрязнителей определяли методом газо-жидкостной хроматографии.

Извлечение исследуемых загрязнителей осуществляли адсорбционным методом на активных углях отличающихся природой сырья, технологией получения и физико-химическими характеристиками, среди которых следующие марки 1 – СКД-515, 2 – КАУ, 3 – БАУ, 4 – АГ-3 [5, 11].

Результаты и их обсуждение

На различных этапах производства восстановленных сывороточных напитков отмечается использование воды системы хозяйственно-питьевого водоснабжения. Исследования возможности взаимодействия загрязнителей присутствующих в воде, позволили отметить следующее:

– все изученные органические загрязнители воды, кроме хлороформа (ХФ), взаимодействуют с белками и лактозой сыворотки. В присутствии трихлорэтилена и дихлорэтана содержание лактозы снижается на 30 %, содержание белков – на 10 %;

– снижение витаминов в восстановленной сыворотке при использовании воды с трихлорэтиленом и дихлорэтаном по отношению к контрольному образцу (растворитель – вода системы хозяйственно-питьевого водоснабжения) в плодово-ягодных наполнителях. А именно значительное снижение

количественного содержания B_2 (рибофлавина) и B_4 (холина) от их исходного содержания. Это указывает на снижение пищевой ценности плодово-ягодного сырья при использовании в технологии производства воды с приоритетными загрязнителями. Активное снижение аскорбиновой кислоты, витаминов B_2 и B_1 отмечено в присутствии трихлорэтилена (ТХЭ), витамина B_4 – в присутствии дихлорэтана (ДХЭ);

– снижение содержания красящих БАВ (антоцианы, катехины, лейкоантоцианы, каратин);

– снижение содержания сахарозы в присутствии трихлорэтилена и дихлорэтана в водных растворах до 10–12 % (период наблюдения – 5 суток);

– содержание $C_6H_8O_7$ снижается в присутствии всех органических загрязнителей, кроме ХФ за исследуемый период (5 суток) на 30–35 %.

Обеспечение высоких качественных показателей и безопасности восстановленного молочного продукта средством снижения контаминации воды системы хозяйственно-питьевого водоснабжения, применяемой на технологические нужды, возможно с помощью доочистки воды с использованием адсорбционных методов [12, 13].

Получение основных критериев сорбционного процесса, позволяющих на их базе разработать адсорбционную технологию доочистки воды от приоритетных загрязнителей, осуществлялось по следующему алгоритму (рис. 2).

Дальнейшие исследования проводились в соответствии с представленным алгоритмом для приоритетных загрязнителей, периодически присутствующих в воде системы хозяйственно-питьевого водоснабжения (хлороформ и трихлорэтилен).

Изучение равновесия адсорбции трихлорэтилена и хлороформа из индивидуальных водных растворов проводили с использованием различных сорбентов 1 – СКД-515, 2 – КАУ, 3 – БАУ, 4 – АГ-3.

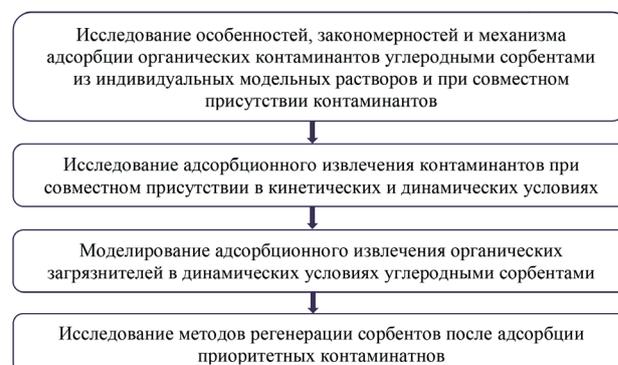


Рисунок 2. Алгоритм получения основных критериев адсорбционного процесса

Figure 2. Algorithm for obtaining the main criteria of adsorption process

Таблица 1. Адсорбция контаминантов из индивидуальных водных растворов в равновесных условиях

Table 1. Adsorption of contaminants from individual aqueous solutions under equilibrium conditions

Контаминант	Механизм, закономерности, особенности сорбции	Изотермы адсорбции на АУ: 1 – СКД-515, 2 – КАУ, 3 – БАУ, 4 – АГ-3
Трихлорэтилен (ТХЭ)	Адсорбция ТХЭ протекает в мезопорах и является результатом действия нескольких факторов: – неспецифического взаимодействия с доступным графеновым слоем и отталкивания между атомами хлора ТХЭ; полярными кислородсодержащими функциональными группами (КФГ) углеродной поверхности. Электростатическое отталкивание от КФГ и адсорбированных молекул воды также мешает проникать молекулам ТХЭ в доступные по размеру; – химического взаимодействия ТХЭ и продуктов его окисления с поверхностью АУ. ТХЭ способен вступать в реакции присоединения с полиароматическими системами и сложными эфирами.	
Хлороформ (ХФ)	ХФ адсорбируется в доступных по размеру порах с радиусом около 0,60 нм. Это сопровождается полным вытеснением воды. Взаимодействие ХФ с поверхностью имеет физическую природу и обусловлено Ван-дер-Ваальсовыми силами. Единственным механизмом адсорбции хлороформа является дисперсионное взаимодействие. ХФ, не имеющий групп, способных взаимодействовать с функциональными группами на поверхности АУ, адсорбируется только в порах. При этом соблюдается четкая зависимость адсорбции ХФ от структуры АУ.	

Изотермы адсорбции – критериальный показатель, определяющий зависимость активности сорбента от содержания адсорбтива в водной среде в равновесных условиях. Экспериментально полученные изотермы адсорбции трихлорэтилена и хлороформа из водных растворов для всех изучаемых марок углеродных сорбентов представлены в таблице 1. На основании проведенных исследований адсорбционного процесса для индивидуальных водных растворов ХФ и ТХЭ установлены механизм, закономерности и особенности адсорбции, приведенные в таблице 1. Отмечено, что лучшей адсорбционной способностью как к хлороформу, так и к трихлорэтилену, обладают активные угли (АУ) марки СКД-515, АГ-ОВ-1 и АГ-3, что позволяет рекомендовать их для дальнейшего исследования и практического использования [14, 15].

Полученные результаты исследования адсорбции в равновесных условиях при различных исходных концентрациях (ХФ и ТХЭ) и соотношении компонентов 70:1 (усредненное годовое соотношение) позволили установить следующее:

– изотермы адсорбции хлороформа описываются изотермой типа L (по классификации Гильса) и свидетельствует о том, что хлороформ адсорбируется за счет дисперсионного взаимодействия (имеет физическую природу), протекает в доступных

по размеру порах с радиусом около 0,60 нм (линейный размер молекулы хлороформа 0,64 нм) и сопровождается практически полным вытеснением воды из пор сорбента;

– изотермы адсорбции трихлорэтилена зависят от соотношения компонентов при извлечении из индивидуальных растворов и при соотношении компонентов (хлороформ и трихлорэтилен 20 к 1). Изотерма адсорбции ТХЭ имеет вогнутую форму (S тип по классификации Гильса), но при увеличении в смеси хлороформа (соотношение 70:1) и дальнейшем уменьшении концентрации компонентов в смеси адсорбция трихлорэтилена описывается изотермой типа L. В этом случае хлороформ блокирует поверхность активного угля и снижает эффект отталкивания ТХЭ, повышая доступ трихлорэтилена в микропоры. Также происходит растворение трихлорэтилена в хлороформе, что приводит к изменению формы изотермы адсорбции трихлорэтилена.

Механизм адсорбции компонентов смеси из водных растворов АУ в кинетических условиях имеет смешанно-диффузионный характер [12]. Установлено, что внешнедиффузионный массоперенос является лимитирующей стадией адсорбционного процесса для исследуемой системы (АУ – вода – ХФ – ТХЭ).

Таблица 2. Коэффициенты внешнего массопереноса в системе АУ – вода – ХФ – ТХЭ

Table 2. Coefficients of external mass transfer in the system of activated carbons – water – chloroform – trichlorethylene

Марка сорбента	АГ-3	СКД-515	АГ-ОВ-1
ХФ	0,092	0,318	0,186
ТХЭ	0,022	0,0325	0,0232

На основании полученных данных по кинетике адсорбции компонентов смеси определили коэффициенты внешнего массопереноса (табл. 2), полученные значения которого необходимы для дальнейших расчетов динамики адсорбции.

Динамика адсорбции смеси ХФ и ТХЭ исследовалась при соотношении компонентов соответствующего реальному. Полученные данные показали, что на выходе из колонны первым регистрируется хлороформ в проскоковой концентрации. Это дает основание для динамики процесса сорбции доминирующего компонента в смеси – ХФ.

Важно отметить, что экспериментальное изучение адсорбции в динамических условиях предусматривает систематический подбор ряда параметров: марка АУ, длина неподвижного слоя сорбента в колонне, скорость потока очищаемой воды через колонну и других, а также получение динамических выходных кривых, зависящих от одной переменной, значение которой изменяется в определенном интервале, например, скорости потока раствора. При фиксированных значениях параметров экспериментальное исследование динамики является длительным и трудоемким процессом [12].

Сократить время исследования и подобрать оптимальные режимы колонны позволяет моделирование процесса, опираясь на математические расчеты и используя уравнение внешне-диффузионной динамики адсорбции.

Выбор математической модели основан на совпадении выходных кривых полученных экспериментально и рассчитанных по фундаментальным уравнениям внешнедиффузионной динамики адсорбции. Теоретическая кривая, рассчитанная по уравнению внешнедиффузионной динамики адсорбции, в случае линейной изотермы с высокой степенью корреляции описывает экспериментальную кривую. Это позволяет сделать вывод об адекватности выбранной математической модели с учетом принятых допущений и применимости ее для оптимизации параметров адсорбционного фильтра и режимов очистки [9].

Возможность моделировать процесс адсорбции сократила временные затраты и позволила рассчитать ряд динамических характеристик, среди которых длина рабочего слоя, длина неиспользованного слоя, коэффициент защитного действия,

продолжительность работы колонны и количество очищаемой воды при различных комбинациях параметров колонны и режимов очистки.

Полученные характеристик и динамики адсорбционного процесса (в том числе от продолжительности работы неподвижно слоя сорбента до проскока и количество очищаемой воды) стали основанием при выборе параметров адсорбционных колонн и режима работы адсорбционного фильтра при учете отраслевого водопотребления. Полученная база данных легла в основу адсорбционной доочистки воды.

Внедрение предложенной адсорбционной доочистки воды в технологический процесс производства фруктово-сывороточных напитков отражено в блок-схеме, представленной на рисунке 3. По данной блок-схеме возможна выработка различных восстановленных напитков на основе молочной сыворотки в зависимости от последовательности выполняемых операций [16, 17].

Б1 (блок 1). Подготовка сырья включает различные операции: восстановление сухого молока сырьем, получение сахарного сиропа, вкусоформирующей основы с использованием плодово-ягодных концентратов, красители, лимонной и аскорбиновой кислоты и др., т. е. данный блок предусматривает основное потребление воды входящей в состав готового продукта [18]. Качество

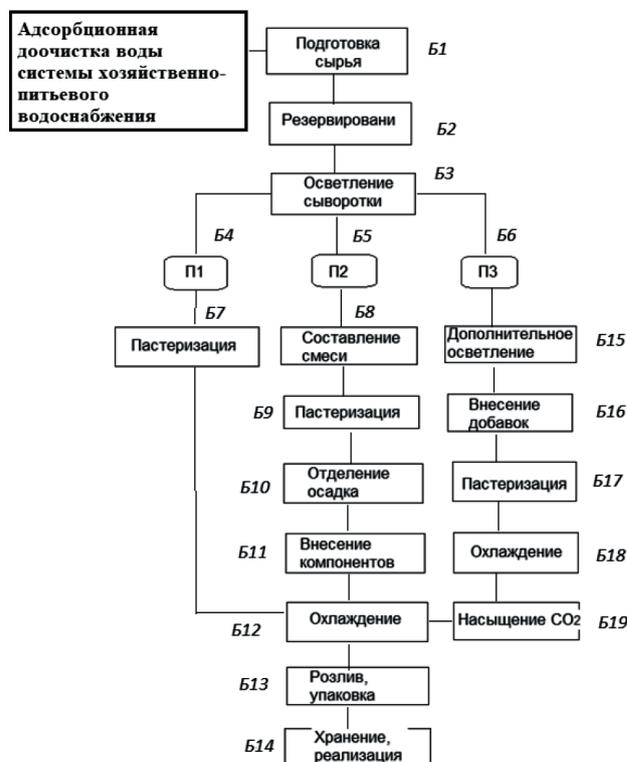


Рисунок 3. Блок-схема производства напитков на основе восстановленной молочной сыворотки

Figure 3. Flowchart of reconstituted whey beverage production

производимых напитков обеспечивается тщательным подбором и контролем всех используемых компонентов.

Б2 (блок 2). Восстановленная молочная сыворотка считается готовой, когда ее физико-химические свойства приближены к свойствам натуральной сыворотки [10]. Определение показателей качества молочного сырья позволяет оценить возможность резервирования. Длительность процесса резервирования не должна превышать 12 часов (t от 4 до 8 °С).

Б3 (блок 3). Данный блок предусматривает этап осветления, т. е. выделение сывороточных белков. Посредством отстаивания, фильтрации или с применением центробежных методов получается осветленная сыворотка.

Б4, Б5, Б6 (блок 4, 5, 6). Производственная ситуация.

Приведенная блок схема предполагает производство трех видов готового продукта. Первый (*П1*) – производство сыворотки питьевой без наполнителей (блок 7).

Б7 (блок 7). Безопасность сывороточных напитков обеспечивается пастеризацией при t от 74 до 85 °С, длительность от 15 до 20 с. Данный режим является необходимым и достаточным.

Б12 (блок 12). Охлаждение продукта до температуры 4 ± 2 °С.

Б13 (блок 13). Розлив, упаковка.

Б14 (блок 14). Хранение на предприятии.

Б5, Б6 (блок 5, 6). Производственная ситуация.

Производство напитков с натуральными плодово-ягодными наполнителями (*П2*) и производство ароматизированных напитков внесения искусственных добавок (купажа) (*П3*).

Б8 (блок 8 для *П2*). В молочную сыворотку вносят плодово-ягодные наполнители, сахар и другие немолочные компоненты, включенные в рецептуру напитка до тепловой обработки. Плодово-ягодные концентраты с содержанием сухих веществ до 70 % доводятся водой до массовой доли сухих веществ не более 12 %. Сахарный сироп вносят с 50 % концентрации.

Б9 (блок 9). Пастеризация проводится с целью обеспечения безопасности и повышения санитарно-гигиенического качества готового продукта [19]. Другие режимы пастеризации (длительные или при высоких температурах) могут снизить пищевую ценность готового продукта за счет снижения содержания витаминов и минеральных веществ натурального сырья.

Б10 (блок 10). Отделение осадка.

Б11 (блок 11). В напитки с плодово-ягодными наполнителями с длительными сроками хранения вносят консерванты (лимонную кислоту, сорбат калия, бензоат натрия).

Б15 (блок 15). Для ароматизированных напитков предусмотрен этап дополнительного осветления.

Б16 (блок 16). Внесение купажа: регулирование органолептических показателей напитка обеспечивается внесением необходимых вкусоароматических искусственных добавок, красителей и консервантов. Купаж – вкусоароматическая составляющая, которая включает предусмотренные рецептурой компоненты: сахарный сироп, лимонная кислота, искусственные ароматизаторы и красители. Получают купаж следующим образом: в сахарный сироп (50 % концентрации) добавляют $C_6H_8O_7$, пастеризуют при 95 °С, после охлаждения и фильтрации вносят ароматизаторы и красители. Готовый купаж вносят в осветленную сыворотку.

Б17 (блок 17). Безопасность и санитарно-гигиенические показатели качества готового напитка обеспечиваются пастеризацией при t от 78 до 80 °С без выдержки.

Б18 (блок 18). Операция охлаждения проводится в любых охладительных аппаратах до температуры 4 ± 2 °С.

Б19 (блок 19 для *П3*). Осветленные напитки рекомендовано выпускать слабо- и среднегазированными, производство газированных ароматизированных напитков включает операцию насыщения углекислым газом на сатураторе.

Б13 (блок 13). Фасуются напитки в полиэтиленовые бутылки вместимостью 0,2, 0,5 и 1,0 л. Также возможно использование асептической упаковки «Тетра-Пак» по 0,5 и 1,0 л.

Б14 (блок 14). Хранят в холодильных камерах при t от 4 до 6 °С. Сроки реализации зависят от производственных условий, вида напитка и тары и колеблются в пределах 14 суток [8, 9, 20].

Выводы

Снижение или полное исключение влияния органических контаминантов воды системы хозяйственно-питьевого водоснабжения на нутриенты сухого молока сырья и вводимые добавки при производстве восстановленных сывороточных напитков позволит внедрить в технологический процесс их производства адсорбционной доочистки, эффективность которой теоретически обоснована и экспериментально подтверждена на основании комплексных исследований адсорбции смеси контаминантов сорбентами различной природы, оптимизации параметров фильтров и режимов сорбционной очистки.

По результатам исследований разработана и утверждена техническая документация для производства продуктов на основе восстановленных молочных ингредиентов доочищенной питьевой водой: ТУ 10.51.55.-263-02068309-2018 «Фруктово-сывороточные напитки на основе восстановленной молочной сыворотки с использованием доочищенной воды (АУ АГ-ОВ-1, «Напиток – Банановый»)» и ТУ 10.51.55-270-02068309-2020 «Фруктово-

сывороточные напитки на основе восстановленной молочной сыворотки: «Ягодный микс»; «Банановый», «Цитрусовый», «Тархун», «Дыня», «Вишня – Черешня», «Облепиха»».

Адсорбционная доочистка может быть использована для усовершенствования технологии производства безопасной восстановленной молочной продукции.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в подготовке и написании статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors bear equal responsibility for the content of the article.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Тутельян, В. А. Безопасность пищевых продуктов – приоритет инновационного развития АПК и формирования у населения здорового типа питания / В. А. Тутельян, А. К. Батурин // Продовольственная независимость России. Т. 1 / А. В. Гордеев. – М. : Технология ЦД. – 2016. – С. 113–144.
2. 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. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2017-4-115-122>.
3. Петросян, В. С. Обеспечение химической безопасности водопользования / В. С. Петросян, Е. А. Шувалова // Экология и промышленность России. – 2016. – Т. 20, № 4. – С. 40–45. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-4-40-45>.
4. Гигиеническое обоснование управленческих решений с использованием интегральной оценки питьевой воды по показателям химической безвредности и эпидемиологической безопасности / Ю. А. Рахманин, А. В. Мельцер, А. В. Киселев [и др.] // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 4. – С. 302–305. DOI: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-4-302-305>.
5. Краснова, Т. А. Обеззараживание воды в системе питьевого водоснабжения / Т. А. Краснова, Ю. Л. Сколубович. – Новосибирск : Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, 2012. – 113 с.
6. Effect of priority drinking water contaminants on the quality indicators of beverages during their production and storage / Т. А. Krasnova, I. V. Timoshchuk, A. K. Gorelkina [et al.] // Foods and Raw Materials. – 2018. – Vol. 6, № 1. – P. 230–241. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-230-241>.
7. Ахмадиев, Р. Я. Гигиенические проблемы, связанные с присутствием в питьевой воде галогенсодержащих соединений / Р. Я. Ахмадиев, М. М. Гимедеев // Казанский медицинский журнал. – 1992. – Т. 73, № 2. – С. 148–158.
8. Храмов, А. Г. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. Продукты из обезжиренного молока, пахты и молочной сыворотки / А. Г. Храмов, С. В. Василин. – СПб. : ГИОРД, 2004. – 576 с.
9. Храмов, А. Г. Напитки из сыворотки с растительными компонентами / А. Г. Храмов, А. В. Брыкалов, Н. Ю. Пилипенко // Молочная промышленность. – 2012. – № 7. – С. 64–65.
10. Сарафанова, Л. А. Применение пищевых добавок в индустрии напитков / Л. А. Сарафанова. – СПб. : Профессия, 2007. – 240 с.
11. Краснова, Т. А. Влияние приоритетных загрязнителей питьевой воды на качество безалкогольных напитков и восстановленных молочных продуктов / Т. А. Краснова, И. В. Тимошук. – Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2013. – 142 с.
12. Адсорбция органических веществ из воды / А. М. Когановский, Н. А. Клименко, Т. М. Левченко [и др.]. – Ленинград : Химия, 1990. – 256 с.
13. Использование многокомпонентных адсорбционных фильтров в системах очистки воды и люминесцентный контроль содержания экотоксикантов / Е. И. Тихомирова, О. А. Плотникова, О. В. Атаманова [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. – 2019. – № 1. – С. 73–81. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-1-073-081>.
14. Калюкова, Е. Н. Сорбционная способность некоторых природных материалов по отношению к катионам цинка / Е. Н. Калюкова, Н. Н. Иванская, В. А. Глушков // Вода: химия и экология. – 2019. – № 10–12. – С. 106–113.
15. Фоменко, А. И. Характеристики природного минерального сорбента для водоподготовки питьевой воды из подземных источников / А. И. Фоменко, Л. И. Соколов // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24, № 7. – С. 12–17. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-7-12-17>.
16. Гаврилов, Г. Б. Закономерности мембранного концентрирования сывороточных белков / Г. Б. Гаврилов, Б. Г. Гаврилов // Техника и технология пищевых производств. – 2009. – Т. 12, № 1. – С. 26–29.
17. Повышение эффективности процесса ультрафильтрационного разделения молочной сыворотки предварительной очисткой растительными полисахаридами / С. П. Бабенышев, В. Е. Жидков, Д. С. Мамай [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – Т. 40, № 1. – С. 68–74.

18. Khramtsov, A. G. Traditions and innovations of dairy industry / A. G. Khramtsov // *Foods and Raw Materials*. – 2015. – Vol. 3, № 1. – P. 140–141. DOI: <https://doi.org/10.12737/11247>.

19. Development of specialized food products for nutrition of sportsmen / N. Gavrilova, N. Chernopolskaya, M. Rebezov [et al.] // *Journal of Critical Reviews*. – 2020. – Vol. 7, № 4. – P. 233–236. DOI: <https://doi.org/10.31838/jcr.07.04.43>.

20. Современные подходы к хранению и эффективной переработке сельскохозяйственной продукции для получения высококачественных пищевых продуктов / А. Г. Галстян, Л. М. Аксёнова, А. Б. Лисицын [и др.] // *Вестник Российской академии наук*. – 2019. – Т. 89, № 5. – С. 539–542. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895539-542>.

References

1. Tutel'yan VA, Baturin AK. Bezopasnost' pishchevykh produktov – prioritet innovatsionnogo razvitiya APK i formirovaniya u naseleniya zdorovogo tipa pitaniya [Food safety as a priority of the innovative development of the agro-industrial complex and a healthy diet among the population]. In: Gordeev AV, editor. *Prodovol'stvennaya nezavisimost' Rossii. T. 1* [Food independence of Russia. Vol. 1]. Moscow: Tekhnologiya TSD; 2016. pp. 113–144. (In Russ.).

2. 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.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2017-4-115-122>.

3. Petrosyan VS, Shuvalova EA. Insurance of water use chemical safety. *Ecology and Industry of Russia*. 2016;20(4):40–45. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-4-40-45>.

4. Rakhmanin YuA, Meltser AV, Kiselev AV, Erastova NV. Hygienic substantiation of management decisions with the use of the integral assessment of drinking water on indices of chemical harmlessness and epidemiological safety. *Hygiene and Sanitation*. 2017;96(4):302–305. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-4-302-305>.

5. Krasnova TA, Skolubovich YuL. Obezrazhivanie vody v sisteme pit'evogo vodosnabzheniya [Water decontamination in the drinking water supply system]. Novosibirsk: Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering; 2012. 113 p. (In Russ.).

6. Krasnova TA, Timoshchuk IV, Gorelkina AK, Belyaeva OV. Effect of priority drinking water contaminants on the quality indicators of beverages during their production and storage. *Foods and Raw Materials*. 2018;6(1):230–241. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-230-241>.

7. Akhmadiev RYa, Gimedeev MM. Gigienicheskie problemy, svyazannye s prisutstviem v pit'evoy vode galogensoderzhashchikh soedineniy [Hygiene problems associated with halogenated compounds in drinking water]. *Kazan Medical Journal*. 1992;73(2):148–158. (In Russ.).

8. Khramtsov AG, Vasilin SV. Spravochnik tekhnologa molochnogo proizvodstva. Tekhnologiya i retseptury. Produkty iz obezzhirennogo moloka, pakhty i molochnoy syvorotki [A technologist's guide to dairy production. Technology and formulations. Products made from skim milk, buttermilk, and whey]. St. Petersburg: GIORD; 2004. 576 p. (In Russ.).

9. Khramtsov AG, Brykalov AV, Pilipenko NYu. Whey drinks with vegetable components. *Dairy Industry*. 2012;(7):64–65. (In Russ.).

10. Sarafanova LA. *Primenenie pishchevykh dobavok v industrii napitkov* [Food additives in beverage industry]. St. Petersburg: Professiya; 2007. 240 p. (In Russ.).

11. Krasnova TA, Timoshchuk IV. Vliyanie prioritetnykh zagryazniteley pit'evoy vody na kachestvo bezalkogol'nykh napitkov i vosstanovlennykh molochnykh produktov [Effect of priority drinking water pollutants on the quality of soft drinks and reconstituted dairy products]. Kemerovo: Kemerovo Technological Institute of Food Industry; 2013. 142 p. (In Russ.).

12. Koganovskiy AM, Klimenko NA, Levchenko TM, Roda IG. Adsorbtsiya organicheskikh veshchestv iz vody [Adsorption of organic substances from water]. Leningrad: Khimiya; 1990. 256 p. (In Russ.).

13. Tikhomirova EI, Plotnikova OA, Atamanova OV, Istrashkina MV, Koshelev AV, Podolsky AL. The use of multicomponent adsorption filters in water purification systems and luminescent control of ecotoxicant content. *Theoretical and Applied Ecology*. 2019;(1):73–81 DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-1-073-081>.

14. Kaljukova EN, Ivanskaya NN, Glushkov VA. Sorption capacity of some natural materials in relation to zinc cations. *Water: chemistry and ecology*. 2019;(10–12):106–113. (In Russ.).

15. Fomenko AI, Sokolov LI. Characteristics of natural mineral sorbent for water treatment of drinking water from underground sources. *Ecology and Industry of Russia*. 2020;24(7):12–17. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-7-12-17>.

16. Gavrilov GB, Gavrilov BG. Laws membran concentration whey fibers. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2009;12(1):26–29. (In Russ.).

17. Babenyshev SP, Zhidkov VE, Mamay DS, Utkin VP, Shapakov NA. Improving the efficiency of whey ultrafiltration separation by pre-cleaning with plant polysaccharides. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2016;40(1):68–74. (In Russ.).

18. Khramtsov AG. Traditions and innovations of dairy industry. *Foods and Raw Materials*. 2015;3(1):140–141. DOI: <https://doi.org/10.12737/11247>.

19. Gavrilova N, Chernopolskaya N, Rebezov M, Schetinina E, Suyazova I, Safronov S, et al. Development of specialized food products for nutrition of sportsmen. *Journal of Critical Reviews*. 2020;7(4):233–236. DOI: <https://doi.org/10.31838/jcr.07.04.43>.

20. Galstyan AG, Aksyonova LM, Lisitsyn AB, Oganesyants LA, Petrov AN. Modern approaches to storage and effective processing of agricultural products for obtaining high-quality food products. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*. 2019;89(5):539–542. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895539-542>.

Сведения об авторах

Иветич Марко

д-р наук, профессор кафедры гидрологии и гидравлики, Белградский университет, 11000, Сербия, г. Белград, Студенческая площадь, 1, тел.: +7 (3842) 39-68-30, e-mail: ecolog1528@yandex.ru

Горелкина Алена Константиновна

канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры техносферной безопасности, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (3842) 39-68-30, e-mail: alengora@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>

Information about the authors

Marco Ivetich

Dr.Sci., Professor of the Department of Hydrology and Hydraulics, Belgrade University, 1, Student Square, Belgrade, 11000, Serbia, phone: +7 (3842) 39-68-30, e-mail: ecolog1528@yandex.ru

Alena K. Gorelkina

Cand.Sci.(Chem.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (3842) 39-68-30, e-mail: alengora@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>

Разработка способа определения в сухом молоке соотношения относительных долей аллелей гена κ -казеина

Х. Х. Гильманов*^{ORCID}, В. К. Семипятный^{ORCID}, А. В. Бигаева^{ORCID},
Р. Р. Вафин^{ORCID}, С. Н. Туровская^{ORCID}



ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
молочной промышленности»,
115093, Россия, г. Москва, ул. Люсиновская, 35

Дата поступления в редакцию: 13.08.2020
Дата принятия в печать: 25.09.2020

*e-mail: gilmanov.xx@mail.ru



© Х. Х. Гильманов, В. К. Семипятный, А. В. Бигаева, Р. Р. Вафин, С. Н. Туровская, 2020

Аннотация.

Введение. К молоку как к сырью для выработки ассортиментного разнообразия молочных продуктов предъявляются высокие требования в части биологической безопасности и соответствия его физико-химических и технологических свойств регламентируемым показателям. Целью настоящей работы являлась разработка способа определения соотношения относительных долей аллелей селекционно-значимого гена κ -казеина крупного рогатого скота посредством молекулярно-генетической и биоинформационной системы оценки сырья с позиции рациональности его дальнейшей переработки.

Объекты и методы исследования. Для генетического анализа образцов сборного сухого цельного и обезжиренного молока, сборного сырого молока применяли разработанный способ, включающий экстракцию ДНК из исследуемых образцов, проведение совмещенной техники ПЦР-ПДРФ, электрофоретическую детекцию результатов и анализ информационных данных с помощью созданных математических алгоритмов (формул) и программного обеспечения.

Результаты и их обсуждение. Определение в сухом молоке соотношения относительных долей аллелей гена κ -казеина с использованием набора праймеров (JK5 и JK3) и эндонуклеазой рестрикции *HinI* для проведения ПЦР-ПДРФ-анализа показало удовлетворительную воспроизводимость и интерпретацию полученных данных. Приведен выданный программой расчет соотношения относительных долей аллелей гена κ -казеина в исследуемых образцах сухого молока, выраженный в процентах доли аллеля *A* с дополнительным указанием абсолютной и относительной погрешностей, а также дополнительным размещением информационного блока сгенерированных числовых показателей для выстроенной процентной шкалы.

Выводы. Созданная специализированная программа «Расчет соотношения относительных долей аллелей κ -казеина в молоке сборном», размещенная в открытом сетевом доступе, обеспечивает корректную и оперативную интерпретацию информационных данных, сгенерированных при анализе сухого молочного сырья сборного происхождения.

Ключевые слова. Молочные продукты, казеины, термоустойчивость, сыропригодность, аллель, *CSN3*, ПЦР, ПДРФ, алгоритмы

Для цитирования: Разработка способа определения в сухом молоке соотношения относительных долей аллелей гена κ -казеина / Х. Х. Гильманов, В. К. Семипятный, А. В. Бигаева [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 525–535. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-525-535>.

Original article

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

New determination method for the ratio of the relative proportions of κ -casein alleles in milk powder

Khamid Kh. Gilmanov*^{ORCID}, Vladislav K. Semipyatnyi^{ORCID}, Alana V. Bigaeva^{ORCID},
Ramil R. Vafin^{ORCID}, Svetlana N. Turovskaya^{ORCID}

All-Russian Dairy Research Institute,
35, Lyusinovskaya Str., Moscow, 115093, Russia

Received: August 13, 2020
Accepted: September 25, 2020

*e-mail: gilmanov.xx@mail.ru



© Kh.Kh. Gilmanov, V.K. Semipyatnyi, A.V. Bigaeva, R.R. Vafin, S.N. Turovskaya, 2020

Abstract.

Introduction. High-quality dairy products depend on the properties of raw materials. Milk is the basic raw material for all dairy

products. Its quality is subject to requirements of biological safety, and its physicochemical and technological properties comply with strict indicators. κ -casein gene is a basic milk protein. Its allelic variants affect milk productivity, as well as its composition and technological properties, e.g. cheeseability and heat resistance. The research objective was to develop a new method for determining the ratio of the relative proportions of selection-significant kappa-casein gene alleles in bulk cow's milk powder by means of molecular genetics and bioinformation system. The method can help to test raw materials for further processing rationality.

Study objects and methods. The research included a genetic analysis of samples of bulk whole milk powder, bulk powdered skimmed milk, and bulk raw milk. The developed method involved DNA extraction, combined PCR-RFLP technique, electrophoretic results, and analysis detection of information data using new mathematical algorithms and software.

Results and discussion. The ratio of the relative proportions of the kappa-casein gene alleles in milk powder was determined using primer sets JK5 and JK3, as well as restriction endonuclease *HinfI* for PCR-RFLP analysis. The experiment showed satisfactory reproducibility and interpretation of the obtained data. The program provided a ratio calculation of the kappa-casein gene alleles relative proportions in the studied milk powder samples, expressed as a percentage of the A allele proportion with additional indication of the absolute and relative errors. It also placed the information block of the generated numerical indicators into the percentage scale.

Conclusion. The developed methodology was implemented by a set of laboratory procedures. The new specialized program "Calculation of the relative proportions ratio of κ -casein alleles in bulk milk" is on open access. It provides a correct and prompt data interpretation, generated during the analysis of dry milk raw materials of bulk origin.

Keywords. Milk products, casein, heat resistance, cheese suitability, allele, *CSN3*, PCR, RFLP, algorithms

For citation: Gilmanov KhKh, Semipyatnyi VK, Bigaeva AV, Vafin RR, Turovskaya SN. New determination method for the ratio of the relative proportions of κ -casein alleles in milk powder. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):525–535. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-525-535>.

Введение

Государственная политика в области пищевой промышленности нацелена на поддержание здоровья граждан путем удовлетворения потребностей населения в сбалансированном питании с учетом привычек и традиций, экономических и физиологических возможностей [1, 2]. Важность молока и молочных продуктов в этом вопросе бесспорна. Совокупность сбалансированности макро- и микрокомпонентов, высокой пищевой ценности и хорошей усвояемости делает молоко незаменимым пищевым продуктом в рационе питания. Высокотехнологичные приемы переработки молока, в том числе производство сухого молока, позволяют снабжать разнообразными молочными продуктами население как труднодоступных регионов, так и городских агломераций, снимая вопрос сезонности молочной отрасли [3]. В основе производства высококачественных пищевых продуктов, в том числе молочных, лежит ценность поступающего на переработку сырья.

К молоку как к сырьевому ингредиенту для выработки большого ассортимента молочных продуктов, таких как сыр, творог, кисломолочные продукты, консервы и др., включая группы функциональных и геродиетических продуктов питания, предъявляются повышенные требования в части биологической безопасности и соответствия его физико-химических и технологических свойств регламентируемым показателям [4–7].

Сухое молоко – универсальный сырьевой компонент. Он позволяет преодолеть проблему сезонности сырого молока с возможностью его доставки в испытывающие дефицит отдаленные районы, обеспечивая стабильность сырьевых ресурсов и качество восстановленных продуктов

переработки молока [3]. Однако выход и качество готовой продукции обусловлены эффективностью переработки поступающего молочного сырья [8]. В связи с этим необходимо акцентировать внимание на таких технологических свойствах молока как термоустойчивость и сыропригодность.

Термоустойчивость молока или способность белковых систем молока выдерживать высокотемпературную обработку без коагуляции предопределяет возможность получения молочных продуктов длительного хранения [9]. Сыропригодность молока или способность его коагулировать под воздействием сычужного фермента с образованием плотного казеинового сгустка – необходимое условие для производства сычужных сыров [10].

Использование генетических маркеров, ассоциированных с качественными признаками молочной продуктивности, оказывающими влияние на состав и технологические свойства молока, находит широкое применение в животноводстве. В качестве одного из таких маркеров рассматривается ген κ -казеина (*CSN3*), локализованный на 6-ой хромосоме генома *Bos taurus* [11, 12]. Из 13 охарактеризованных вариантов гена κ -казеина крупного рогатого скота часто встречаемыми у большинства пород молочного направления являются аллели *A* и *B* *CSN3*, кодирующие соответствующие структурные элементы белков, различающиеся двумя аминокислотными заменами в 136 и 148 положениях полипептидной цепи [13, 14].

В научной литературе аллели *A* и *B* гена *CSN3* признаны взаимосвязанными с молочной продуктивностью, а также составом и технологическими свойствами молока [11, 12, 14–16]. Молоко от коров с генотипами *AB* и *BB* имеет диаметр

мицелл казеина менее 200 нм, тогда как с генотипом *AA* – более 200 нм [13]. Это оказывает определенное влияние на его коагуляционные свойства [17]. При этом не все исследователи трактуют взаимосвязь аллелей *A* и *B* с технологическими свойствами молока однозначно. Это может быть связано с дифференциацией исследуемых выборок животных и объемами технологических выработок в рамках эксперимента [8].

Однако большинство авторов по итогам своих исследований находят, что молоко от коров с преобладанием аллеля *B* по гену *CSN3* характеризуется высоким содержанием жира, белка, сухих веществ и лучшей сыропригодностью [12–14, 18]. Следовательно, в рамках рациональной переработки целесообразно использовать молоко для производства сыров и продуктов молочнокислого брожения. В тоже время наиболее термостойким считается молоко от коров с преобладанием аллеля *A* по гену *CSN3* с рекомендацией его применения для выработки питьевого пастеризованного и стерилизованного молока с длительным сроком хранения и молочных консервов [19].

Одним из естественных компонентов молока являются соматические клетки, влияющие не только на продуктивность коров, но и на качество молока. При этом ряд научных работ показал возможность использования этих клеток в качестве ДНК-содержащего материала, который может быть исследован в образцах сырого и сухого молока молекулярно-генетическими методами [20–22]. Разработка и применение новых подходов и решений по оценке качества сборного сухого молока, в том числе на основе ДНК-технологий, является актуальной задачей [7].

Целью настоящей работы являлась разработка способа определения в сухом молоке соотношения относительных долей аллелей селекционно-значимого гена κ -казеина крупного рогатого скота посредством молекулярно-генетической и биоинформационной системы оценки сырья с позиции рациональности его дальнейшей переработки.

Объекты и методы исследования

Объекты экспериментальных исследований: образцы сборного сухого цельного и обезжиренного молока (СЦМ и СОМ), а также сборного сырого молока с известным соотношением относительных долей аллелей гена κ -казеина крупного рогатого скота в качестве эталона.

Разработанный способ определения в сборном сухом молоке соотношения относительных долей аллелей гена κ -казеина крупного рогатого скота включает экстракцию ДНК из исследуемых образцов, проведение совмещенной техники полимеразной цепной реакции и полиморфизма

длин рестрикционных фрагментов (ПЦР-ПДРФ), учет результатов амплификации и эндонуклеазного расщепления нуклеиновых кислот методом электрофореза и анализ информационных данных, в т. ч. интерпретируемых с помощью созданных математических алгоритмов (формул) и программного обеспечения.

Экстракция ДНК из исследуемых образцов с использованием комплекта реагентов «ДНК-сорб-С-М» (ЦНИИ Эпидемиологии, Россия). Буфер для лизирующего реагента и раствор для отмывки 1 выдерживали при температуре 64 °С («Термит», ДНК-технология, Россия) до полного растворения кристаллов.

В пробирки типа Eppendorf помещали навески исследуемых образцов (для СЦМ и СОМ – масса 50 мг; для сборного сырого молока – объем 1,5 мл) и плотно закрывали крышки. Пробирки с образцами сборного сырого молока подвергали центрифугированию с частотой вращения 12 000 об/мин в течение 15 мин. Затем из каждой пробирки удаляли надосадочную жидкость, используя отдельные наконечники на 200 мкл (без фильтра) и применяя аспиратор с колбой ловушкой («FTA-1», Biosan, Латвия).

В каждую пробирку с исследуемыми образцами СЦМ, СОМ или сборного сырого молока добавляли буфер для лизирующего реагента и лизирующий реагент в количествах 400 мкл и 17 мкл соответственно.

Содержимое пробирок тщательно перемешивали и при плотно закрытых крышках осаждали капли на вортексе («FV-2400», Biosan, Латвия). Затем пробирки термостатировали при температуре 64 °С в течение 60 мин («Термит», ДНК-технология, Россия), периодически (5 раз через каждые 10–12 мин) встряхивая на вортексе.

Нерастворившиеся частицы образцов седиментировали в процессе центрифугирования («СМ-50», Elmi, Латвия) при 12 000 об/мин в течение 5 мин.

В новые пробирки типа Eppendorf объемом 1,5 мл с плотно закрывающимися крышками отдельным наконечником добавляли по 25 мкл ресуспендированного сорбента универсального, предварительно подвергнутого интенсивному встряхиванию на вортексе.

Отдельными наконечниками с фильтрами из пробирок с лизированными образцами отбирали надосадочную жидкость объемом 200–350 мкл и переносили в пробирки с сорбентом. Содержимое пробирок перемешивали на вортексе, затем пробирки помещали в штатив на 10 мин, периодически встряхивая (каждые 2 мин). Далее пробирки центрифугировали при 5 000 об/мин в течение 60 с. Из каждой пробирки отдельным наконечником без фильтра на 200 мкл, используя аспиратор с колбой ловушкой, удаляли надосадочную жидкость.

Таблица 1. ПЦР-ПДРФ-протокол для амплификации и эндонуклеазного расщепления локуса *CSN3*-гена крупного рогатого скота

Table 1. PCR-RFLP protocol for amplification and endonuclease cleavage of the bovine *CSN3* gene locus

ПЦР-протокол

Реагент	Исходная концентрация	Рабочая концентрация	1 проба, мкл	10 проб, мкл
dH ₂ O			13	130
dNTP	2,5 мМ	0,25 мМ	2	20
SE буфер	10×	1×	2	20
Taq ДНК полимеразы	5 ед	1 ед	0,2	2
JK5	25 мкМ	0,5 мкМ	0,4	4
JK3	25 мкМ	0,5 мкМ	0,4	4
Проба ДНК			2	
ВСЕГО			20	

Нуклеотидные последовательности праймеров:

JK5: 5'-ATCATTTATGGCCATTCCACCAAAG-3'. JK3: 5'-GCCCATTTGCGCTTCTCTGTAACAGA-3'.

Режим термоциклирования (амплификатор «Терцик», «ДНК-технология», Россия):

×1:94 °C – 240 с;

×35:94 °C – 10 с, 63 °C – 10 с, 72 °C – 10 с;

×1:72 °C – 420 с.

ПЦР-продукт 350 bp

ПДРФ-протокол

Реагент	Исходная концентрация	Рабочая концентрация	1 проба, мкл	10 проб, мкл
dH ₂ O			12,25	122,5
SE-буфер O	10×	1×	2,5	25
<i>Hinf</i> I	20 ед	5 ед	0,25	2,5
ПЦР-проба			10	
ИТОГО			25	

Инкубация при 37 °C в течение 12 ± 2 ч

ПЦР-ПЦРФ-фрагменты

Генотип AA = 134/131/85 bp

Генотип BB = 265/85 bp

Генотип AB = 265/134/131/85 bp

В пробирки вносили по 300 мкл раствора для отмывки 1 и, плотно закрыв крышки, встряхивали на вортексе до полного ресуспендирования сорбента универсального. Затем пробирки центрифугировали при 5 000 об/мин в течение 60 с. Далее из каждой пробирки отдельным наконечником без фильтра на 200 мкл, используя аспиратор с колбой ловушкой, удаляли надосадочную жидкость.

В пробирки добавляли по 500 мкл раствора для отмывки 2. Плотно закрыв крышки, пробирки встряхивали на вортексе до полного ресуспендирования сорбента универсального и центрифугировали при 10 000 об/мин в течение 60 с. Затем из каждой пробирки удаляли надосадочную жидкость отдельным наконечником без фильтра на 200 мкл, используя аспиратор с колбой ловушкой. Процедуры внесения раствора для отмывки 2, центрифугирования и удаления надосадочной жидкости осуществляли повторно.

Пробирки с открытыми крышками помещали в термостат с температурой 64 °C на 8 ± 2 мин для подсушивания сорбента универсального, добавляли по 50 мкл буфера для элюции B, перемешивали содержимое на вортексе до полного ресуспендирования сорбента. Затем пробирки снова термостатировали 8 ± 2 мин при температуре 64 °C,

периодически (1 раз в минуту) перемешивая на вортексе. Далее пробирки центрифугировали при 12 000 об/мин в течение 60 с. Надосадочную жидкость использовали в качестве пробы ДНК для постановки ПЦР.

Проведение ПЦР-ПДРФ. Реагенты для проведения ПЦР: деионизированная вода (dH₂O); смесь dNTP (2,5 мМ каждого)¹; Taq ДНК полимеразы (5 ед/мкл)¹; буфер для Taq ДНК полимеразы (10×)¹; праймеры JK5 и JK3 (25 мкМ каждого); проба ДНК.

Реагенты для проведения ПДРФ: деионизированная вода (dH₂O); SE-буфер O для рестриктазы (10×)¹; эндонуклеаза рестрикции *Hinf*I (20 ед/мкл)¹; ПЦР-проба.

Исходные и рабочие концентрации реагентов и поочередно вносимые их объемы для приготовления реакционных смесей представлены в соответствующем ПЦР-ПДРФ-протоколе, изначально используемом для генотипирования крупного рогатого скота по *CSN3*-гену (табл. 1). В протоколе указаны нуклеотидные последовательности праймеров, режим термоциклирования и размер генерируемого ПЦР-продукта в части ПЦР-протокола, а также режим инкубирования и размер

¹ Производство ООО «СибЭнзим», Россия.

генерируемых ПЦР-ПДРФ-фрагментов в части ПДРФ-протокола.

Детекция результатов амплификации и эндонуклеазного расщепления нуклеиновых кислот методом электрофореза и анализ информационных данных.

1. Приготовление рабочего 1× ТАЕ буфера. К 10 мл концентрированного 50× трис-ацетатного электродного буфера (ЗАО «Синтол», Россия) добавляли дистиллированную воду, доводя объем до 500 мл. Хорошо перемешивали. Далее в электродный 1× ТАЕ буфер вносили 15 мкл 1 % раствора этидиума бромида.

2. Приготовление 2 % агарозного геля. Навеску агарозы массой 2 г (Biotechnology Grade, Amresco, США) переносили в стеклянную колбу из термостойкого стекла объемом 250 мл и добавляли 100 мл готового рабочего раствора электрофорезного буфера. Содержимое колбы перемешивали вращательными движениями и помещали в микроволновую печь, выдерживая при мощности 800 Вт в течение 90 с до полного растворения агарозы. Затем колбу с расплавленной агарозой вынимали и аккуратно перемешивали содержимое плавными вращательными движениями. Далее колбу с агарозой вторично помещали в микроволновую печь на 90 с, доводя агарозу до кипения. Колбу вынимали из микроволновой печи и остужали содержимое до температуры 65–70 °С, аккуратно перемешивая содержимое вращением колбы.

3. Расплавленную агарозу заливали в форму камеры. Толщина агарозного геля должна быть около 6 мм.

4. После полного застывания геля аккуратно вынимали из него гребенку. Подложку с готовым гелем помещали в камеру для горизонтального электрофореза («SE-2», Хеликон, Россия), куда затем заливали готовый электродный буфер выше уровня геля на 5 мм.

5. Пробирки с продуктами амплификации помещали в штатив. В чистые пробирки отбирали по 10 мкл ПЦР-пробы. В них добавляли 2 мкл буфера для нанесения (10× SE-буфер для нанесения с красителем, ООО «СибЭнзим», Россия). Затем окрашенные амплификаты вносили в лунки геля, используя новый наконечник для каждой пробы.

6. Камеру подключали к источнику питания и включали его («Эльф-4», ДНК-Технология, Россия). Запрограммированные параметры: выходное напряжение – 150 В, выходной ток – 150 мА, выходная мощность – 50 Вт. Время электрофореза – 30 мин.

7. Камеру отключали от источника питания сразу после окончания электрофореза. Гель переносили на трансиллюминатор системы геледокументирования «Gel Doc XR+» с поддержкой программного обеспечения («Image Lab» Bio-Rad, США). Изображение геля получали на компьютере

с помощью видеосистемы с последующим его анализом и документированием.

8. Программно рассчитывали значение абсолютного количества (Quantity) детектируемого ПЦР-продукта длиной 350 bp (band) каждой анализируемой ПЦР-пробы в двойной повторности. Для этого задавали значение контрольной (эталонной) ПЦР-пробе² первой повторности, равное 100, выбрав единицу измерения – none, выставив линейную регрессию – Linear. Полученные в ходе анализа данные были необходимы для расчета отбираемого объема ПДРФ-пробы для внесения в лунки агарозного геля по формуле:

$$U = 100 \times 20 / Q \quad (1)$$

где U – отбираемый объем ПДРФ-пробы для внесения в лунки агарозного геля за исключением контрольной ПДРФ-пробы первой повторности, мкл; 100 – значение абсолютного количества (Quantity) контрольной ПЦР-пробы первой повторности; 20 – отбираемый объем контрольной ПДРФ-пробы первой повторности для внесения в лунки агарозного геля, мкл; Q – значение абсолютного количества (Quantity) детектируемого ПЦР-продукта анализируемой контрольной ПЦР-пробы второй повторности, а также последующих ПЦР-проб в двойных повторностях, рассчитанных программно.

9. Пробирки с продуктами эндонуклеазного расщепления помещали в штатив, отбирали из них рассчитанный, согласно п. 8, объем ПДРФ-пробы и вносили в чистые пробирки с последующим смешиванием с 2 мкл буфера для нанесения. Затем окрашенные ПДРФ-пробы вносили в лунки геля, используя новый наконечник для каждой пробы.

10. Камеру подключали к источнику питания и включали его. Запрограммированные параметры: выходное напряжение – 150 В, выходной ток – 150 мА, выходная мощность – 50 Вт. Время электрофореза – 40 мин.

11. После завершения времени электрофореза выключали источник питания, переносили гель на трансиллюминатор системы геледокументирования «Gel Doc XR+» с поддержкой программного обеспечения («Image Lab», Bio-Rad, США). Получали изображение геля на компьютере с помощью видеосистемы с последующим его анализом и документированием.

12. Программно рассчитывали для каждой анализируемой ПДРФ-пробы в двойной повторности значение абсолютного количества (Quantity) детектируемых ПДРФ-фрагментов с длинами 134/131 bp (band 2), занимающих среднее положение между верхним ПДРФ-фрагментом размером 265 bp (band 1) и нижним ПДРФ-фрагментом размером 85 bp (band 3). Для этого задавали значение Quantity, равное 100 для band 1 (265 bp) каждой пробы, выбрав единицу измерения – none, выставив линейную регрессию

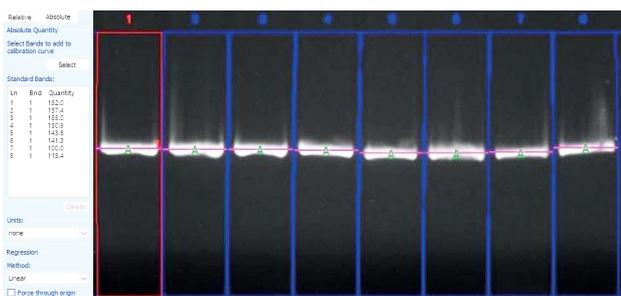


Рисунок 1. Электрофореграмма результата ПЦР-анализа исследуемых образцов с праймерами JK5+JK3 и программный расчет значения абсолютного количества (Q) детектируемого ПЦР-продукта длиной 350 bp каждой анализируемой ПЦР-пробы в двойной повторности (скриншот обработанных данных в «Image Lab»).

1 – ПЦР-проба образца COM1 первой повторности (152,0);
 2 – ПЦР-проба образца COM1 второй повторности (157,4);
 3 – ПЦР-проба образца COM2 первой повторности (155,0);
 4 – ПЦР-проба образца COM2 второй повторности (150,9);
 5 – ПЦР-проба образца СЦМ первой повторности (143,8);
 6 – ПЦР-проба образца СЦМ второй повторности (141,3);
 7 – ПЦР-проба контрольного образца (генотип $CSN3^{AB}$) первой повторности (100,0); 8 – ПЦР-проба контрольного образца (генотип $CSN3^{AB}$) второй повторности (115,4)

Figure 1. Electropherogram of the result of PCR analysis of test samples with primers JK5 + JK3 and software calculation of the absolute amount (Q) of the detected PCR product of 350 bp in length for each analyzed PCR sample in duplicate (a screenshot of the processed data in the Image Lab). 1 – PCR test of the COM1 sample of the first replication (152.0); 2 – PCR sample of the COM1 sample of the second replication (157.4); 3 – PCR sample of the COM2 sample of the first replication (155.0); 4 – PCR sample of the COM2 sample of the second replication (150.9); 5 – PCR sample of the SCM sample of the first replicate (143.8); 6 – PCR sample of the SCM sample of the second replicate (141.3); 7 – PCR test of the control sample (genotype $CSN3^{AB}$) of the first replication (100.0); 8 – PCR sample of the control sample (genotype $CSN3^{AB}$) of the second replication (115.4)

– Linear. Полученные в ходе анализа данные были необходимы для определения в сборном сухом молоке соотношения относительных долей аллелей гена $CSN3$.

13. На следующем этапе последовательно рассчитывали числовой показатель контрольной

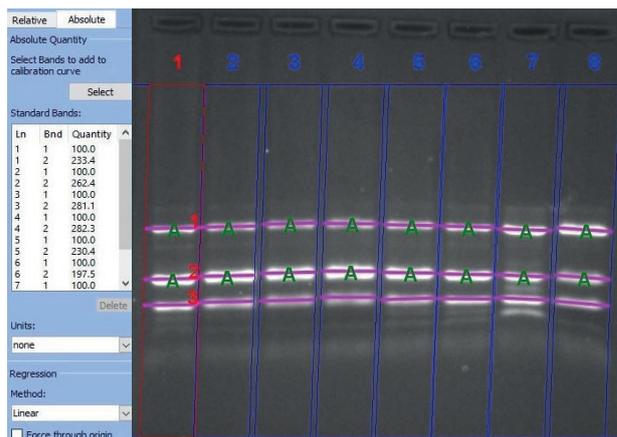


Рисунок 2. Электрофореграмма результата ПЦР-ПДРФ-анализа по аллельным вариантам A и B гена $CSN3$ с праймерами JK5+JK3 и эндонуклеазным расщеплением рестриктазой $HinfI$, включая программный расчет значений абсолютного количества (Q1/Q2) детектируемых ПЦР-ПДРФ-фрагментов (скриншот обработанных данных в «Image Lab»).

1 – $HinfI$ -ПДРФ-профиль образца COM1 первой повторности (100/233,4); 2 – $HinfI$ -ПДРФ-профиль образца COM1 второй повторности (100/262,4); 3 – $HinfI$ -ПДРФ-профиль образца COM2 первой повторности (100/281,1); 4 – $HinfI$ -ПДРФ-профиль образца COM2 второй повторности (100/282,3); 5 – $HinfI$ -ПДРФ-профиль образца СЦМ первой повторности (100/230,4); 6 – $HinfI$ -ПДРФ-профиль образца СЦМ второй повторности (100/197,5); 7 – $HinfI$ -ПДРФ-профиль контрольного образца (генотип $CSN3^{AB}$) первой повторности (100/54,4); 8 – $HinfI$ -ПДРФ-профиль контрольного образца (генотип $CSN3^{AB}$) второй повторности (100/49,5)

Figure 2. Electropherogram of the result of PCR-RFLP analysis for allelic variants A and B of the $CSN3$ gene with primers JK5 + JK3 and endonuclease digestion with the restriction enzyme $HinfI$, including the software calculation of the absolute amount (Q1 / Q2) of the detected PCR-RFLP-processed fragments (a screenshot in Image Lab). 1 – $HinfI$ -RFLP-profile of the COM1 sample of the first replication (100/233.4); 2 – $HinfI$ -RFLP profile of the COM1 sample of the second replication (100/262.4); 3 – $HinfI$ -RFLP-profile of the sample COM2 of the first replication (100/281.1); 4 – $HinfI$ -RFLP-profile of the COM2 sample of the second replication (100/282.3); 5 – $HinfI$ -RFLP-profile of the SCM sample of the first replicate (100/230.4); 6 – $HinfI$ -RFLP profile of the CMM sample of the second replication (100/197.5); 7 – $HinfI$ -RFLP-profile of the control sample (genotype $CSN3^{AB}$) of the first replication (100/54.4); 8 – $HinfI$ -RFLP-profile of the control sample (genotype $CSN3^{AB}$) of the second replication (100/49.5)

Таблица 2. Отбираемые объемы ПДРФ-проб для внесения в лунки агарозного геля

Table 2. Selected volumes of RFLP samples to be put into agarose gel wells

№	ПЦР-проба образца сборного сухого молока	Quantity	Отбираемый объем ПДРФ-пробы, мкл
1	ПЦР-проба образца COM1 первой повторности	152,0	13,1
2	ПЦР-проба образца COM1 второй повторности	157,4	12,7
3	ПЦР-проба образца COM2 первой повторности	155,0	12,9
4	ПЦР-проба образца COM2 второй повторности	150,9	13,2
5	ПЦР-проба образца СЦМ первой повторности	143,8	13,9
6	ПЦР-проба образца СЦМ второй повторности	141,3	14,1
7	Контрольная ПЦР-проба первой повторности (генотип $CSN3^{AB}$)	100,0	20,0
8	Контрольная ПЦР-проба второй повторности (генотип $CSN3^{AB}$)	115,4	17,3

Таблица 3. Установленные значения абсолютных количеств Quantity (Q1 и Q2) детектируемых ПДРФ-фрагментов с длинами 265 bp (band 1) и 134/131 bp (band 2) проанализированных ПДРФ-проб с выведенным среднеарифметическим ЧП

Table 3. Established values of the absolute amounts of Quantity (Q1 and Q2) of the detected RFLP fragments with lengths of 265 bp (band 1) and 134/131 bp (band 2) of the analyzed RFLP samples with the derived arithmetic mean index

№ п.п	ПДРФ-проба образца сборного сухого молока	Quantity band 1 (Q1)	Quantity band 2 (Q2)	ЧП
1	<i>Hinf</i> I-ПДРФ-профиль образца СОМ1 первой повторности	100	233,4	0,403
2	<i>Hinf</i> I-ПДРФ-профиль образца СОМ1 второй повторности	100	262,4	
3	<i>Hinf</i> I-ПДРФ-профиль образца СОМ2 первой повторности	100	281,1	0,355
4	<i>Hinf</i> I-ПДРФ-профиль образца СОМ2 второй повторности	100	282,3	
5	<i>Hinf</i> I-ПДРФ-профиль образца СЦМ первой повторности	100	230,4	0,467
6	<i>Hinf</i> I-ПДРФ-профиль образца СЦМ второй повторности	100	197,5	
7	<i>Hinf</i> I-ПДРФ-профиль контрольного образца (генотип <i>CSN3^{AB}</i>) первой повторности	100	54,4	1,925
8	<i>Hinf</i> I-ПДРФ-профиль контрольного образца (генотип <i>CSN3^{AB}</i>) второй повторности	100	49,5	

ПДРФ-пробы² первой и второй повторности (с последующим выведением среднеарифметического значения) по формуле:

$$\text{ЧП} = Q1 / Q2 \quad (2)$$

где ЧП – числовой показатель; Q1 – значение абсолютного количества (Quantity) детектируемого ПДРФ-фрагмента размером 265 bp (band 1), равное 100; Q2 – значение абсолютного количества (Quantity) детектируемого ПДРФ-фрагмента размером 134/131 bp (band 2).

14. Выстраивали процентную шкалу соотношения относительных долей аллелей гена *CSN3* (прописывая долю аллеля *A CSN3* в процентном выражении, оставшаяся часть которого приходилась на долю аллеля *B CSN3*) с расчетом соответствующего числового показателя, предварительно рассчитав ожидаемое значение Quantity для band 1 ($oQ1$) и band 2 ($oQ2$) по формулам:

$$oQ1 = B\% \times nQ1 / kB\% \quad (3)$$

где $oQ1$ – ожидаемое значение Quantity для band 1; $B\%$ – доля аллеля *B* в процентном выражении выстраиваемой шкалы; $nQ1$ – наблюдаемое значение Quantity для band 1 контрольной ПДРФ-пробы, равное 100; $kB\%$ – доля аллеля *B* контрольной ПДРФ-пробы, %.

$$oQ2 = A\% \times nQ2 / kA\% \quad (4)$$

где $oQ2$ – ожидаемое значение Quantity для band 2; $A\%$ – доля аллеля *A* в процентном выражении

выстраиваемой шкалы; $nQ2$ – наблюдаемое среднеарифметическое значение Quantity для band 2 контрольной ПДРФ-пробы; $kA\%$ – доля аллеля *A* контрольной ПДРФ-пробы, %.

15. Оперирова получеными значениями, рассчитывали числовой показатель для выстроенной процентной шкалы соотношения относительных долей аллелей гена *CSN3* по формуле:

$$\text{шЧП} = oQ1 / oQ2 \quad (5)$$

где шЧП – числовой показатель для выстроенной процентной шкалы соотношения относительных долей аллелей гена *CSN3*; $oQ1$ – ожидаемое значение Quantity для band 1; $oQ2$ – ожидаемое значение Quantity для band 2.

16. Рассчитывали для каждой анализируемой ПДРФ-пробы в двойной повторности ЧП согласно формуле, отраженной в п. 13 с последующим выведением среднеарифметического значения.

17. Полученные ЧП сопоставляли с соответствующими шЧП для выстроенной процентной шкалы соотношения относительных долей аллелей гена *CSN3*, прописывая установленную долю аллеля *A* в процентном выражении с указанием абсолютной и относительной погрешности (\pm %).

Разработанная программа «Расчет соотношения относительных долей аллелей κ -казеина в молоке сборном» размещена в открытом доступе по адресу <https://www.wolframcloud.com/obj/e90009f8-53de-4c24-8980-837061c0ee22>.

Результаты и их обсуждение

Результаты генетического тестирования образцов СОМ и СЦМ на предмет определения в сборном сухом молоке соотношения относительных долей аллелей гена κ -казеина с использованным набором праймеров (JK5 и JK3) эндонуклеазы рестрикции *Hinf*I для проведения ПЦР-ПДРФ-анализа показали удовлетворительную воспроизводимость и интерпретацию полученных данных.

² Контрольные (эталонные) ПЦР- и ПДРФ-пробы формировались из числа образцов сборного сухого молока, сборного сырого молока с известным соотношением относительных долей аллелей гена κ -казеина крупного рогатого скота, прошедших этапы пробоподготовки, экстракции, амплификации и эндонуклеазного расщепления нуклеиновых кислот. В качестве контрольного (эталонного) образца также использовали препарат ДНК, выделенный из коровьего молока с генотипом *AB* гена *CSN3* с относительной долей аллеля *A*, равной 50 %.



Расчет соотношения относительных долей аллелей κ -казеина в молоке сборном

при учете теоретической процентной шкалы контроля

50
 54.4; 49.5
 Введите последовательность чисел, десятичный разделитель - точка

Образцы	Наименование образца	нQ2 образца
	СОМ1	233.4; 262.4
	СОМ2	281.1; 282.3
	СЦМ	230.4; 197.5

Рисунок 3. Интерфейс разработанной программы «Расчет соотношения относительных долей аллелей κ -казеина в молоке сборном» на начальном этапе внесения соответствующих данных

Figure 3. Interface of the developed program “Calculation of the ratio of the relative proportions of alleles of κ -casein in bulk milk” at the input stage

Праймеры JK5 и JK3 инициировали амплификацию локуса гена *CSN3* крупного рогатого скота длиной 350 bp (рис. 1).

В таблице 2 представлены рассчитанные по формуле (1) отбираемые объемы ПДРФ-проб исследуемых образцов для внесения в лунки агарозного геля.

*Hinf*I-ПДРФ-анализ генерируемых генотип-специфичных фрагментов ($AA = 134/131/85$ bp, $BB = 265/85$ bp и $AB = 265/134/131/85$) обеспечивал корректную процедуру генетического тестирования исследуемых образцов (рис. 2).

В таблице 3 представлены программно сгенерированные для каждой анализируемой ПДРФ-пробы в двойной повторности значения абсолютного количества Q2 детектируемых ПДРФ-фрагментов с длинами 134/131 bp (band 2) при установленном значении Q1 для band 1 (265 bp), равном 100, с последующим расчетом среднеарифметического числового показателя (ЧП) согласно формуле (2).

На рисунке 3 показан принцип работы программы «Расчет соотношения относительных долей аллелей κ -казеина в молоке сборном» с внесением соответствующих данных: доля аллеля *A* контрольной ПДРФ-пробы, выраженная в процентах (кА, %); наблюдаемое (среднеарифметическое) значение Quantity для band 2 контрольной ПДРФ-пробы (нQ контроля); информация об исследуемом

Образец	Доля аллеля A	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность
СОМ1	82.67%	±0.8398%	±1.016%
СОМ2	84.43%	±0.028%	±0.03316%
СЦМ	80.46%	±1.213%	±1.509%

Шкала

1%: 190.568	21%: 7.2414	41%: 2.77002	61%: 1.23069	81%: 0.451526
2%: 94.3215	22%: 6.82474	42%: 2.65823	62%: 1.17979	82%: 0.422545
3%: 62.2393	23%: 6.44432	43%: 2.55165	63%: 1.13051	83%: 0.394262
4%: 46.1983	24%: 6.0956	44%: 2.44991	64%: 1.08277	84%: 0.366653
5%: 36.5736	25%: 5.77478	45%: 2.35269	65%: 1.0365	85%: 0.339693
6%: 30.1572	26%: 5.47864	46%: 2.2597	66%: 0.991629	86%: 0.31336
7%: 25.574	27%: 5.20443	47%: 2.17066	67%: 0.948099	87%: 0.287633
8%: 22.1367	28%: 4.94981	48%: 2.08534	68%: 0.905848	88%: 0.26249
9%: 19.4632	29%: 4.71275	49%: 2.0035	69%: 0.864823	89%: 0.237912
10%: 17.3244	30%: 4.4915	50%: 1.92493	70%: 0.824969	90%: 0.213881
11%: 15.5744	31%: 4.28452	51%: 1.84944	71%: 0.786238	91%: 0.190377
12%: 14.1161	32%: 4.09047	52%: 1.77686	72%: 0.748583	92%: 0.167385
13%: 12.8822	33%: 3.90819	53%: 1.70701	73%: 0.71196	93%: 0.144887
14%: 11.8246	34%: 3.73662	54%: 1.63975	74%: 0.676326	94%: 0.122868
15%: 10.9079	35%: 3.57487	55%: 1.57494	75%: 0.641643	95%: 0.101312
16%: 10.1059	36%: 3.42209	56%: 1.51244	76%: 0.607872	96%: 0.0802053
17%: 9.39818	37%: 3.27758	57%: 1.45214	77%: 0.574978	97%: 0.0595338
18%: 8.76912	38%: 3.14067	58%: 1.39391	78%: 0.542928	98%: 0.0392842
19%: 8.20627	39%: 3.01078	59%: 1.33766	79%: 0.51169	99%: 0.0194437
20%: 7.69971	40%: 2.88739	60%: 1.28329	80%: 0.481232	100%: 0.

Рисунок 4. Интерфейс разработанной программы «Расчет соотношения относительных долей аллелей κ -казеина в молоке сборном» на заключительном этапе выдачи результата расчета

Figure 4. Interface of the developed program “Calculation of the ratio of the relative proportions of alleles of κ -casein in bulk milk” at the final stage

образце (наименование образца); наблюдаемое (среднеарифметическое) значение Quantity для band 2 анализируемой ПДРФ-пробы (нQ2 образца).

На рисунке 4 показан выданный программой результат расчета соотношения относительных долей аллелей гена κ -казеина в исследуемых образцах сборного сухого молока, выраженный в процентах доли аллеля *A* с дополнительным указанием абсолютной и относительной погрешностей. Также ниже приведен информационный блок сгенерированных числовых показателей для выстроенной процентной шкалы.

Выводы

Производство молока, полученного от коров желаемого генотипа по гену *CSN3*, – многоступенчатый процесс. Он связан с решением ряда задач, включающих в себя комплекс зоотехнических, ветеринарных, технологических и экономических аспектов работы. Элементы ДНК-технологии прижизненного формирования молочной продуктивности животных, состава и технологических свойств молока, успешно внедренные в селекционно-племенную деятельность, также могут быть интегрированы в молекулярно-генетическую и биоинформационную систему оценки сырья и продуктов его переработки.

Представленная в настоящей работе методология разработанного способа определения в сборном сухом молоке соотношения относительных долей аллелей гена κ -казеина крупного рогатого скота реализована комплексом лабораторных процедур, включающих выделение нуклеиновых кислот,

проведение ПЦР-ПДРФ, электрофорезную детекцию и анализ полученных результатов математическими алгоритмами и программным обеспечением. При этом созданная специализированная программа «Расчет соотношения относительных долей аллелей κ -казеина в молоке сборном», размещенная в открытом сетевом доступе, обеспечивает корректную и оперативную интерпретацию информационных данных.

Дальнейшее развитие данного направления позволит усовершенствовать алгоритмы математического моделирования оценочных критериев уровня соответствия технологических свойств сборного коровьего молока рекомендуемым показателям по свертываемости и термоустойчивости, а также оптимизировать технологии производства молочных продуктов в контексте предварительной молекулярно-генетической и биоинформационной

системы оценки сырья с позиции рациональности его дальнейшей переработки.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в подготовке и написании статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors bear equal responsibility for the content of the article.

Conflicts of interest

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

Список литературы

1. Role of organic products in the implementation of the state policy of healthy nutrition in the Russian Federation / Z. Yu. Belyakova, I. A. Makeeva, N. V. Stratonova [et al.] // *Foods and Raw Materials*. – 2018. – Vol. 6, № 1. – P. 4–13. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-4-13>.
2. Genes and eating preferences, their roles in personalized nutrition / A. Vesnina, A. Prosekov, O. Kozlova [et al.] // *Genes*. – 2020. – Vol. 11, № 4. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes11040357>.
3. Effects of critical fluctuations of storage temperature on the quality of dry dairy product / A. G. Galstyan, A. N. Petrov, E. E. Illarionova [et al.] // *Journal of Dairy Science*. – 2019. – Vol. 102, № 12. – P. 10779–10789. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17229>.
4. Юрова, Е. А. Критерии оценки молока-сырья для получения продукта гарантированного качества / Е. А. Юрова, Д. Н. Мельденберг, Е. Ю. Парфенова // *Молочная промышленность*. – 2019. – № 4. – С. 26–29. DOI: <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2019-4-26-28>.
5. Changes in physico-chemical properties of milk under ultraviolet radiation / V. D. Kharitonov, N. E. Sherstneva, D. V. Kharitonov [et al.] // *Foods and Raw Materials*. – 2019. – Vol. 7, № 1. – P. 161–167. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-161-167>.
6. Genetic identification of bovine leukaemia virus / I. M. Donnik, R. R. Vafin, A. G. Galstyan [et al.] // *Food and Raw Materials*. – 2018. – Vol. 6, № 2. – P. 314–324. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-314-324>.
7. Современные подходы к хранению и эффективной переработке сельскохозяйственной продукции для получения высококачественных пищевых продуктов / А. Г. Галстян, Л. М. Аксёнова, А. Б. Лисицын [и др.] // *Вестник Российской академии наук*. – 2019. – Т. 89, № 5. – С. 211–213. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895539-542>.
8. Effects of the detailed protein composition of milk on curd yield and composition measured by model micro-cheese curd making of individual milk samples / V. Bonfatti, D. R. de Freitas, A. Lugo [et al.] // *Journal of Dairy Science*. – 2019. – Vol. 102, № 9. – P. 7863–7873. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15743>.
9. Huppertz, T. Heat stability of milk / T. Huppertz // *Advanced dairy chemistry. Volume 1B: Proteins: applied aspects* / P. L. H. McSweeney, J. A. O'Mahony. – New York : Springer, 2016. – P. 179–196. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2800-2_7.
10. Study of fatty acid composition of milk for cheese production / E. V. Topnikova, V. A. Mordvinova, G. M. Sviridenko [et al.] // *Food systems*. – 2019. – Vol. 2, № 4. – P. 34–37. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-4-34-37>.
11. The influence of *CSN3* and *LGB* polymorphisms on milk production and chemical composition in Romanian Simmental cattle / R. I. Neamt, G. Saplacan, S. Acatincai [et al.] // *Acta Biochimica Polonica*. – 2017. – Vol. 64, № 3. – P. 493–497. DOI: https://doi.org/10.18388/abp.2016_1454.
12. Candidate gene of milk protein for genetic improvement of dairy cattle / S. A. Asmarasari, C. Sumantri, A. Gunawan [et al.] // *Wartazoa: Buletin Ilmu Peternakan Dan Kesehatan Hewan Indonesia*. – 2019. – Vol. 29, № 2. – P. 97–107. DOI: <https://doi.org/10.14334/wartazoa.v29i2.1890>.
13. Factors influencing casein micelle size in milk of individual cows: genetic variants and glycosylation of κ -casein / E. Bijl, R. de Vries, H. van Valenberg [et al.] // *International Dairy Journal*. – 2014. – Vol. 34, № 1. – P. 135–141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.08.001>.

14. Association of *HindIII*-polymorphism in kappa-casein gene with milk, fat and protein yield in Holstein cattle / M. Miluchová, M. Gábor, J. Candrák [et al.] // *Acta Biochimica Polonica*. – 2018. – Vol. 65, № 3. – P. 403–407. DOI: https://doi.org/10.18388/abp.2017_2313.
15. Ionel, N. R. Effects of sires genotyping for k-Casein on *B* allele frequency in Romanian Brown Cattle / N. R. Ionel, D. Ilie, C. L. Toma // *Research Journal of Biotechnology*. – 2017. – Vol. 12, № 12. – P. 9–13.
16. Technological properties of milk of cows with different genotypes of kappa-casein and beta-lactoglobulin / S. V. Tyulkin, R. R. Vafin, L. R. Zagidulin [et al.] // *Foods and Raw Materials*. – 2018. – Vol. 6, № 1. – P. 154–162. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-154-162>.
17. Effect of protein composition on the cheese-making properties of milk from individual dairy cows / A. Wedholm, L. B. Larsen, H. Lindmark-Mansson [et al.] // *Journal of Dairy Science*. – 2006. – Vol. 89, № 9. – P. 3296–3305. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72366-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72366-9).
18. Genetic formation factors of dairy efficiency and quality of cattle milk / I. M. Donnik, O. G. Loretts, O. A. Bykova [et al.] // *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*. – 2017. – Vol. 4, № 11. – P. 4163–4169. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1048989>.
19. Ефремов, А. А. Технологические свойства молока коров разных генотипов по каппа-казеину / А. А. Ефремов, С. В. Карамаев, Н. В. Соболева // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. – 2011. – Т. 32, № 1. – С. 157–160.
20. New rapid method of DNA isolation from milk somatic cells / J. Pokorska, D. Kułaj, M. Dusza [et al.] // *Animal Biotechnology*. – 2016. – Vol. 27, № 2. – P. 113–117. DOI: <https://doi.org/10.1080/10495398.2015.1116446>.
21. Liao, J. Purification procedures meaningfully influence DNA quantification in milk / J. Liao, Y. Liu // *LWT – Food Science and Technology*. – 2018. – Vol. 94. – P. 8–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.031>.

References

1. Belyakova ZYu, Makeeva IA, Stratonova NV, Pryanichnikova NS, Bogatyrev AN, Diel F, et al. Role of organic products in the implementation of the state policy of healthy nutrition in the Russian Federation. *Foods and Raw Materials*. 2018;6(1):4–13. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-4-13>.
2. Vesnina A, Prosekov A, Kozlova O, Atuchin V. Genes and eating preferences, their roles in personalized nutrition. *Genes*. 2020;11(4). DOI: <https://doi.org/10.3390/genes11040357>.
3. Galstyan AG, Petrov AN, Illarionova EE, Semipyatnyy VK, Turovskaya SN, Ryabova AE, et al. Effects of critical fluctuations of storage temperature on the quality of dry dairy product. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(12):10779–10789. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17229>.
4. Yurova EA, Meldenberg DN, Parfenova EYu. Criteria of the raw milk assessment used to obtain products with guaranteed quality. *Dairy industry*. 2019;(4):26–29. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2019-4-26-28>.
5. Kharitonov VD, Sherstneva NE, Kharitonov DV, Yurova EA, Kurchenko VP. Changes in physico-chemical properties of milk under ultraviolet radiation. *Foods and Raw Materials*. 2019;7(1):161–167. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-161-167>.
6. Donnik IM, Vafin RR, Galstyan AG, Krivonogova AS, Shaeva AY, Gilmanov KhKh, et al. Genetic identification of bovine leukaemia virus. *Food and Raw Materials*. 2018;6(2):314–324. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-314-324>.
7. Galstyan AG, Aksenova LM, Lisitsyn AB, Oganesyants LA, Petrov AN. Modern approaches to storage and effective processing of agricultural products for obtaining high quality food products. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2019;89(2):211–213. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895539-542>.
8. Bonfatti V, de Freitas DR, Lugo A, Vicario D, Carnier P. Effects of the detailed protein composition of milk on curd yield and composition measured by model micro-cheese curd making of individual milk samples. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(9):7863–7873. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15743>.
9. Huppertz T. Heat stability of milk. In: McSweeney PLH, O'Mahony JA, editors. *Advanced dairy chemistry. Volume 1B: Proteins: applied aspects*. New York: Springer; 2016. pp. 179–196. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2800-2_7.
10. Topnikova EV, Mordvinova VA, Sviridenko GM, Danilova ES. Study of fatty acid composition of milk for cheese production. *Food systems*. 2019;2(4):34–37. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-4-34-37>.
11. Neamț RI, Saplacan G, Acatincai S, Csiszter LT, Gavojdian D, Ilie DE. The influence of *CSN3* and *LGB* polymorphisms on milk production and chemical composition in Romanian Simmental cattle. *Acta Biochimica Polonica*. 2017;64(3):493–497. DOI: https://doi.org/10.18388/abp.2016_1454.
12. Asmarasari SA, Sumantri C, Gunawan A, Taufik E, Anggraeni A. Candidate gene of milk protein for genetic improvement of dairy cattle. *Wartazoa: Buletin Ilmu Peternakan Dan Kesehatan Hewan Indonesia*. 2019;29(2):97–107. DOI: <https://doi.org/10.14334/wartazoa.v29i2.1890>.
13. Bijl E, de Vries R, van Valenberg H, Huppertz T, van Hooijdonk T. Factors influencing casein micelle size in milk of individual cows: genetic variants and glycosylation of k-casein. *International Dairy Journal*. 2014;34(1):135–141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.08.001>.

14. Miluchová M, Gábor M, Candrák J, Trakovická A, Candráková K. Association of *HindIII*-polymorphism in kappa-casein gene with milk, fat and protein yield in Holstein cattle. *Acta Biochimica Polonica*. 2018;65(3):403–407. DOI: https://doi.org/10.18388/abp.2017_2313.
15. Ionel NR, Ilie D, Toma CL. Effects of sires genotyping for k-Casein on *B* allele frequency in Romanian Brown Cattle. *Research Journal of Biotechnology*. 2017;12(12):9–13.
16. Tyulkin SV, Vafin RR, Zagidulin LR, Akhmetov TM, Petrov AN, Diel F. Technological properties of milk of cows with different genotypes of kappa-casein and beta-lactoglobulin. *Foods and Raw Materials*. 2018;6(1):154–162. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-154-162>.
17. Wedholm A, Larsen LB, Lindmark-Månsson H, Karlsson AH, Andrén A. Effect of protein composition on the cheese-making properties of milk from individual dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2006;89(9):3296–3305. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72366-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72366-9).
18. Donnik IM, Loretts OG, Bykova OA, Shkuratova IA, Isaeva AG, Krivonogova AS. Genetic formation factors of dairy efficiency and quality of cattle milk. *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2017;4(11):4163–4169. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1048989>.
19. Yefremov AA, Karamaev SV, Soboleva NV. Technological properties of milk produced by cows of different genotypes as to kappa-casein. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2011;32(1):157–160. (In Russ.).
20. Pokorska J, Kułaj D, Dusza M, Żychlińska-buczek J, Makulska J. New rapid method of DNA isolation from milk somatic cells. *Animal Biotechnology*. 2016;27(2):113–117. DOI: <https://doi.org/10.1080/10495398.2015.1116446>.
21. Liao J, Liu Y. Purification procedures meaningfully influence DNA quantification in milk. *LWT – Food Science and Technology*. 2018;94:8–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.031>.

Сведения об авторах

Гильманов Хамид Халимович

канд. био. наук, научный сотрудник, ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», 115093, Россия, г. Москва, ул. Люсиновская, 35, тел.: +7 (499) 236-02-36, e-mail: kh_gilmanov@vnimi.org
<https://orcid.org/0000-0001-7053-6925>

Семипятный Владислав Константинович

канд. техн. наук, ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», 115093, Россия, г. Москва, ул. Люсиновская, 35, e-mail: semipyatniy@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1241-0026>

Бигаева Алана Владиславовна

младший научный сотрудник, ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», 115093, Россия, г. Москва, ул. Люсиновская, 35, тел.: +7 (499) 236-02-36, e-mail: a_bigaeva@vnimi.org
<https://orcid.org/0000-0001-8400-2465>

Вафин Рамиль Ришадович

д-р био. наук, профессор РАН, старший научный сотрудник, ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», 115093, Россия, г. Москва, ул. Люсиновская, 35, тел.: +7 (499) 236-02-36, e-mail: r_vafin@vnimi.org
<https://orcid.org/0000-0003-0914-0053>

Туровская Светлана Николаевна

старший научный сотрудник, ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», 115093, Россия, г. Москва, ул. Люсиновская, 35, тел.: +7 (499) 236-02-36, e-mail: s_turovskaya@vnimi.org
<https://orcid.org/0000-0002-5875-9875>

Information about the authors

Khamid Kh. Gilmanov

Cand.Sci.(Bio.), Researcher, All-Russian Dairy Research Institute, 35, Lyusinovskaya Str., Moscow, 115093, Russia, phone: +7 (499) 236-02-36, e-mail: kh_gilmanov@vnimi.org
<https://orcid.org/0000-0001-7053-6925>

Vladislav K. Semipyatniy

Cand.Sci.(Eng.), All-Russian Dairy Research Institute, 35, Lyusinovskaya Str., Moscow, 115093, Russia, e-mail: semipyatniy@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1241-0026>

Alana V. Bigaeva

Junior Researcher, All-Russian Dairy Research Institute, 35, Lyusinovskaya Str., Moscow, 115093, Russia, phone: +7 (499) 236-02-36, e-mail: a_bigaeva@vnimi.org
<https://orcid.org/0000-0001-8400-2465>

Ramil R. Vafin

Dr.Sci.(Bio.), Professor of the RAS, Senior Researcher, All-Russian Dairy Research Institute, 35, Lyusinovskaya Str., Moscow, 115093, Russia, phone: +7 (499) 236-02-36, e-mail: r_vafin@vnimi.org
<https://orcid.org/0000-0003-0914-0053>

Svetlana N. Turovskaya

Senior Researcher, All-Russian Dairy Research Institute, 35, Lyusinovskaya Str., Moscow, 115093, Russia, phone: +7 (499) 236-02-36, e-mail: s_turovskaya@vnimi.org
<https://orcid.org/0000-0002-5875-9875>

Влияние упаковочных материалов из биоразлагаемой и полипропиленовой пленки на сохранность желейного мармелада

М. А. Пестерев^{1,*}, О. С. Руденко¹, Н. Б. Кондратьев¹,
А. Е. Баженова¹, И. С. Усачев²



¹ Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, 107023, Россия, г. Москва, ул. Электрозаводская, 20

² Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов, 140051, Россия, Московская обл., Красково, ул. Некрасова, 11

Дата поступления в редакцию: 19.08.2020
Дата принятия в печать: 30.09.2020

*e-mail: mb-niikp@mail.ru



© М. А. Пестерев, О. С. Руденко, Н. Б. Кондратьев, А. Е. Баженова, И. С. Усачев, 2020

Аннотация.

Введение. Одной из основных экологических мировых проблем является нерациональное обращение с отходами, в том числе использование плохо разлагаемой полимерной упаковки. Одним из вариантов решений по утилизации полимерных отходов от упаковок пищевых продуктов является создание биоразлагаемых материалов на основе композиции нативных и модифицированных крахмалов, не наносящих при разложении вред окружающей среде и здоровью человека.

Объекты и методы исследования. В работе исследовали сохранность кондитерских изделий студнеобразной консистенции, упакованных в биоразлагаемую и полипропиленовую пленку. Изучены процессы влагопереноса и динамика роста микробиоты в желейном мармеладе, глазированном кондитерской глазурью. Мармелад был упакован в пленку на основе ориентированного полипропилена с толщиной 40 мкм, а также в биоразлагаемую пленку толщиной 50 мкм. В процессе хранения в глазированном желейном мармеладе определяли массовую долю влаги, активность воды, жирнокислотный состав жировой фракции глазури, активную кислотность, микробиологические показатели, а также оценивали активность липазы образца.

Результаты и их обсуждение. Активность воды в процессе хранения практически не изменилась. Удельная скорость влагопереноса для образцов, упакованных в полипропиленовую пленку, была больше в 1,4 раза, чем у образцов мармелада, упакованных в биоразлагаемую пленку, и составила для упаковки из полипропиленовой пленки $1,16 \times 10^{-6}$ г/м²·с, а из биоразлагаемой упаковки – $0,83 \times 10^{-6}$ г/м²·с. Динамика роста КМАФАнМ, плесеней и дрожжей не различалась у образцов мармелада, упакованных в полипропиленовую и в биоразлагаемую пленку, и после 12 недель хранения не превышала регламентируемых показателей микробиологической безопасности. Увеличение активности липазы при хранении образцов глазированного мармелада, упакованного в различные полимерные пленки, не наблюдалось. Замена полипропиленовой пленки на биоразлагаемую не оказывает существенного влияния на показатели безопасности кондитерских изделий.

Выводы. Результаты исследований подтверждают возможность использования биоразлагаемой пленки для упаковки кондитерских изделий.

Ключевые слова. Мармелад, хранение, упаковка, массовая доля влаги, активность воды, липаза, микробиологические показатели

Финансирование. Работа выполнена на базе Всероссийского научно-исследовательского института кондитерской промышленности – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (ВНИИКП).

Для цитирования: Влияние упаковочных материалов из биоразлагаемой и полипропиленовой пленки на сохранность желейного мармелада / М. А. Пестерев, О. С. Руденко, Н. Б. Кондратьев [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 536–548. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-536-548>.

Original article

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

Effect of Biodegradable and Polypropylene Film Packaging on the Safety Profile of Jelly Marmalade

Mikhail A. Pesterev^{1,*}, Oxana S. Rudenko¹, Nikolay B. Kondrat'ev¹,
Alla E. Bazhenova¹, Ivan S. Usachev²

¹ All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry,
20, Electrozavodskaya Str., Moscow, 107023, Russia

² All-Russian Research Institute of Starch Products,
11, Nekrasova Str., Kraskovo, Moscow region, 140051, Russia

Received: August 19, 2020

Accepted: September 30, 2020

*e-mail: mb-niikp@mail.ru



© M.A. Pesterev, O.S. Rudenko, N.B. Kondrat'ev, A.E. Bazhenova, I.S. Usachev, 2020

Abstract.

Introduction. Waste management and poorly degradable polymer packaging are one of the main environmental issues. Biodegradable materials based on a composition of native and modified starches can solve the problem of polymer waste in food packaging. They are environmentally friendly and harmless during decomposition. However, the barrier properties of biodegradable films still remain understudied.

Study objects and methods. The research featured the safety profile of gelatinous confectionery products during storage in biodegradable and polypropylene films. It focused on moisture transfer and microbiota growth in glazed jelly marmalade. The first sample was wrapped in oriented polypropylene film (40 microns), while the other sample was packaged in a biodegradable film (50 microns). A set of experiments was conducted to measure the mass fraction of moisture, water activity, fatty acid composition of the fat fraction of the glaze, active acidity, microbiological parameters, and lipase activity during storage.

Results and discussion. The activity of water during storage remained the same. The specific rate of moisture transfer for the polypropylene film sample was approximately 1.4 times higher than for the biodegradable sample. It equaled 1.16×10^{-6} g/m²·s for the polypropylene film sample and 0.83×10^{-6} g/m²·s for the biodegradable sample. The dynamics of growth of QMAFAnM, mold, and yeast was the same in both samples; it did not exceed the regulated indicators of microbiological safety after 12 weeks of storage. The lipase activity of the glazed marmalade samples packed in the polymer film did not increase during storage. Replacing the polypropylene film with a biodegradable film did not significantly affect the safety profile of confectionery products.

Conclusion. Research results confirmed the possibility of using a biodegradable film for packaging confectionery products.

Keywords. Marmalade, storage, packaging, moisture content, water activity, lipase, microbiological indicators

Funding. The research was performed on the premises of the All-Russian Research Institute of Confectionery Industry, Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food System of Russian Academy of Sciences (VNIKIP).

For citation: Pesterev MA, Rudenko OS, Kondrat'ev NB, Bazhenova AE, Usachev IS. Effect of Biodegradable and Polypropylene Film Packaging on the Safety Profile of Jelly Marmalade. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):536–548. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-536-548>.

Введение

При увеличении объема производства упаковочных материалов из плохо разлагающихся полимерных материалов становятся актуальными вопросы разрушения полимерных отходов и защиты экологической чистоты окружающей природы при обеспечении комплексного и рационального природопользования. Одной из основных экологических мировых проблем является обращение с отходами, в том числе использование полимерной упаковки. В 2018 г. Европейским парламентом на основе ранних постановлений была разработана стратегия, цель которой к 2030 г. полностью перейти на производство полимерной упаковки пригодной для повторного использования или упаковки, свойства которой позволяют обеспечить быстрое разложение составляющих материалов [1–5]. Поэтому в настоящее время активно проводятся исследования по разработке технологии производства биоразлагаемых полимерных биогибридных композиций и изделий на их основе.

Крупные производители продуктов питания, такие как Nestle S.A., The Coca-Cola Company, Danone и др., инвестируют значительные средства

в развитие исследований новых видов материалов и проводят программы по замене пластиковой и других видов упаковок своих продуктов на упаковку, которая пригодна для переработки или повторного использования [6–9].

Важным фактором использования биоразлагаемой упаковки является ее утилизация. Одним из вариантов решений по утилизации полимерных отходов от упаковок пищевых продуктов является разработка новых биоразлагаемых материалов. Воздействие продуктов разложения таких материалов оказывает минимальный вред природной среде и здоровью человека [10–14].

Биоразлагаемые полимеры содержат высокомолекулярные соединения, в том числе продукты жизнедеятельности организмов, такие как белок, целлюлоза, крахмал и др. Они могут разрушать экологические системы окружающей среды. В природной среде такие полимеры претерпевают значительные изменения. Например, они гидролизуются под действием воды или окисляются кислородом воздуха. При этом изменяются их физические характеристики. Также такие полимеры могут служить субстратом для роста определенных видов микроорганизмов.

Наибольший интерес среди множества полимеров природного происхождения вызывает крахмал, который накапливается в разных частях многих видов растений, в том числе в клубнях, семенах, стеблях и листьях. Крахмал характеризуется практически полной биоразлагаемостью и воспроизводимостью в растениях. Поэтому он был использован в качестве основного сырья при обосновании основы для изготовления биоразлагаемых материалов [15–23]. Крахмал различается по происхождению. Для его производства используют картофель, рис, пшеницу или кукурузу.

Много усилий ученых тратится на разработку биоразлагаемых полимеров с целью сохранения нефтехимических ресурсов и уменьшения ущерба окружающей среды. При хранении таких материалов в природных условиях протекают гидролитические процессы и разрушение биоразлагаемых полимеров под действием света и ультрафиолетового воздействия в естественном круговороте веществ окружающей природы.

Главной особенностью биоразлагаемых полимеров на основе термопластичного крахмала является их способность к быстрому разрушению в природной среде, в отличие от плохо разлагаемых полимерных материалов, полученных при переработке нефтехимического сырья [24–27]. Используя различные свойства крахмала и синтетических полимеров, возможно изготовление композитов для использования в биомедицине экологии [15]:

- крахмал с синтетическими полимерами, такими как полиэтилен, полипропилен и др.;
- композиция крахмала и природных полимеров;
- термопластичный крахмал, получаемый путем экструзии, и изделия на его основе.

Считается, что одним из главных компонентов для производств относительно недорогих биоразлагаемых материалов является именно термопластичный крахмал [26, 29]. Обязательным условием его изготовления является использование пластификаторов, формирующих Н-связи. Это обеспечивает максимальные прочность, относительное удлинение при разрыве и деструкцию под воздействием микробиологии почвы. Крахмал не является истинным термопластом. Однако при высокой температуре в присутствии пластификаторов крахмал плавится и разжижается. Такие свойства обуславливают возможность его использования для изготовления синтетических пластмасс.

Во ВНИИ крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН предложено создание биоразлагаемой пленки на основе композиции нативных и модифицированных крахмалов. Также учеными разрабатываются технологии ТПК, дается оценка физико-механических свойств крахмала, разрабатываются оптимальные

составы пленочных композиций с помощью математических моделей на основе полиэтилена (ПЭ) низкой плотности. Полимерная структура крахмала упаковочных материалов разрушается под действием ферментов микроорганизмов почв и других факторов [30].

Для оценки практического применения биоразлагаемой пленки для производства упаковочных материалов необходимы исследования возможности их использования для упаковки различных групп пищевых продуктов, в том числе кондитерских изделий. Установлено влияние толщины полипропиленовой упаковки на изменение массовой доли влаги в кондитерских изделиях с промежуточной влажностью на примере сырцовых пряников. Это подтверждает необходимость изучения барьерных свойств различных пленок, используемых для упаковки [33]. Показаны риски использования жиров лауринового типа при изготовлении кондитерских изделий, упакованных в полипропиленовую пленку с различной толщиной. Рассмотрены факторы, влияющие на скорость влагопереноса, для кондитерских изделий с низкой (менее 10 %) и промежуточной влажностью (от 10 до 20 %). Также рассмотрены вопросы влияния влагоудерживающих добавок и рецептурных компонентов с влагоудерживающими свойствами на сохранность качественных показателей мучных кондитерских изделий в различной упаковке [32–37].

Необходимо отметить, что повышение активности воды изделий приводит к увеличению риска их микробиологической порчи [32]. Особенно это важно для кондитерских изделий, изготовленных с использованием жиров лауринового типа. При протекании гидролитических процессов, катализируемых ферментами группы липаз, из таких жиров образуются в свободном виде лауриновая и миристиновая жирные кислоты, которые отвечают за появление неприятного «мыльного» привкуса даже при их очень низком содержании (0,1 % в пересчете на жировую фракцию изделия) [38, 39].

Для кондитерских изделий, при производстве которых использованы два или несколько полуфабрикатов, необходимо прогнозировать направление и скорость процессов влагопереноса между отдельными частями изделий. В кондитерских изделиях, состоящих из двух и более полуфабрикатов, на границе между отдельными частями изделия возможно увеличение активности воды до 0,75–0,85, т. е. создание благоприятных условий для развития многих микроорганизмов [34].

Увеличение толщины упаковочной пленки прогнозирует уменьшение скорости влагопереноса между кондитерскими изделиями и окружающей атмосферой. Барьерные свойства биоразлагаемых пленок, которые непосредственно оказывают влияние на сохранность различных наименований

кондитерских изделий, еще недостаточно изучены. Поэтому цель данной работы заключалась в исследовании сохранности кондитерских изделий студнеобразной консистенции на примере желейного мармелада, глазированного кондитерской глазурью и упакованного в биоразлагаемую и полипропиленовую пленки.

Использование биологически разрушаемых материалов для получения полимерных пленок, отвечающих требованиям качества и разложения под действием окружающей среды и микроорганизмов, требует соблюдения не только критериев прочности, но и безопасности.

Ежегодно в России производится до 200 млн. тонн бытовых отходов. При этом значительную часть отходов (более 50 %) составляют полимерные материалы, использованные на пищевых предприятиях для упаковки и транспортировки продукции. Только 3 % этого объема направляется на переработку, остальное вывозится на свалки. Разнообразие полимерных материалов и отходов требуют поиска наиболее оптимальной технологии для их вторичной обработки.

Таким образом, разработка экологически безопасной упаковки сегодня является актуальной задачей пищевой промышленности, что подтверждено требованиями Технического Регламента Таможенного союза ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки».

Объекты и методы исследования

Объектом исследований стал глазированный желейный мармелад, изготовленный в лаборатории ВНИИ кондитерской промышленности – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН по классической технологии. Рецепт желейного мармелада включал 610,0 кг сахара белого, 150 кг патоки, 18 кг яблочного пектина, 1,0 кг цитрата натрия и 1,3 кг лимонной кислоты на 1 т готовой продукции (по натуре). В качестве студнеобразователя использован яблочный пектин со степенью этерификации 65 %, обладающий высокой студнеобразующей способностью.



(a)

(b)

Рисунок 1. Внешний вид упакованных образцов глазированного желейного мармелада:

а – полипропиленовая пленка; б – в биоразлагаемая пленка

Figure 1. Appearance of packaged samples of glazed jelly marmalade: a – polypropylene film; b – biodegradable film

Затем желейный мармелад глазировали. Кондитерскую глазурь изготавливали в лабораторной шариковой мельнице. Рецепт кондитерской глазури включал 499 кг сахарной пудры, 163 кг какао порошка, 395 кг заменитель масла какао лауринового типа, 4,19 кг лецитина, 1 кг ванилина. В жирнокислотном составе заменителя масла какао жира лауринового типа содержалось 47,1 % лауриновой и 17,8 % миристиновой кислоты.

Образцы мармелада после выстойки были упакованы с использованием двух видов полимерной пленки: полипропиленовая пленка с толщиной 40 мкм и биоразлагаемая пленка на основе крахмала с толщиной 50 мкм. Использована биоразлагаемая пленка, включающая 30 % термопластичного крахмала, нативный кукурузный крахмал высшего сорта и полиэтилен линейный низкой плотности (рис. 1).

Изготовленные изделия соответствовали требованиям ГОСТ 6442-2014 «Мармелад. Общие технические условия (Переиздание)» к желейному мармеладу по органолептическим и физико-химическим показателям. Массовая доля влаги мармелада составила 22,0 %.

Образцы глазированного желейного мармелада хранили при температуре 20 °С и относительной влажности окружающего воздуха 40 % в климатической камере «Climacell 404» (Чехия). Указанные условия хранения соответствуют требованиям ГОСТ 6442-2014 и в наибольшей степени приближены к фактическим условиям хранения.

Массовую долю влаги определяли в соответствии с ГОСТ 5900-2014 «Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ (Переиздание)».

Активность воды определяли на приборе AquaLab (Decagon Devices, США) по ГОСТ ISO 21807-2015 «Микробиология пищевой продукции и кормов. Определение активности воды».

Жирнокислотный состав жировой фракции глазури определяли на газовом хроматографе HP 4890D (США) в соответствии с ГОСТ Р 51483-99 «Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров индивидуальных жирных кислот к их сумме».

Активную кислотность определяли по ГОСТ 5898-87 «Изделия кондитерские. Методы определения кислотности и щелочности (с Изменением N 1)» с использованием рН-метра-иономера И-500 (Россия).

Активность липазы оценивали по десятибалльной системе по изменению окраски специально обработанной бумажной основы по методу ВНИИ кондитерской промышленности, основанному на окислении индоксилацетата (Sigma Aldrich) в термостате при температуре 37 °С (MIR-262, Sanyo, Япония).

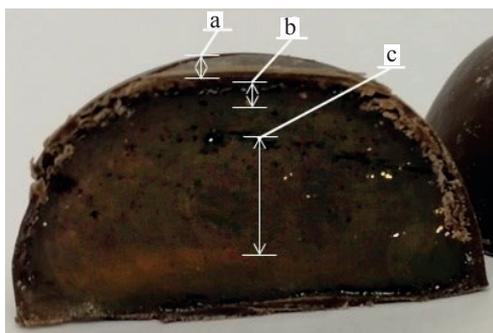


Рисунок 2. Желейный глазированный мармелад: a – глазурь; b – слой под глазурью; c – мармелад

Figure 2. Glazed jelly marmalade: a – glaze; b – the layer under the glaze; c – marmalade

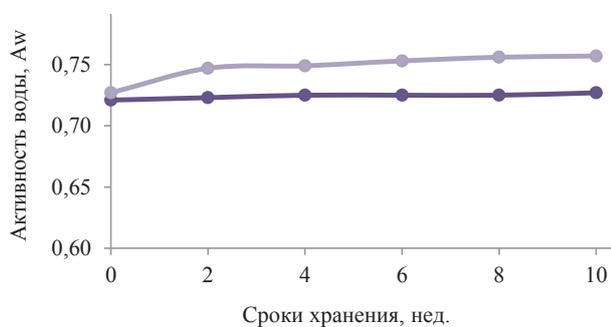
При проведении исследований использовали индоксилацетат (Sigma Aldrich). Отсутствие активности липазы оценивали как 0–1 балл. Наибольшая активность соответствовала 8–10 баллам.

Микробиологические показатели КМАФАнМ (количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов) определяли в соответствии с ГОСТ 10444.15-94, количество плесеней устанавливали по ГОСТ 10444.12-2013, количество спорообразующих мезофильных анаэробных бактерий определяли по п. 6.4 и 6.5 ГОСТ 32012-2012 «Молоко и молочная продукция. Методы определения содержания спор мезофильных анаэробных микроорганизмов (Издание с Поправкой)».

Математическую обработку результатов и построение графиков проводили в программе MS Excel 2010.

Результаты и их обсуждение

Для оценки влияния видов полимерной пленки на скорость процессов влагопереноса проведены



(a)

исследования массовой доли влаги и активности воды образцов желейного мармелада.

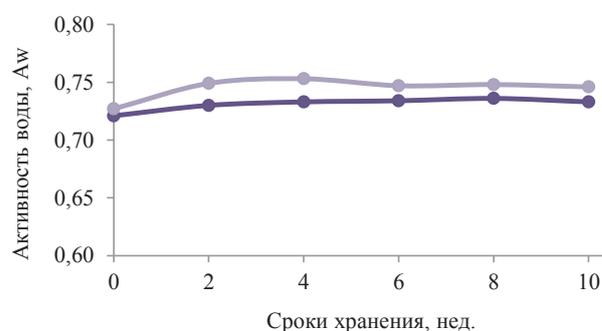
Массовая доля влаги в глазури составила 1,1 %. Градиент активности воды между окружающей средой и поверхностью изделий обуславливает направление процессов влагопереноса. Скорость таких процессов характеризуется потерей влаги при хранении желейного мармелада при заданных условиях хранения. Поэтому исследовали активность липазы, а также микробиологические показатели в отдельных частях желейного мармелада: глазури, слой под глазурью и мармелад (рис. 2).

При исследовании активности воды в образцах мармелада не выявили существенных различий для желейного мармелада, упакованного в полипропиленовую и биоразлагаемую пленки (рис. 3).

Активность воды образцов практически не изменилась и оставалась на уровне 0,70–0,75 в течение 10 недель, что прогнозирует одинаковую скорость влагопереноса из изделия в окружающую среду в течение всего периода хранения.

При увеличении активности воды в кондитерских изделиях могут формироваться благоприятные условия для размножения микроорганизмов с высокой липолитической активностью. Особенно сильно этот эффект проявляется на внутренней стороне глазури, препятствующей диффузии влаги из массы мармелада в окружающую воздушную среду. Поэтому на граничном межфазном слое между глазурью и мармеладной массой активность липазы проявляется в наибольшей степени.

Стабильность активности воды упакованного мармелада в процессе хранения связана с тем, что скорость влагопереноса от глазированной поверхности мармелада в окружающую среду (внутри упаковки) выше, чем скорость миграции влаги через полипропиленовую и биоразлагаемую пленки. Это было подтверждено результатами исследований этого показателя. Упаковочные пленки



(b)

Рисунок 3. Изменение активности воды в частях глазированного мармелада, упакованного в: a – полипропиленовую пленку; b – биоразлагаемую пленку

Figure 3. Water activity in various parts of glazed marmalade packaged in: a – polypropylene film; b – biodegradable film

Таблица 1. Удельная скорость влагопереноса мармелада в различной упаковке

Table 1. Specific rate of moisture transfer of marmalade in different packaging

Изделие, толщина пленки	Удельная скорость влагопереноса, $\times 10^{-6}$, г/м ² ·с
Мармелад в полипропиленовой пленке, 40 мкм	1,16
Мармелад в биоразлагаемой пленке, 50 мкм	0,83

не позволяют молекулам воды диффундировать в окружающую воздушную среду.

Установлено, что массовая доля влаги за 10 недель хранения желейного мармелада уменьшилась на 0,26–0,30 % в образцах, упакованных в полипропиленовую пленку, и на 0,22–0,28 % в образцах, упакованных в биоразлагаемую пленку.

С учетом размера упаковки рассчитали удельную скорость влагопереноса F между поверхностью упаковки и окружающей средой по формуле (1) (табл. 1).

$$F = \frac{q}{A \times t} \quad (1)$$

где q – количество продиффундировавшей влаги, г;

A – единица поверхности, м²;

t – длительность исследований, с.

Таким образом, удельная скорость влагопереноса для образцов, упакованных в полипропиленовую пленку, больше в 1,4 раза, чем у образцов глазированного желейного мармелада, упакованных в биоразлагаемую пленку. Полученные результаты свидетельствуют о низкой влагонепроницаемости использованной биоразлагаемой пленки на основе термопластичного крахмала и подтверждают возможность использования такой пленки для упаковки и повышения сохранности мармелада.

Коэффициент молекулярной диффузии D служит для прогнозирования скорости влагопереноса и влияет на срок годности кондитерских изделий студнеобразной консистенции. Коэффициент молекулярной диффузии определяется по формуле:

$$D \approx \frac{\Delta Q \times l}{A \times \Delta t \times (c_2 - c_1)} \quad (2)$$

где ΔQ – количество продиффундировавшей влаги, г;

l – толщина пленки, м;

A – площадь поверхности, м²;

Δt – длительность процесса влагопереноса, с;

c_2 – содержание влаги в паровой фазе окружающего воздуха, г/м³;

c_1 – содержание влаги в паровой фазе в упаковке изделия, г/м³.

Коэффициент молекулярной диффузии, рассчитанный для мармелада, упакованного в биоразла-

Таблица 2. Коэффициент молекулярной диффузии мармелада в различной упаковке

Table 2. Coefficient of molecular diffusion of marmalade in different packaging

Изделие, толщина пленки	Коэффициент молекулярной диффузии (D), $\times 10^{-12}$, м ² /с
Мармелад в полипропиленовой пленке, 40 мкм	7,48
Мармелад в биоразлагаемой пленке, 50 мкм	6,87

гаемую пленку, меньше в 1,1 раза, чем у изделий, упакованных в полипропиленовую пленку, (табл. 2).

Коэффициенты молекулярной диффузии для различных видов упаковки подтверждают ранее полученные при хранении данные по скорости влагопереноса между поверхностью образцов глазированного желейного мармелада и окружающим воздухом.

Таким образом, использование биоразлагаемой пленки на основе термопластичного крахмала позволяет уменьшить скорость влагопереноса и прогнозировать увеличение срока годности такого мармелада, обусловленное уменьшением скорости процессов черствения.

Поскольку модельные образцы желейного мармелада были глазированы кондитерской глазурью, приготовленной на основе жира лауринового типа с высоким риском ухудшения органолептических показателей изделий при хранении, то были проведены исследования активности липазы и микробиологические показатели желейного мармелада при хранении.

Жировая глазурь является барьером при миграции влаги из массы мармелада. Поэтому на границе жировой фазы глазури и водной фазы желейного мармелада возможно создание условий, благоприятных для роста отдельных групп микроорганизмов, в частности плесеней, вырабатывающих липолитические ферменты. Присутствие свободной влаги влияет на активность липазы. Поскольку липаза растворяется в воде, то ее активность может значительно увеличиться.

Значительное количество свободной влаги также обуславливает рост микробиоты в кондитерских изделиях. Поэтому исследовали активность липазы и микробиологические показатели в отдельных частях желейного мармелада (рис. 4–6).

Активность липазы при хранении изделий в различных пленках изменялась незначительно: в диапазоне от 0 до 1 балла. При аналитическом определении эти данные характеризуются как практическое отсутствие активности липазы. Это было подтверждено результатами органолептических исследований.

Низкая активность липазы обусловлена низкой кислотностью (рН) образцов желейного мармелада,

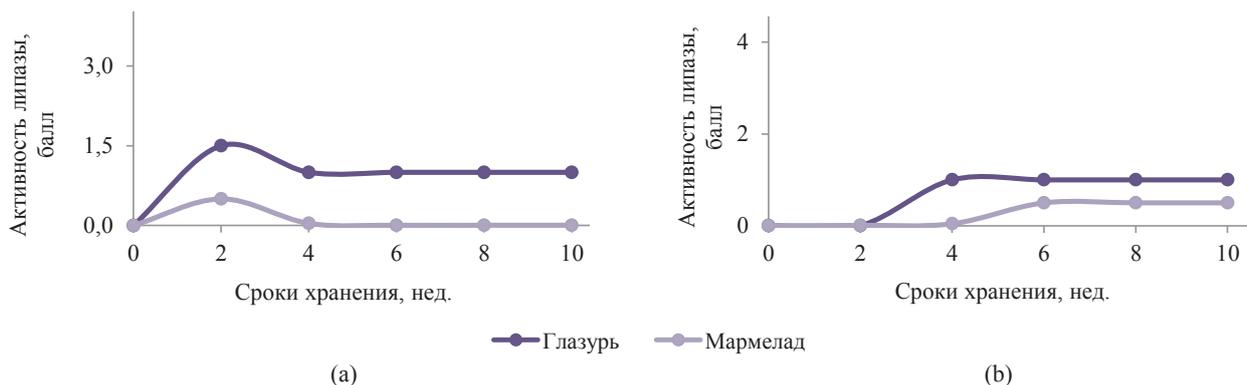


Рисунок 4. Активность липазы в частях глазированного мармелада в различной упаковке: а – полипропиленовая пленка; б – биоразлагаемая пленка

Figure 4. Lipase activity in various parts of glazed marmalade wrapped in: a – polypropylene film; b – biodegradable film

которая составила 3,16. Липазы микробного происхождения проявляют активность при более высоких значениях pH. Таким образом, лимонная кислота, использованная при изготовлении образцов жележного мармелада, ингибирует активность липазы в процессе их хранения.

Исследования показателей микробиологической безопасности отдельных частей изделий в процессе хранения модельных образцов жележного мармелада показали, что после 10 недель хранения образцов жележного мармелада, упакованных в полипропиленовую пленку, количество КМАФАнМ в слое под глазурью сохраняется на уровне $2,0 \times 10$ КОЕ/г. При этом в слое под глазурью мармелада, упакованного в биоразлагаемую пленку, количество КМАФАнМ уменьшилось до нулевого уровня (рис. 5, 6).

Полученные результаты можно объяснить различными барьерными свойствами использованных упаковочных материалов.

Необходимо отметить, что Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» регламентирует

допустимое количество КМАФАнМ в мармеладе не более 5×10^3 КОЕ/г, плесеней – не более 100 КОЕ/г, дрожжей – не более 50 КОЕ/г. Таким образом, для всех образцов жележного мармелада по окончании 12 недель хранения содержание КМАФАнМ полностью удовлетворяло требованиям по безопасности, регламентированным в ТР ТС 021/2011.

В исходных образцах мармелада дрожжи отсутствовали, в процессе хранения мармелада их содержание не увеличилось. Необходимо отметить, что количество плесеней и дрожжей в образцах жележного мармелада, глазированных кондитерской глазурью и упакованных в полипропиленовую и в биоразлагаемую пленки, не превышали показатели микробиологической безопасности по требованиям ТР ТС 021/2011.

Таким образом, проведено комплексное исследование влияние вида упаковки на процессы миграции влаги, изменение активности липазы и микробиологические показатели. Показано, что новый вид биоразлагаемой упаковки на основе термопластичного крахмала обладает схожими барьерными свойствами в сравнении с классической

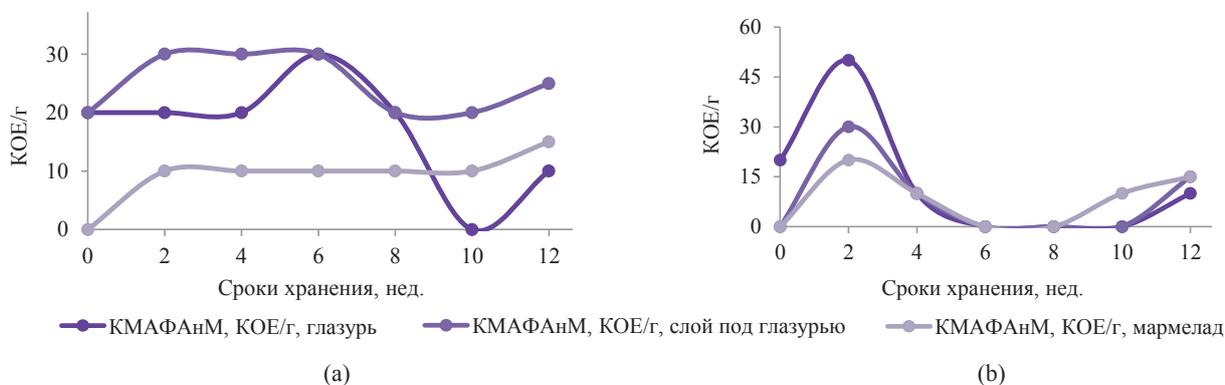


Рисунок 5. Количество КМАФАнМ в образцах жележного мармелада в различной упаковке: а – полипропиленовая пленка толщиной 40 мкм; б – биоразлагаемая пленка толщиной 50 мкм

Figure 5. QMAFAnM in jelly marmalade wrapped in: a – polypropylene film (40 microns); b – biodegradable film (50 microns)

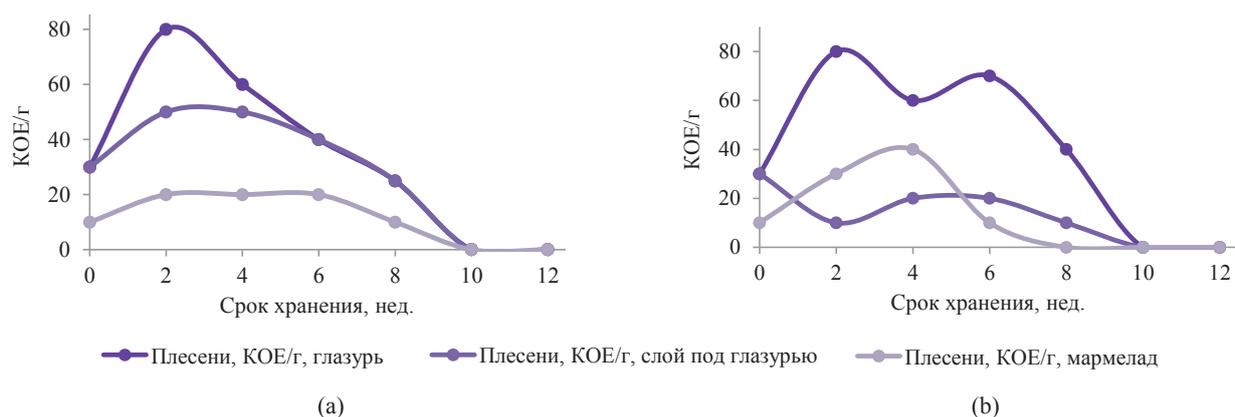


Рисунок 6. Количество плесеней в образцах желейного мармелада в различной упаковке: а – полипропиленовая пленка толщиной 40 мкм; б – биоразлагаемая пленка толщиной 50 мкм

Figure 6. Mold in jelly marmalade wrapped in: a – polypropylene film (40 microns); b – biodegradable film (50 microns)

полипропиленовой упаковкой. При этом гарантируется сохранность качества упакованных изделий на примере глазированного кондитерской глазурью желейного мармелада.

Выводы

Результаты сравнительных испытаний барьерных свойств упаковки из полипропиленовой и биоразлагаемой пленки не выявили существенных различий активности воды при хранении образцов глазированного желейного мармелада.

Установлено, что массовая доля влаги за 10 недель хранения уменьшилась на 0,26–0,30 % в образцах мармелада, упакованных в полипропиленовую пленку, и на 0,22–0,28 % в образцах, упакованных в биоразлагаемую пленку. Удельная скорость влагопереноса для образцов, упакованных в полипропиленовую пленку, была больше в 1,4 раза, чем у образцов мармелада, упакованного в биоразлагаемую пленку.

Коэффициент молекулярной диффузии для упаковки из полипропиленовой пленки составил $7,48 \times 10^{-12}$ м²/с, из биоразлагаемой меньше – $6,87 \times 10^{-12}$ м²/с. Это позволяет прогнозировать стабильность массовой доли влаги, активности воды и микробиологических показателей мармелада при хранении в биоразлагаемой упаковке. Увеличение активности липазы при хранении образцов глазированного мармелада, упакованных в различные полимерные пленки, не наблюдалось.

Исследования сохранности желейного мармелада, глазированного кондитерской глазурью и упакованного в два вида пленок, показали, что замена полипропиленовой пленки на биоразлагаемую не оказывает существенного влияния на показатели безопасности кондитерских изделий. Количество плесени и дрожжей в образцах желейного мармелада, глазированных кондитерской глазурью и упакованных в полипропиленовую и в биоразлагаемую пленки, не превышали показатели

микробиологической безопасности по требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

Можно предположить, что практическое применение биоразлагаемой пленки для производства упаковочных материалов представляет реальную возможность экономии ресурсов и минимизирование ущерба для окружающей среды. Изменение химической структуры полиэтиленовой пленки в результате введения в состав пленки 30 % термопластичного крахмала оказывает воздействие на фрагментацию упаковочной пленки в почве. Поэтому использование биоразлагаемой пленки для упаковки различных видов кондитерских изделий требует дальнейших исследований.

Критерии авторства

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Авторы выражают благодарность коллегам: Д. А. Соломину, М. В. Осипову и Е. В. Казанцеву за консультации и помощь в выполнении исследований, обработке и оформлении полученных результатов.

Contribution

All authors were equally involved in the research and bear equal responsibility for any possible cases of plagiarism.

Conflicts of interest

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

Acknowledgments

The authors would like to express their sincere gratitude to their colleagues D.A. Solomin,

M.V. Osipov, and E.V. Kazantsev for their assistance in the experimental work, data processing, and presentation of the results.

Список литературы

1. European Parliament and Council Directive 94/62/EC of 20 December 1994 on packaging and packaging waste [Internet]. – Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31994L0062>. – Date of application: 11.06.2020.
2. Taking sustainable use of resources forward: A Thematic Strategy on the prevention and recycling of waste [Internet]. – Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52005DC0666>. – Date of application: 11.06.2020.
3. Closing the loop – An EU action plan for the circular economy [Internet]. – Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>. – Date of application: 11.06.2020.
4. Directive (EU) 2018/852 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste [Internet]. – Available from: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_2018.150.01.0141.01.ENG&toc=OJ:L:2018:150:TOC. – Date of application: 11.06.2020.
5. A European strategy for plastics in a circular economy [Internet]. – Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1516265440535&uri=COM:2018:28:FIN>. – Date of application: 11.06.2020.
6. Nestlé активизирует усилия по переработке пластиковых отходов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nestle.ru/media/newscomp/plastic>. – Дата обращения: 11.06.2020.
7. Coca-Cola sings ocean plastics charted at G7 meeting [Internet]. – Available from: <https://www.coca-colacompany.com/news/coca-cola-signs-ocean-plastics-charter>. – Date of application: 11.06.2020.
8. Danone aims to make 100% of packaging recyclable by 2025 [Internet]. – Available from: <https://www.foodbev.com/news/danone-aims-to-make-100-of-packaging-recyclable-by-2025>. – Date of application: 11.06.2020.
9. Billions of expenses await the Polish packaging industry [Internet]. – Available from: http://www.foodfrompoland.pl/article/art_id,28395-61/billions-of-expenses-await-the-polish-packaging-industry/place,1/. – Date of application: 11.06.2020.
10. Отходы пищевой промышленности АПК – перспективное сырье для биоразлагаемых упаковочных композиций / В. В. Колпакова, Г. Н. Панкратов, А. А. Чевокин [и др.] // Пищевая промышленность. – 2008. – № 6. – С. 16–19.
11. Физико-химические свойства полимерных композиций с использованием крахмала / С. В. Краус, Н. Д. Лукин, Т. В. Иванова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2011. – № 1. – С. 8–11.
12. Лукин, Н. Д. Технология получения термопластичных крахмалов / Н. Д. Лукин, И. С. Усачев // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2015. – Т. 66, № 4. – С. 156–159.
13. Пат. 2645677С1 Российская Федерация, С08L23/06, С08L3/02, С08K5/053. Биологически разрушаемая термопластичная композиция / Лукин Н. Д., Ананьев В. В., Колпакова В. В. [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН – № 2016151141; заявл. 26.12.2016; опубл. 27.02.2018; Бюл. № 6. – 6 с.
14. Degradation and recycling of films based on biodegradable polymers: A short review / R. Scaffaro, A. Maio, F. Sutura [et al.] // *Polymers*. – 2019. – Vol. 11, № 4. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym11040651>.
15. Razavi, S. M. A. Structural and physicochemical characteristics of a novel water-soluble gum from *Lallemantia royleana* seed / S. M. A. Razavi, S. W. Cui, H. Ding // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2016. – Vol. 83. – P. 142–151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.076>.
16. Almasi, B. Physicochemical properties of starch-CMC-nanoclay biodegradable films / H. Almasi, B. Ghanbarzadeh, A. A. Entezami // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2010. – Vol. 46, № 1. – P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2009.10.001>.
17. Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops / F. Torres, O. P. Troncoso, C. Torres [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2011. – Vol. 48, № 4. – P. 603–606. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.01.026>.
18. Суворова, А. И. Биоразлагаемые полимерные материалы на основе крахмала / А. И. Суворова, И. С. Тюкова, Е. И. Труфанова // *Успехи химии*. – 2000. – Т. 69, № 5. – С. 494–504. DOI: <https://doi.org/10.1070/RC2000v069n05ABEH000505>.
19. Development and characterization of sugar palm starch and poly(lactic acid) bilayer films / M. L. Sanyang, S. M. Sapuan, M. Jawaid [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. – 2016. – Vol. 146. – P. 36–45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.051>.
20. Development and characterization of cassava starch films incorporated with blueberry pomace / C. L. Luchese, T. Garrido, J. C. Spada [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2018. – Vol. 106. – P. 834–839. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.083>.
21. Green development of biodegradable films based on native yam (*Dioscoreaceae*) starch mixtures / P. S. Hornung, S. Ávila, K. Masisi [et al.] // *Starch-Stärke*. – 2018. – Vol. 70, № 5–6. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.201700234>.

22. Study of the behavior of biodegradable starch/polyvinyl alcohol/rosin blends / D. Domene-López, M. M. Guillén, I. Martin-Gullon [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. – 2018. – Vol. 202. – P. 299–305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.137>.
23. Nogueira, G. F. Extraction and characterization of arrowroot (*Maranta arundinaceae* L.) starch and its application in edible films / G. F. Nogueira, F. M. Fakhouri, R. A. de Oliveira // *Carbohydrate Polymers*. – 2018. – Vol. 186. – P. 64–72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.024>.
24. Soluble soybean polysaccharide: A new carbohydrate to make a biodegradable film for sustainable green packaging / S. Tajik, Y. Maghsoudlou, F. Khodaiyan [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. – 2013. – Vol. 97, № 2. – P. 817–824. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.05.037>.
25. The study of rheological behavior and safety metrics of natural biopolymers / L. K. Asyakina, V. F. Dolganyuk, D. D. Belova [et al.] // *Foods and Raw Materials*. – 2016. – Vol. 4, № 1. – P. 70–78. DOI: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-70-78>.
26. How performance and fate of biodegradable mulch films are impacted by field ageing / F. Touchaleaume, H. Angellier-Coussy, G. César [et al.] // *Journal of Polymers and the Environment*. – 2018. – Vol. 26, № 6. – P. 2588–2600. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-017-1154-7>.
27. Muller, J. Combination of poly(lactic) acid and starch for biodegradable food packaging / J. Muller, C. Gonzalez-Martinez, A. Chiralt // *Materials*. – 2017. – Vol. 10, № 8. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma10080952>.
28. Wang, X.-L. Properties of starch blends with biodegradable polymers / X.-L. Wang, K.-K. Yang, Y.-Z. Wang // *Journal of Macromolecular Science. Polymer Reviews*. – 2003. – Vol. 43, № 3. – P. 385–409. DOI: <https://doi.org/10.1081/MC-120023911>.
29. Influence of starch composition and molecular weight on physicochemical properties of biodegradable films / D. Domene-López, J. C. Garcia-Quesada, I. Martin-Gullon [et al.] // *Polymers*. – 2019. – Vol. 11, № 7. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym11071084>.
30. Совершенствование технологии применения термопластичного крахмала для биоразлагаемой полимерной пленки / В. В. Колпакова, И. С. Усачев, А. С. Сарджвеладзе [и др.] // *Пищевая промышленность*. – 2017. – № 8. – С. 34–38.
31. Гатин, И. М. Нетривиальные подходы снижения накопления отходов упаковочных полимерных материалов / И. М. Гатин, О. В. Иванова, Р. М. Халиков // *NovaInfo.Ru*. – 2017. – Т. 62, № 1. – С. 1–6.
32. Взаимосвязь активности липазы и скорости влагопереноса в пряниках, глазированных кондитерской глазурью на основе жиров лауринового типа / О. С. Руденко, Н. Б. Кондратьев, М. А. Пестерев [и др.] // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. – 2019. – Т. 81, № 4 (82). – С. 62–70. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-4-62-70>.
33. Влияние свойств упаковки на изменение влажности сырцовых пряников с фруктовой начинкой / Н. Б. Кондратьев, Е. В. Казанцев, Н. А. Петрова [и др.] // *Пищевая промышленность*. – 2019. – № 7. – С. 16–18. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10096>.
34. Кондратьев, Н. Б. Оценка качества кондитерских изделий. Повышение сохранности кондитерских изделий / Н. Б. Кондратьев. – М. : Перо, 2015. – 250 с.
35. Исследование процесса влагопереноса в сырцовых пряниках с фруктовой начинкой, изготовленных с использованием различных видов модифицированного крахмала / Н. Б. Кондратьев, Е. В. Казанцев, М. В. Осипов [и др.] // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2019. – № 4. – С. 35–46. DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.187>.
36. Galić, K. Packaging and the shelf life of bakery goods – A review / K. Galić, D. Čurić, D. Gabrić // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2009. – Vol. 49, № 5. – P. 405–426. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408390802067878>.
37. Shelf life and safety concerns of bakery products – A review / J. P. Smith, D. P. Daifas, W. El-Khoury [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2004. – Vol. 44, № 1. – P. 19–55. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408690490263774>.
38. Microbial lipases and their industrial applications: A comprehensive review / P. Chandra, Enespa, R. Singh [et al.] // *Microbial Cell Factories*. – 2020. – Vol. 19, № 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01428-8>.
39. Microbial lipases / O.-M. Lai, E.-T. Phuah, Y.-Y. Lee [et al.] // *Food lipids. Chemistry, nutrition, and biotechnology* / C. C. Akoh. – Boca Raton : CRC Press, 2017. – P. 853–898. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315151854>.

References

1. European Parliament and Council Directive 94/62/EC of 20 December 1994 on packaging and packaging waste [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31994L0062>.
2. Taking sustainable use of resources forward: A Thematic Strategy on the prevention and recycling of waste [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52005DC0666>.
3. Closing the loop – An EU action plan for the circular economy [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>.
4. Directive (EU) 2018/852 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_2018.150.01.0141.01.ENG&toc=OJ:L:2018:150:TOC.

5. A European strategy for plastics in a circular economy [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1516265440535&uri=COM:2018:28:FIN>.
6. Nestlé aktiviziruet usiliya po pererabotke plastikovykh otkhodov [Nestlé to step up efforts on plastic waste recycling] [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: <https://www.nestle.ru/media/newscomp/plastic>.
7. Coca-Cola sings ocean plastics charted at G7 meeting [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: <https://www.coca-colacompany.com/news/coca-cola-signs-ocean-plastics-charter>.
8. Danone aims to make 100% of packaging recyclable by 2025 [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: <https://www.foodbev.com/news/danone-aims-to-make-100-of-packaging-recyclable-by-2025>.
9. Billions of expenses await the Polish packaging industry [Internet]. [cited 2020 Jun 11]. Available from: http://www.foodfrompoland.pl/article/art_id,28395-61/billions-of-expenses-await-the-polish-packaging-industry/place,1/.
10. Kolpakova VV, Pankratov GN, Chevokin AA, Gavrilov AM, Skobelskaya ZG, Semenov GV, et al. Waste products of food industry of agrarian and industrial complex- perspective material for biodegradable packaging compositions. *Food Industry*. 2008;(6):16–19. (In Russ.).
11. Kraus SV, Lukin ND, Ivanova TV, Sdobnikova OA. Physical-chemical properties of polymer compositions using starch. *Storage and Processing of Farm Products*. 2011;(1):8–11. (In Russ.).
12. Lukin ND, Usachev IS. Technology of thermoplastic starch production. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2015;66(4):156–159. (In Russ.).
13. Lukin ND, Ananov VV, Kolpakova VV, Usachev IS, Sardzhveladze AS, Sdobnikova OA, et al. Biologically degradable thermoplastic composition. Russia patent RU 2645677C1. 2018.
14. Scaffaro R, Maio A, Sutura F, Gulino EF, Morreale M. Degradation and recycling of films based on biodegradable polymers: A short review. *Polymers*. 2019;11(4). DOI: <https://doi.org/10.3390/polym11040651>.
15. Razavi SMA, Cui SW, Ding H. Structural and physicochemical characteristics of a novel water-soluble gum from *Lallemantia royleana* seed. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2016;83:142–151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.076>.
16. Almasi B, Ghanbarzadeh B, Entezami AA. Physicochemical properties of starch-CMC-nanoclay biodegradable films. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2010;46(1):1–5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2009.10.001>.
17. Torres F, Troncoso OP, Torres C, Diaz DA, Amaya E. Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2011;48(4):603–606. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.01.026>.
18. Suvorova AI, Tyukova IS, Trufanova EI. Biodegradable starch-based polymeric materials. *Russian Chemical Reviews*. 2000;69(5):451–459. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1070/RC2000v069n05ABEH000505>.
19. Sanyang ML, Sapuan SM, Jawaid M, Ishak MR, Sahari J. Development and characterization of sugar palm starch and poly(lactic acid) bilayer films. *Carbohydrate Polymers*. 2016;146:36–45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.051>.
20. Luchese CL, Garrido T, Spada JC, Tessaro IC, de la Caba K. Development and characterization of cassava starch films incorporated with blueberry pomace. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018;106:834–839. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.083>.
21. Hornung PS, Ávila S, Masisi K, Malunga LN, Lazzarotto M, Schnitzler E, et al. Green development of biodegradable films based on native yam (*Dioscoreaceae*) starch mixtures. *Starch-Stärke*. 2018;70(5–6). DOI: <https://doi.org/10.1002/star.201700234>.
22. Domene-López D, Guillén MM, Martín-Gullón I, García-Quesada JC, Montalbán MG. Study of the behavior of biodegradable starch/polyvinyl alcohol/rosin blends. *Carbohydrate Polymers*. 2018;202:299–305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.137>.
23. Nogueira GF, Fakhouri FM, de Oliveira RA. Extraction and characterization of arrowroot (*Maranta arundinaceae* L.) starch and its application in edible films. *Carbohydrate Polymers*. 2018;186:64–72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.024>.
24. Tajik S, Maghsoudlou Y, Khodaiyan F, Jafari SM, Ghasemlou M, Aalami M. Soluble soybean polysaccharide: A new carbohydrate to make a biodegradable film for sustainable green packaging. *Carbohydrate Polymers*. 2013;97(2):817–824. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.05.037>.
25. Asyakina LK, Dolganyuk VF, Belova DD, Peral MM, Dyshlyuk LS. The study of rheological behavior and safety metrics of natural biopolymers. *Foods and Raw Materials*. 2016;4(1):70–78. DOI: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-70-78>.
26. Touchaleaume F, Angellier-Coussy H, César G, Raffard G, Gontard N, Gastaldi E. How performance and fate of biodegradable mulch films are impacted by field ageing. *Journal of Polymers and the Environment*. 2018;26(6):2588–2600. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-017-1154-7>.
27. Muller J, Gonzalez-Martinez C, Chiralt A. Combination of poly(lactic) acid and starch for biodegradable food packaging. *Materials*. 2017;10(8). DOI: <https://doi.org/10.3390/ma10080952>.
28. Wang X-L, Yang K-K, Wang Y-Z. Properties of starch blends with biodegradable polymers. *Journal of Macromolecular Science. Polymer Reviews*. 2003;43(3):385–409. DOI: <https://doi.org/10.1081/MC-120023911>.

29. Domene-López D, Garcia-Quesada JC, Martin-Gullon I, Montalban MG. Influence of starch composition and molecular weight on physicochemical properties of biodegradable films. *Polymers*. 2019;11(7). DOI: <https://doi.org/10.3390/polym11071084>.
30. Kolpakova VV, Usachev IS, Sardzhveladze AS, Solomin DA, Ananiev VV, Vasil'ev IYu. Perfection of technology of application of thermoplastic starch for biodegradable polymeric film. *Food Industry*. 2017;(8):34–38. (In Russ.).
31. Gatin IM, Ivanova OV, Khalikov RM. Netrivial'nye podkhody snizheniya nakopleniya otkhodov upakovochnykh polimernykh materialov [Non-trivial approaches to reducing the accumulation of polymeric packaging waste]. *NovaInfo.Ru*. 2017;62(1):1–6. (In Russ.).
32. Rudenko OS, Kondratiev NB, Pesterev MA, Bazhenova AE, Linovskaya NV. Correlation of lipase activity and moisture transfer rate in gingerbread glazed with confectionery glaze based on lauric type fats. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2019;81(4)(82):62–70. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-4-62-70>.
33. Kondratiev NB, Kazantsev EV, Petrova NA, Osipov MV, Svyatoslavova IM. Influence of packaging properties on changes moisture of raw gingerbreads with fruit filling. *Food Industry*. 2019;(7):16–18. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10096>.
34. Kondrat'ev NB. Otsenka kachestva konditerskikh izdeliy. Povyshenie sokhrannosti konditerskikh izdeliy [Quality assessment of confectionery. Improving the safety of confectionary products]. Moscow: Pero; 2015. 250 p. (In Russ.).
35. Kondratyev NB, Kazancev EV, Osipov MV, Petrova NA, Rudenko OS. Research of the moisture transfer processes in gingerbread with fruit filling produced using various types of modified starch. *Storage and Processing of Farm Products*. 2019;(4):35–46. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.187>.
36. Galić K, Ćurić D, Gabrić D. Packaging and the shelf life of bakery goods – A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2009;49(5):405–426. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408390802067878>.
37. Smith JP, Daifas DP, El-Khoury W, Koukoutsis J, El-Khoury A. Shelf life and safety concerns of bakery products – A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2004;44(1):19–55. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408690490263774>.
38. Chandra P, Enespa, Singh R, Arora PK. Microbial lipases and their industrial applications: A comprehensive review. *Microbial Cell Factories*. 2020;19(1). DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01428-8>.
39. Lai O-M, Phuah E-T, Lee Y-Y, Akoh CC, Weete JD. Microbial lipases. In: Akoh CC, editor. *Food lipids. Chemistry, nutrition, and biotechnology*. Boca Raton: CRC Press; 2017. pp. 853–898. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315151854>.

Сведения об авторах

Пестерев Михаил Алексеевич

младший научный сотрудник отдела современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, 107023, Россия, г. Москва, ул. Электрозаводская, 20, e-mail: mb-niikp@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0980-1862>

Руденко Оксана Сергеевна

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, 107023, Россия, г. Москва, ул. Электрозаводская, 20, e-mail: oxana0910@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2436-4100>

Кондратьев Николай Борисович

д-р техн. наук, главный научный сотрудник отдела современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, 107023, Россия, г. Москва, ул. Электрозаводская, 20, e-mail: vniik@arrisp.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3322-9621>

Баженова Алла Евгеньевна

научный сотрудник отдела современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, 107023, Россия, г. Москва, ул. Электрозаводская, 20, e-mail: bajenova.a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6994-8524>

Information about the authors

Mikhail A. Pesterev

Junior Researcher of the Department of Modern Methods for Assessing the Quality of Confectionery Products, All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry, 20, Electrozavodskaya Str., Moscow, 107023, Russia, e-mail: mb-niikp@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0980-1862>

Oxana S. Rudenko

Cand.Sci.(Eng.), Leading Researcher of the Department of Modern Methods for Assessing the Quality of Confectionery Products, All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry, 20, Electrozavodskaya Str., Moscow, 107023, Russia, e-mail: oxana0910@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2436-4100>

Nikolay B. Kondratev

Dr.Sci.(Eng.), Chief Researcher of the Department of Modern Methods for Assessing the Quality of Confectionery Products, All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry, 20, Electrozavodskaya Str., Moscow, 107023, Russia, e-mail: vniik@arrisp.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3322-9621>

Alla E. Bazhenova

Researcher of the Department of Modern Methods for Assessing the Quality of Confectionery Products, All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry, 20, Electrozavodskaya Str., Moscow, 107023, Russia, e-mail: bajenova.a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6994-8524>

Усачев Иван Сергеевич

заместитель директора по общим вопросам, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопроductов, 140051, Россия, Московская обл., Красково, ул. Некрасова, 11, e-mail: vaneo20012@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8486-1331>

Ivan S. Usachev

Deputy Director for General Affairs, All-Russian Research Institute of Starch Products, 11, Nekrasova Str., Kraskovo, Moscow region, 140051, Russia, e-mail: vaneo20012@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8486-1331>

Применение модифицированного пористого крахмала для создания биоразлагаемых композиционных полимерных материалов

А. А. Папахин¹, В. В. Колпакова^{1,*}, З. М. Бородин¹,
А. С. Сарджвеладзе¹, И. Ю. Васильев²



¹ Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов,
140051, Россия, Московская обл., Красково, ул. Некрасова, 11

² ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»,
107023, Россия, г. Москва, ул. Большая Семеновская, 38

Дата поступления в редакцию: 11.09.2020
Дата принятия в печать: 30.09.2020

*e-mail: val-kolpakova@rambler.ru



© А. А. Папахин, В. В. Колпакова, З. М. Бородин, А. С. Сарджвеладзе, И. Ю. Васильев, 2020

Аннотация.

Введение. Создание композиционных полимерных материалов, содержащих природные соединения, для ускорения процессов биоразлагаемости упаковочных материалов является актуальной задачей. Целью работы стала сравнительная оценка физико-механических характеристик термопластичного крахмала, приготовленного с ферментативно-модифицированным пористым кукурузным крахмалом, очищенным и неочищенным от редуцирующих веществ, для применения в технологии пленочных биоразлагаемых изделий.

Объекты и методы исследования. Пористый крахмал, гибридные композиции с термопластичным пористым крахмалом (ТПК) и пленки на основе полиэтилена низкой плотности (ПЭНП). Использованы методы определения биохимических и структурных особенностей (электронная микроскопия) крахмала и физико-механических свойств композиций и пленок.

Результаты и их обсуждение. У пористого крахмала, по сравнению с нативным, в 1,6 раза повышалась водосвязывающая способность, в 4 раза – растворимость, на 24 % – атакуемость ферментами, в 1,7 раза понижалась динамическая вязкость. Образцы пленок, изготовленные при соотношениях ПЭНП:ТПК 60:40 и 40:60 с пористым крахмалом, имели высокие показатели разрушающего напряжения при растяжении, чем образцы с нативным крахмалом. При соотношении ПЭНП:ТПК 70:30 разница составила 14 %, при соотношении 60:40 – 23 %. Аналогичная закономерность наблюдалась и для относительного удлинения при разрыве: при соотношении 70:30 показатель увеличился на 74 %, при соотношении 60:40 и 40:60 – на 65 % и 21 %. Увеличение напряжения при растяжении указывало на высокие прочностные свойства изделий, а относительное удлинение при разрыве – на способность пленок подвергаться биоразлагаемости в большей степени, чем изделия с нативным крахмалом.

Выводы. Модифицированный крахмал, неочищенный от редуцирующих веществ, целесообразно использовать для изготовления ТПК и пленочных изделий с ПЭНП, по сравнению с очищенным крахмалом, для улучшения их физико-механических показателей и сокращения срока биоразлагаемости. Перспективно исследование свойств пищевых изделий и пленочных упаковочных изделий при хранении различными способами для конкретизации срока биоразлагаемости.

Ключевые слова. Полисахариды, крахмал, гидролиз, полимерная пленка, биоразложение, гибридная композиция, физико-механические свойства

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) по Гранту Президента РФ для молодых ученых (МК-5651.2018.11).

Для цитирования: Применение модифицированного пористого крахмала для создания биоразлагаемых композиционных полимерных материалов / А. А. Папахин, В. В. Колпакова, З. М. Бородин [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 549–558. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-549-558>.

Original article

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

Modified Porous Starch in Development of Biodegradable Composite Polymer Materials

Aleksandr A. Papakhin¹, Valentina V. Kolpakova^{1,*},
Zinaida M. Borodina¹, Aslan S. Sardzhveladze¹, Ilya Yu. Vasiliev²

¹ All-Russian Research Institute of Starch Products,
11, Nekrasova Str., Kraskovo, Moscow region, 140051, Russia

Received: September 11, 2020
Accepted: September 30, 2020

² Moscow Polytechnic University,
38, Bolshaya Semyonovskaya Str., Moscow, 107023, Russia

*e-mail: val-kolpakova@rambler.ru



© A.A. Papakhin, V.V. Kolpakova, Z.M. Borodina, A.S. Sardzhveladze, I.Yu. Vasiliev, 2020

Abstract.

Introduction. Modern food industry needs composite polymer materials based on natural compounds that accelerate the biodegradability of packaging materials. Starch is one of the most effective organic fillers. It has an excellent compatibility with synthetic polymers during extrusion. The research objective was to perform a comparative assessment of the physical and mechanical characteristics of thermoplastic starch based on enzymatic modified porous corn starch. The starch included samples both purified and unrefined from reducing substances. The samples were tested in biodegradable film production.

Study objects and methods. The research featured porous starch, hybrid compositions with thermoplastic porous starch (TPS), and films based on low density polyethylene (PLD). The study involved various methods for determining biochemical and structural features of starch, e.g. electron microscopy, and physicomechanical properties of compositions and films.

Results and its discussion. Compared to native starch, porous starch had a 1.6 times higher water-binding capacity and a 4 times greater solubility. Its enzymatic attackability was 24% higher, while its dynamic viscosity was a 1.7 times lower. These properties had a positive effect on the biodegradability of the films. The film samples that had the PLD:TPS ratio of 60:40 and the porous starch ratio of 40:60 demonstrated higher indicators of breaking tensile stress than the native starch samples. When the ratio of PLD:TPS was 70:30, the difference reached 14%; with that of 60:40 – 23%. Similar results were obtained for the break elongation: the indicator increased by 74% at the ratio of 70:30, by 65% at the ratio of 60:40, and by 21% at 40:60. The superior tensile stress indicator of the porous starch samples proved its higher strength properties, while the better break elongation results denoted a greater biodegradability.

Conclusion. Modified starch, unrefined from reducing substances, proved more expedient for TPS and PLD film production. Unlike refined starch, it reduced the biodegradability period of the final product. The biodegradability period can be specified in a prospective study of food properties during storage using the new film.

Keywords. Polysaccharides, starch, hydrolysis, plastic film, biodegradation, hybrid composition, physical and mechanical properties

Funding. The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka) as part of the Grant of the President of the Russian Federation for Young Scientists (MK-5651.2018.11).

For citation: Papakhin AA, Kolpakova VV, Borodina ZM, Sardzhveladze AS, Vasiliev IYu. Modified Porous Starch in Development of Biodegradable Composite Polymer Materials. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):549–558. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-549-558>.

Введение

В связи с ростом производства полимерных изделий большое внимание в стране и мире уделяется проблемам загрязнения окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. Разработка композиционных полимерных материалов (КПМ) – одно из эффективных направлений решения проблемы обеспечения биоразлагаемости упаковочных изделий для предприятий и фирм, выпускающих упаковку для пищевых и других видов изделий [1, 2, 4, 5]. При этом решаются вопросы исключения попадания в пищу и организм человека опасных для здоровья компонентов. Поэтому разработка экологически безопасных способов и технологий биоразлагаемых полиэтиленовых изделий является острой и необходимой [1, 2].

Свойства КПМ можно изменять, в зависимости от вида полимерной матрицы, типа наполнителя, дисперсности и его концентрации, с сохранением физико-механических характеристик в период потребления [3, 4]. После эксплуатации изделие должно подвергаться физико-химическим, химическим, биологическим и деструктивным преобра-

зованиям под воздействием факторов окружающей среды, легко включаясь в процессы метаболизма природных биосистем [5, 6].

Основным преимуществом биополимеров является их способность к биодеградации в течение довольно короткого времени в отличие от традиционных аналогов, полученных из нефтехимического сырья [7]. Создание КПМ предполагает наполнение различными природными и синтетическими модификаторами органической и неорганической природы, придающими полимерам свойства биоразлагаемости. Из многообразия природных полимеров повышенный интерес представляет экологически безопасный крахмал [8–11].

Крахмал при высокой температуре (90–180 °С) совместно с пластификаторами в процессе экструзии плавится и разжижается. Это позволяет использовать его на различном оборудовании для синтетических пластмасс. Физико-механические свойства термопластичного крахмала (ТПК), полученного методом экструзии, зависят от вида и природы крахмала, а также типа и молекулярного

веса пластификатора. Для повышения прочности и термостойкости композиций с крахмалом в них вводят глину, растительные волокна, коллаген, лигнин и другие виды добавок [12–19].

Нами разработаны технологии ТПК, оптимальные составы которого определены с помощью математического планирования при использовании полиэтилена низкой плотности, пластификаторов и нативного крахмала [10, 19]. Крахмал – полимер остатков глюкозы, структура и свойства которого относительно легко подвергаются изменениям под влиянием амилолитических ферментов с получением модифицированных крахмалов и сахаристых продуктов. Нами проведены исследования ферментативной восприимчивости крахмала из различных зерновых культур для определения возможности его использования в молочной и кондитерской промышленности [20, 21]. В том числе и в качестве компонента биоразлагаемых полимерных композиций [20–22].

Наиболее высокую восприимчивость к ферментам проявлял кукурузный крахмал. При обработке кукурузного крахмала амилолитическими ферментами в водной среде при температуре ниже клейстеризации получили ферментативно-модифицированный крахмал. Он, по сравнению с исходным крахмалом, очищен от редуцирующих веществ, обладающий повышенной адсорбционной и водоудерживающей способностью, а также ферментативной атакуемостью [23, 24].

Целью данной работы стала сравнительная оценка физико-механических характеристик термопластичного крахмала с использованием ферментативно-модифицированного пористого кукурузного крахмала, очищенного и неочищенного от редуцирующих веществ, образующихся в процессе биокатализа, для более эффективного применения в технологии пленочных биоразлагаемых изделий.

Объекты и методы исследования

В качестве материала использовали крахмал кукурузный, по показателям качества отвечающий требованиям ГОСТ 32159-2013, глицерин дистиллированный (ГОСТ 6824-96), сорбитол (ГОСТ 53904-2010) и полиэтилен низкой плотности (ПЭНП) (высокого давления) марки 11503-070. Ферментный препарат глюкоамилазы Optidex L-400 (производитель *Asp. niger*) предоставлен компанией DuPont™ (США). Все сырье и вспомогательные материалы соответствовали требованиям ТР ТС 021/2011.

Массовую долю сухих веществ (СВ), величину рН в реакционных средах, водосвязывающую способность (ВСС) и растворимость в воде определяли по методикам, рекомендуемым ВНИИ крахмалопродуктов [25]. Динамическую вязкость крахмала исследовали на приборе Реотест-II (Германия). Микроскопирование зерен нативного

и модифицированного крахмала осуществляли на световом микроскопе DMLM (Leica, Германия) и сканирующем электронном микроскопе Mira LMU (Tescan, Чехия). Ферментативную атакуемость крахмала (ФАК) определяли следующим способом: 3 г на СВ крахмала (m) взвешивали в конической колбе вместимостью 100 см³ с точностью ± 0,001 г, диспергировали в 22 см³ 0,1М ацетатного буфера (рН 4,2), помещали на платформу шейкера-инкубатора КА (Германия), нагревали до 50 °С, вносили 5 см³ раствора препарата Optidex L-400 из расчета 45 ед. активности/г СВ крахмала и инкубировали при 50 °С с постоянным перемешиванием со скоростью 120 мин⁻¹ в течение 6 ч. По окончании инкубации реакционную смесь фильтровали на вакуумной установке, определяли массу фильтрата (m₁), содержание в нем СВ, углеводный состав и массовую долю редуцирующих веществ (РВ) в пересчете на глюкозу в % на СВ на хроматографе Bischoff 8120. ФАК определяли по формуле (1):

$$\text{ФАК} = (m_1 \cdot \text{СВ} \cdot \text{РВ} / m) \cdot 100, \% \quad (1)$$

где m – масса СВ крахмала в навеске, г; m₁ – масса СВ в фильтрате, г; СВ – сухое вещество фильтрата, %; РВ – массовая доля редуцирующих веществ в фильтрате в пересчете на глюкозу, %.

Степень ферментативного гидролиза (СГК) рассчитывали по формуле (2):

$$\text{СГК} = \left(\frac{W_{\text{PCB}}}{W_{\text{np}} \cdot \text{СВ}_{\text{PC}}} \cdot \text{РВ} \right) / 100, \% \quad (2)$$

где W_{np} – масса реакционной смеси, взятая на разделение, г; СВ_{PC} – массовая доля СВ в реакционной смеси, %; W_{PCB} – масса СВ в водорастворимой фракции пробы после фильтрования, г.

ТПК получали методом экструзии при температуре 115 ± 2 °С на лабораторном экструдере, гибридные полимерные композиции с ПЭНП (ГК) при соотношении ПЭНП:ТПК 40:70 и 60:30 и температуре 135 ± 5 °С [10]. Разрушающее напряжение при растяжении и относительное удлинение при разрыве для ГК и композиционных пленок измеряли при температуре 23 ± 2 °С и относительной влажности 50 ± 5 % (ГОСТ 14236-81). Для определения свойств гибридных композиций и композиционных пленок использовали разрывную машину марки РМ-50, оснащенную компьютерным интерфейсом. Предел допускаемого значения погрешности измерения нагрузки не превышал ± 1 %. Предельные отклонения по диаметру образца составляли ± 0,2 мм.

Изготовление пленочных образцов из полиэтилен-крахмальных композиций осуществляли на лабораторной установке с экструдером диаметром 12 мм. Пленку принимали на металлический вал приемного устройства, исследовали сторону пленок, не контактировавшую с охлаждающим валом.

Результаты представляли как среднее арифметическое с указанием средних квадратичных ошибок. Статистическую обработку результатов осуществляли методом дисперсного анализа с применением программы Statistica 6.0.

Результаты и их обсуждение

Образцы ферментативно-модифицированного очищенного и неочищенного от глюкозы кукурузного крахмала получали в соответствии со стадиями:

- разведение крахмала в дистиллированной воде до получения суспензии с концентрацией СВ 32–33 % и доведение рН суспензии до значения 3,3–3,4;
- нагрев суспензии на шейкере-инкубаторе при встряхивании до температуры 50–52 °С; внесение ферментного препарата и выдерживание реакционной смеси при данной температуре в течение 24 ч;
- фильтрование реакционной смеси под вакуумом с получением фильтрата и осадка негидролизованного крахмала. Одну часть осадка промывали дистиллированной водой при гидромодуле $1:3 \pm 1:4$, другую часть оставляли без промывания. Массовая доля редуцирующих веществ (РВ) в промытых (очищенных) образцах крахмала составляла $1,0 \pm 0,3$ %, в непромытых (неочищенных) – $17,5 \pm 0,5$ %;
- сушка очищенного и неочищенного осадка модифицированного крахмала при температуре $50 \pm 0,5$ °С до влажности 7 ± 8 % с последующим измельчением на лабораторной мельнице до размера частиц 30–40 мкм.

Опытами по изучению влияния фермента глюкоамилазы на физико-химические свойства крахмала установлено, что наиболее эффективной степенью гидролиза (СГК) явилось значение 50 ± 2 %. При этом у очищенного модифицированного крахмала, по сравнению с нативным крахмалом, в 1,6 раза повышалась водосвязывающая способность, в 4 раза увеличивалась растворимость в воде, в 1,7 раза понижалась динамическая вязкость (табл. 1). При степени гидролиза выше 52 % показатели ухудшались, что нежелательно для биоразлагаемой способности полимерных композиций.

Методом микроскопирования образцов нативного, очищенного и неочищенного модифицированного крахмала на микроскопе в поляризованном свете и на сканирующем электронном микроскопе установлено, что после ферментативной обработки поверхность

гранул крахмала изменялась. При исследовании образцов на световом микроскопе в поляризованном свете показано, что гранулы крахмала сохраняли свою форму и двойное лучепреломление. Это указывает на отсутствие значительных изменений в его структуре после ферментативного гидролиза не зависимо от степени очистки (рис. 1а, б). Однако сканирующее микроскопирование ферментированного крахмала показало, что при действии на него фермента глюкоамилазы на поверхности гранул образовывались ямки (поры) и канавки различной глубины в направлении от центра к периферии (рис. 1с, д). С возрастанием степени гидролиза количество таких структур возрастало и сопровождалось повышением растворимости, способности связывать воду и атакуемости крахмала амилолитическими ферментами (табл. 1).

Модифицированный крахмал, по сравнению с нативным полисахаридом, обладал большей площадью поверхности пор и объемом, а также низкой молекулярной массой за счет сокращения длины полисахаридных цепочек амилозы и амилопектина после их гидролиза под действием фермента глюкоамилазы. Повышенная степень гидролиза (52,2 %) и высокая ферментативная атакуемость модифицированного крахмала (на 24 %) из-за указанных выше структурных изменений стали основополагающими факторами для того, чтобы предположить эффективное изменение структуры и свойств готовых полимерных изделий для сокращения длительности биоразлагаемости последних после истечения срока эксплуатации. Пониженная в 1,7 раза динамическая вязкость и развитая площадь взаимодействия крахмала с пластификаторами глицерином, сорбитолом и полиэтиленом в процессе экструзии должны были обеспечить равномерное распределение компонентов по всей поверхности модифицированного ТПК и его гибридной композиции с ПЭНП и большую степень изменения физико-механических свойств готовых изделий в процессе хранения.

С использованием очищенного и неочищенного от редуцирующих веществ модифицированного крахмала с массовыми долями $1,0 \pm 0,3$ % и $17,5 \pm 0,5$ % соответственно приготовили экструзионную композицию ТПК для пленочных изделий с применением тех же пластификаторов, что и с нативным кукурузным крахмалом [13].

Таблица 1. Физико-химические характеристики нативного и модифицированного крахмала

Table 1. Physicochemical characteristics of native and modified starch

Образец крахмала	СГК, %	ВСС, г/г	Растворимость в воде, %	Динамическая вязкость, Мпа·с	Атакуемость ферментами, % на СВ
Нативный	0	$1,16 \pm 0,05$	$0,31 \pm 0,03$	$38,2 \pm 1,30$	$46,4 \pm 0,06$
Модифицированный очищенный	$50,0 \pm 2,0$	$2,56 \pm 0,04$	$1,28 \pm 0,20$	$23,0 \pm 0,09$	$52,0 \pm 0,07$
Модифицированный неочищенный	$50,0 \pm 2,0$	$1,78 \pm 0,05$	$1,41 \pm 0,18$	$19,8 \pm 0,15$	$60,0 \pm 0,06$

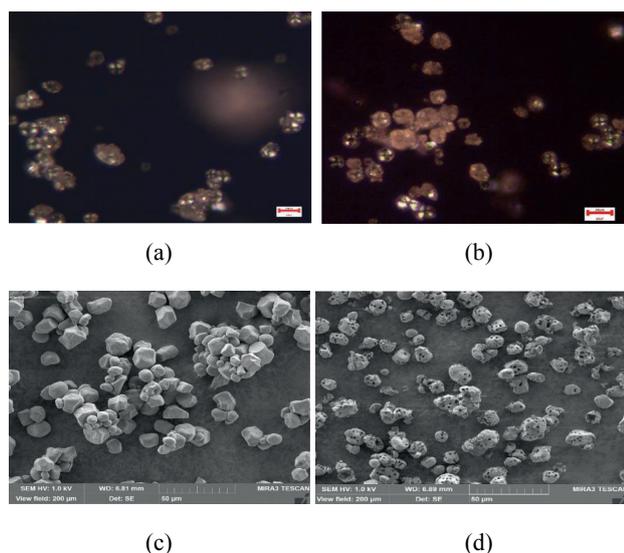


Рисунок 1. Микрофотографии образцов гранул нативного (а и с) и модифицированного (b и d) крахмала

Figure 1. Micrographs of samples of native (a and c) and modified (b and d) starch granules

Соотношение компонентов (модифицированный крахмал, глицерин, сорбитол) для разработки состава ТПК определяли с использованием результатов экспериментов, выполненных на лабораторном экструдере, путем составления математической матрицы планирования эксперимента и решений соответствующих уравнений. Для этого выбрали ортогональный центральный композиционный план 2-го порядка со «звездными плечами», позволяющий на основании результатов 15 опытов получить достоверную математическую модель в виде полного линейного уравнения 2-го порядка с тремя факторами, описывающий соответствующий отклик системы. Поиск коэффициентов осуществляли для следующего уравнения (3):

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + B_{12}X_1X_2 + B_{13}X_1X_3 + B_{23}X_2X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 \quad (3)$$

В качестве факторов выбрали: X_1 – температуру экструзии, °C; X_2 – массовую долю модифицированного крахмала в композиции (в частях); X_3 – частоту вращения шнека, мин⁻¹. Откликами служили физико-механические характеристики композиций: разрушающее напряжение при растяжении (σ , МПа) и относительное удлинение при разрыве (ε , %). Составлена матрица эксперимента с уровнями варьирования факторов и их реальными величинами. Разработан алгоритм расчета коэффициентов уравнений регрессии, описывающий математические модели функций отклика. Расчет коэффициентов выполнен в приложении Microsoft Office Excel. Получены 15 образцов композиций на основе ПЭНП и модифицированного

кукурузного крахмала. Определены прочностные и деформационные показатели образцов, рассчитаны коэффициенты уравнений откликов системы.

Результаты испытаний, рассчитанные по разработанному алгоритму в приложении Microsoft Office Excel уравнения отклика (4) и (5), приведены ниже:

$$\sigma = 5,5 + 0,165X_1 - 0,537X_2 - 1,322X_3 - 0,459X_1X_2 + 2,52X_1X_3 + 1,178X_2X_3 + 0,546X_1^2 + 0,786X_2^2 + 0,205X_3^2 \quad (4)$$

$$\varepsilon = 40 - 4,132X_1 + 4,132X_2 - 4,132X_3 + 49,746X_1X_2 + 32,01X_1X_3 + 37,114X_2X_3 - 3,415b_{11}X_1^2 + 3,415X_2^2 - 10,216X_3^2 \quad (5)$$

Установлено, что наилучшие реологические характеристики ТПК (разрушающее напряжение при растяжении не менее 4 МПа, относительное удлинение при разрыве не менее 15 %) получены при соотношении крахмал:глицерин:сорбитол – 60:30:10, температуре на выходе из экструдера – 115 °C и оборотах шнека экструдера – 60–80 мин⁻¹.

На основе ПЭНП с использованием ТПК, приготовленном на основе нативного, модифицированного очищенного и неочищенного от редуцирующих веществ крахмала, в экструдере готовили гибридные композиции (ГК) при соотношении компонентов ПЭНП:ТПК 60:70 и 40:30 и температуре 140 °C. Выбор оптимальных соотношений полимера и ТПК обуславливался пределом силы взаимодействия на границе раздела гидрофильных крахмальных и гидрофобных полиэтиленовых фаз.

Из полученных гранул ГК на экструдере с щелевой головкой получали комбинированную пленку толщиной 100–410 мкм. Композиция, приготовленная с ТПК из нативного кукурузного крахмала при том же соотношении компонентов, служила контрольным образцом. Контрольная композиция имела недостаточно высокие эксплуатационные свойства из-за присутствия нативного крахмала с низкой величиной водосвязывающей способности (табл. 1), значение которой важно для протекания процессов биоразлагаемости в присутствии воды при утилизации.

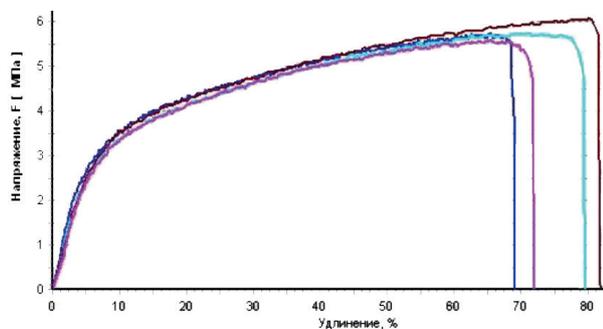
Различия в физико-механических характеристиках образцов, приготовленных при соотношении ПЭНП:ТПК 70:30, отображены в таблице 2 и на рисунке 2.

В образце с очищенным от РВ модифицированным крахмалом относительное удлинение и разрушающее напряжение пленки увеличились на 60–63 %. Это свидетельствовало, с одной стороны, о возможности с большей скоростью разлагаться в естественных условиях, если ориентироваться на относительное удлинение. С другой стороны – об увеличении прочности изделия в процессе эксплуатации. На это указывало значение разрушающего напряжения при растяжении.

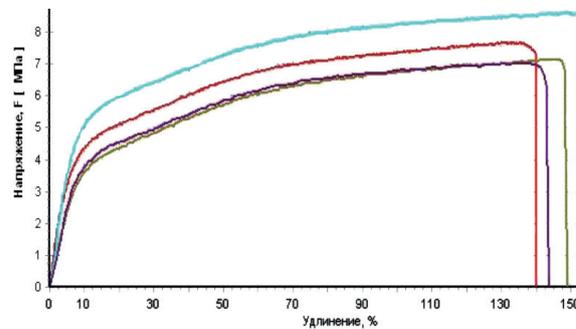
Таблица 2. Физико-механические показатели полиэтиленовой пленки с ТПК на основе очищенного крахмала

Table 2. Physical and mechanical properties of polyethylene film with TPK based on purified starch

ТПК с нативным крахмалом		ТПК с очищенным модифицированным крахмалом	
Соотношение ПЭНП:ТПК 70:30			
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %
5,92 ± 0,17	69,74 ± 6,90	7,62 ± 1,00	146,46 ± 6,14



(a)



(b)

Рисунок 2. Кривые зависимости разрушающего напряжения от относительного удлинения пленки с ТПК из нативного (a) и очищенного модифицированного крахмала (b)

Figure 2. Effect of the relative elongation of the film with TPK from native (a) and modified purified starch (b) on the ultimate tensile stress

Так как неочищенный модифицированный крахмал содержал примеси РВ, то было выдвинуто предположение, что они, имея в своем составе значительное количество гидрофильных гидроксильных групп, могли заменить уже известную пластифицирующую добавку-наполнитель для полиэтилена – шестиатомный спирт сорбитол с исключением последнего из рецептуры изготовления ТПК. Далее образцы ТПК выработали без сорбитола из неочищенного модифицированного крахмала с массовой долей РВ $17,5 \pm 0,5$ % и глицерином при соотношении 30:70 взамен известного соотношения в ТПК крахмал:глицерин:сорбитол 60:30:10 [10].

С использованием ПЭНП изготовлены ГК при других соотношениях ПЭНП:ТПК 60:40 и 40:60 и температуре 140 °С. Результаты испытаний физико-механических свойств полученных композиционных пленок из ГК представлены в таблице 3.

Показано, что опытные образцы композиционных пленок, изготовленных при всех исследуемых соотношениях компонентов, имели высокие пока-

затели разрушающего напряжения при растяжении, чем образцы с нативным крахмалом. При соотношении ПЭНП:ТПК 70:30 эта разница составила 14 %, при соотношении 60:40 – 23 %. Аналогичная закономерность наблюдалась и для относительного удлинения при разрыве: при соотношении 70:30 показатель увеличился на 74 %, при соотношении 60:40 и 40:60 – на 65 % и 21 % соответственно.

Увеличение разрушающего напряжения указывало на высокие прочностные свойства изделий, относительное удлинение при разрыве – на высокую способность разлагаться по сравнению с изделиями с нативным крахмалом. Молекулы неочищенного модифицированного крахмала, находящегося во взаимодействии с гидроксильными группами пластификаторов, обладая повышенной водосвязывающей способностью и атакуемостью ферментами, могут легче подвергаться деструкции под влиянием внешних факторов. Продукты деструкции ТПК с неочищенным модифицированным крахмалом будут способны эффективно разрушать

Таблица 3. Физико-механические показатели полиэтиленовой пленки с неочищенным модифицированным крахмалом

Table 3. Physical and mechanical properties of polyethylene film with unrefined modified starch

Наименование показателей	ГК с нативным крахмалом			ГК с неочищенным модифицированным крахмалом		
	Соотношение ПЭНП:ТПК					
	70:30	60:40	40:60	70:30	60:40	40:60
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	14,85 ± 1,0	13,35 ± 1,1	12,55 ± 1,0	16,88 ± 1,1	16,47 ± 1,0	12,88 ± 1,2
Относительное удлинение при разрыве, %	40,73 ± 1,2	38,80 ± 0,8	37,04 ± 1,5	70,95 ± 1,2	60,73 ± 1,3	44,76 ± 1,0

структуру ПЭНП с образованием пустот, щелей, в которые может проникать вода, микроорганизмы и другие факторы, вызывающие ускоренное разложение.

В связи с этим дальнейшие исследования будут направлены на исследования изменений физико-механических показателей композиционных полимерных изделий с неочищенным и очищенным модифицированным крахмалом (после эксплуатации) в биогумусе при различных условиях хранения.

Выводы

Методом экструзии получены лабораторные образцы термопластичного крахмала (ТПК) с ферментативно модифицированным пористым кукурузным крахмалом, очищенным и неочищенным от редуцирующих веществ. Была выполнена сравнительная характеристика физико-механических показателей гибридных композиций, приготовленных на основе полиэтилена низкой плотности (ПЭНП).

У пористого крахмала, по сравнению с нативным, в 1,6 раза повышалась водосвязывающая способность, в 4 раза – растворимость, на 24 % возрастала атакуемость ферментами и в 1,7 раза понижалась динамическая вязкость. Это положительно отразилось на физико-механических свойствах пленок со свойством биоразлагаемости. Опытные образцы пленок, изготовленные при соотношениях ПЭНП:ТПК 60:40 и 40:60 с пористым неочищенным от редуцирующих веществ крахмалом, имели высокие показатели разрушающего напряжения при растяжении, чем образцы с нативным крахмалом. При соотношении ПЭНП:ТПК 70:30 разница составила 14 %, при соотношении 60:40 – 23 %. Аналогичная закономерность наблюдалась и для показателя относительного удлинения при разрыве: при том же соотношении показатель увеличился на 74 %, при соотношении 60:40 и 40:60 – на 65 % и 21 % соответственно.

Увеличение напряжения при растяжении указывало на высокие прочностные свойства изделий, относительное удлинение при разрыве – на способность пленок с неочищенным крахмалом подвергаться биоразлагаемости в большей степени, чем изделия с нативным крахмалом.

Модифицированный крахмал, неочищенный от редуцирующих веществ, целесообразно использовать для изготовления ТПК и пленочных изделий с ПЭНП, по сравнению с очищенным крахмалом, для сокращения срока биоразлагаемости. Перспективно исследование свойств пищевых изделий и новых пленочных изделий при хранении для конкретизации срока биоразлагаемости последних.

Критерии авторства

А. А. Папахин планировал, руководил и выполнял экспериментальные исследования. В. В. Колпакова планировала и анализировала результаты эксперимента. Все другие авторы в равной степени участвовали в проведении эксперимента, написании и оформлении статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

A.A. Papakhin designed the research, supervised the project, and performed experimental work. V.V. Kolpakova planned and analyzed the results of the experiment. The other authors were equally involved in the experimental studies and manuscript development.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Васильева, Н. Г. Биоразлагаемые полимеры / Н. Г. Васильева // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 22. – С. 156–157.
2. Razavi, S. M. A. Structural and physicochemical characteristics of a novel water-soluble gum from *Lallemantia royleana* seed / S. M. A. Razavi, S. W. Cui, H. Ding // International Journal of Biological Macromolecules. – 2016. – Vol. 83. – P. 142–151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.076>.
3. Kwon, S. S. Physicochemical properties of pH-sensitive hydrogels based on hydroxyethyl cellulose-hyaluronic acid and for applications as transdermal delivery systems for skin lesions / S. S. Kwon, B. J. Kong, S. N. Park // European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics. – 2015. – Vol. 92. – P. 146–154. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2015.02.025>.
4. Development of new active packaging film made from a soluble soybean polysaccharide incorporated *Zataria multiflora* Boiss and *Mentha pulegium* essential oils / D. Salarbashi, S. Tajik, S. Shojaee-Aliabadi [et al.] // Food Chemistry. – 2014. – Vol. 146. – P. 614–622. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.014>.
5. Soluble soybean polysaccharide: A new carbohydrate to make a biodegradable film for sustainable green packaging / S. Tajik, Y. Maghsoudlou, F. Khodaiyan [et al.] // Carbohydrate Polymers. – 2013. – Vol. 97, № 2. – P. 817–824. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.05.037>.
6. The study of rheological behavior and safety metrics of natural biopolymers / L. K. Asyakina, V. F. Dolganyuka, D. D. Belova [et al.] // Foods and Raw Materials. – 2015. – Vol. 4, № 1. – P. 70–78. DOI: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-70-78>.

7. Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops / F. G. Torres, O. P. Troncoso, C. Torres [et al.] // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2011. – Vol. 48, № 4. – P. 603–606. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.01.026>.
8. Термопластичный крахмал в составе биоразлагаемой полимерной пленки / В. В. Колпакова, И. С. Усачев, А. С. Сарджвеладзе [и др.] // *Кондитерское и хлебопекарное производство*. – 2018. – Т. 174, № 1–2. – С. 21–25.
9. Application of thermoplastic starch and starch containing waste of food industry in biodegradable polymer compositions / D. Lukin, V. Kolpakova, V. Ananyev [et al.] // *Proceedings of the 12th international conference on polysaccharides-glycoscience*. – Prague, 2016. – P. 58–62.
10. Совершенствование технологии применения термопластичного крахмала для биоразлагаемой полимерной пленки / В. В. Колпакова, И. С. Усачев, А. С. Сарджвеладзе [и др.] // *Пищевая промышленность*. – 2017. – № 8. – С. 34–38.
11. Avérous, L. Biodegradable polymers / L. Avérous, E. Pollet // *Environmental Silicate Nano-Biocomposites* / L. Avérous, E. Pollet. – London : Springer, 2012. – P. 13–39. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4108-2_2.
12. Starch films reinforced with mineral clay / H. M. Wilhelm, M. R. Sierakowski, G. P. Souza [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. – 2003. – Vol. 52, № 2. – P. 101–110. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)00239-4](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00239-4).
13. Influence of fibers on the mechanical properties of cassava starch foams / L. G. Carr, D. F. Parra, P. Ponce [et al.] // *Journal of Polymers and the Environment*. – 2006. – Vol. 14, № 2. – P. 179–183. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-006-0008-5>.
14. Puccini, M. Polyethylene and hydrolyzed collagen blend films produced by blown extrusion / M. Puccini, M. Seggiani, S. Vitolo // *Chemical Engineering Transactions*. – 2015. – Vol. 43. – P. 1705–1710. DOI: <https://doi.org/10.3303/CET1543285>.
15. Bio-based polyethylene-lignin composites containing a pro-oxidant/pro-degradant additive: preparation and characterization / S. K. Samal, E. G. Fernandes, A. Corti [et al.] // *Journal of Polymers and the Environment*. – 2014. – Vol. 22, № 1. – P. 58–68. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-013-0620-0>.
16. Preparation and characterization of TiO₂/SPI composite film / S.-Y. Wang, B.-B. Zhu, D.-Z. Li [et al.] // *Materials Letters*. – 2012. – Vol. 83. – P. 42–45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2012.05.104>.
17. Dyshlyuk, L. S. Analysis of the structural and mechanical properties and micromorphological features of polymeric films based on hydrocolloids of vegetable origin used for the production of biodegradable polymers / L. S. Dyshlyuk // *Foods and Raw Materials*. – 2014. – Vol. 2, № 2. – P. 88–97. DOI: <https://doi.org/10.12737/5465>.
18. Отходы пищевой промышленности АПК – перспективное сырье для биоразлагаемых упаковочных композиций / В. В. Колпакова, Г. Н. Панкратов, А. А. Чевокин [и др.] // *Пищевая промышленность*. – 2008. – № 6. – С. 16–19.
19. Usage of thermoplastic starch and ultrasound in development of biodegradable polymer film / I. S. Usachev, A. A. Papahin, V. V. Kolpakova [et al.] // *Proceedings of the 18th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM*. – Albena 2018. – P. 1019–1025. DOI: <https://doi.org/10.5593/sgem2018/5.2/S20.131>.
20. Влияние модифицированных крахмалов на структуру аэрированных творожных муссов / К. А. Рязанцева, Е. Ю. Агаркова, А. Г. Кручинин [и др.] // *Молочная промышленность*. – 2017. – № 9. – С. 54–56.
21. Фруктовый полуфабрикат с модифицированным пористым крахмалом для производства кондитерских и хлебобулочных изделий / А. А. Папахин, В. В. Колпакова, З. М. Бородина [и др.] // *Хлебопродукты*. – 2020. – № 8. – С. 37–40.
22. Kolpakova, V. Thermoplastic composition with modified porous corn starch of biodegradability properties / V. Kolpakova, I. Usachev, A. Papakhin [et al.] // *Proceedings of the GEOLINKS 2019 Multidisciplinary International Scientific Conference*. – Athens 2019. – P. 33–41. DOI: <https://doi.org/10.32008/geolinks2019/b2/v1/04>.
23. Some physico-chemical and thermodynamic characteristics of maize starches hydrolyzed by glucoamylase / L. A. Wasserman, A. A. Papakhin, Z. M. Borodina [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. – 2019. – Vol. 212. – P. 260–269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.01.096>.
24. О ферментативной атакуемости различных видов крахмала / З. М. Бородина, Н. Д. Лукин, А. А. Папахин [и др.] // *Пищевая промышленность*. – 2019. – № 5. – С. 27–32. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10067>.
25. Папахин, А. А. О свойствах ферментативно модифицированного пористого кукурузного крахмала / А. А. Папахин, З. М. Бородина // *Пищевая промышленность*. – 2019. – № 4. – С. 78–79. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10039>.

References

1. Vasil'eva NG. Biorazlagaemye polimery [Biodegradable polymers]. *Bulletin of the Technological University*. 2013;16(22):156–157. (In Russ.).
2. Razavi SMA, Cui SW, Ding H. Structural and physicochemical characteristics of a novel water-soluble gum from *Lallemantia royleana* seed. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2016;83:142–151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.076>.
3. Kwon SS, Kong BJ, Park SN. Physicochemical properties of pH-sensitive hydrogels based on hydroxyethyl cellulose-hyaluronic acid and for applications as transdermal delivery systems for skin lesions. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 2015;92:146–154. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2015.02.025>.

4. Salarbashi D, Tajik S, Shojaee-Aliabadi S, Ghasemlou M, Moayyed H, Khaksar R, et al. Development of new active packaging film made from a soluble soybean polysaccharide incorporated *Zataria multiflora* Boiss and *Mentha pulegium* essential oils. *Food Chemistry*. 2014;146:614–622. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.014>.
5. Tajik S, Maghsoudlou Y, Khodaiyan F, Jafari SM, Ghasemlou M, Aalami M. Soluble soybean polysaccharide: A new carbohydrate to make a biodegradable film for sustainable green packaging. *Carbohydrate Polymers*. 2013;97(2):817–824. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.05.037>.
6. Asyakina LK, Dolganyuka VF, Belova DD, Peral MM, Dyshlyuk LS. The study of rheological behavior and safety metrics of natural biopolymers. *Foods and Raw Materials*. 2015;4(1):70–78. DOI: <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-70-78>.
7. Torres FG, Troncoso OP, Torres C, Diaz DA, Amaya E. Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2011;48(4):603–606. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.01.026>.
8. Kolpakova VV, Usachev IS, Sardzhveladze AS, Lukin ND, Anan'ev VV. Termoplastichnyy krakhmal v sostave biorazlagaemoy polimernoy plenki [Thermoplastic starch in biodegradable polymer film]. *Confectionery and Baking Industry*. 2018;174(1–2):21–25. (In Russ.).
9. Lukin D, Kolpakova V, Ananyev V, Lukin N, Usachev I, Sardjveladze A, et al. Application of thermoplastic starch and starch containing waste of food industry in biodegradable polymer compositions. *Proceedings of the 12th international conference on polysaccharides-glycoscience*; 2016; Prague. Prague: Czech Chemical Society; 2016. p. 58–62.
10. Kolpakova VV, Usachev IS, Sardzhveladze AS, Solomin DA, Ananiev VV, Vasil'ev IYu. Perfection of technology of application of thermoplastic starch for biodegradable polymeric film. *Food Industry*. 2017;(8):34–38. (In Russ.).
11. Avérous L, Pollet E. Biodegradable polymers. In: Avérous L, Pollet E, editors. *Environmental Silicate Nano-Biocomposites*. – London: Springer; 2012. pp. 13–39. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4108-2_2.
12. Wilhelm HM, Sierakowski MR, Souza GP, Wypych F. Starch films reinforced with mineral clay. *Carbohydrate Polymers*. 2003;52(2):101–110. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)00239-4](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00239-4).
13. Carr LG, Parra DF, Ponce P, Lugao AB, Buchler PM. Influence of fibers on the mechanical properties of cassava starch foams. *Journal of Polymers and the Environment*. 2006;14(2):179–183. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-006-0008-5>.
14. Puccini M, Seggiani M, Vitolo S. Polyethylene and hydrolyzed collagen blend films produced by blown extrusion. *Chemical Engineering Transactions*. 2015;43:1705–1710. DOI: <https://doi.org/10.3303/CET1543285>.
15. Samal SK, Fernandes EG, Corti A, Chiellini E. Bio-based polyethylene-lignin composites containing a pro-oxidant/pro-degradant additive: preparation and characterization. *Journal of Polymers and the Environment*. 2014;22(1):58–68. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-013-0620-0>.
16. Wang S-Y, Zhu B-B, Li D-Z, Fu X-Z, Shi L. Preparation and characterization of TiO₂/SPI composite film. *Materials Letters*. 2012;83:42–45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2012.05.104>.
17. Dyshlyuk LS. Analysis of the structural and mechanical properties and micromorphological features of polymeric films based on hydrocolloids of vegetable origin used for the production of biodegradable polymers. *Foods and Raw Materials*. 2014;2(2):88–97. DOI: <https://doi.org/10.12737/5465>.
18. Kolpakova VV, Pankratov GN, Chevokina AA, Gavrilov AM, Skobelskaya ZG, Semenov GV, et al. Waste products of food industry of agrarian and industrial complex- perspective material for biodegradable packaging compositions. *Food Industry*. 2008;(6):16–19. (In Russ.).
19. Usachev IS, Papahin AA, Kolpakova VV, Lukin ND, Ananiev VV. Usage of thermoplastic starch and ultrasound in development of biodegradable polymer film. *Proceedings of the 18th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM*; 2018; Albena. Albena: STEF92 Technology; 2018. p. 1019–1025. DOI: <https://doi.org/10.5593/sgem2018/5.2/S20.131>.
20. Ryazantseva KA, Agarkova EYu, Kruchinin AG, Papahin AA, Borodina ZM. Effects of the modified starches on the structure of aerated curds mousses. *Dairy Industry*. 2017;(9):54–56. (In Russ.).
21. Papakhin AA, Kolpakova VV, Borodina ZM, Kovalenko VA, Skobelskaya ZG. Fruit semi-finished product with modified porous starch for the production of confectionery and bakery products. *Bread products*. 2020;(8):37–40. (In Russ.).
22. Kolpakova V, Usachev I, Papakhin A, Sardzhveladze A, Ananiev V. Thermoplastic composition with modified porous corn starch of biodegradability properties. *Proceedings of the GEOLINKS 2019 Multidisciplinary International Scientific Conference*; 2019; Athens. Athens: Saima consult; 2019. p. 33–41. DOI: <https://doi.org/10.32008/geolinks2019/b2/v1/04>.
23. Wasserman LA, Papakhin AA, Borodina ZM, Krivandin AV, Sergeev AI, Tarasov VF. Some physico-chemical and thermodynamic characteristics of maize starches hydrolyzed by glucoamylase. *Carbohydrate Polymers*. 2019;212:260–269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.01.096>.
24. Borodina ZM, Lukin ND, Papakhin AA, Gulakova VA. About enzymatic susceptibility of different starch types. *Food Industry*. 2019;(5):27–32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10067>.
25. Papakhin AA, Borodina ZM. About the properties of enzymatically modified corn porous starch. *Food Industry*. 2019;(4):78–79. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10039>.

Сведения об авторах

Папахин Александр Алексеевич

канд. техн. наук, заведующий лабораторией, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов, 140051, Россия, Московская обл., Красково, ул. Некрасова, 11, тел.: +7 (495) 557-15-00, e-mail: vniik@arrisp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1178-8254>

Колпакова Валентина Васильевна

д-р техн. наук, профессор, заведующая отделом, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов, 140051, Россия, Московская обл., Красково, ул. Некрасова, 11, тел.: +7 (495) 557-15-00, e-mail: vniik@arrisp.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7288-8569>

Бородина Зинаида Михайловна

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов, 140051, Россия, Московская обл., Красково, ул. Некрасова, 11, тел.: +7 (495) 557-15-00, e-mail: vniik@arrisp.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9636-1537>

Сарджвеладзе Аслан Сергеевич

старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов, 140051, Россия, Московская обл., Красково, ул. Некрасова, 11, тел.: +7 (495) 557-15-00, e-mail: vniik@arrisp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4611-3847>

Васильев Илья Юрьевич

преподаватель, ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», 107023, Россия, г. Москва, ул. Большая Семеновская, 38, тел.: +7 (999) 713-58-66, e-mail: iljanaras@ya.ru

Information about the authors

Aleksandr A. Papakhin

Cand.Sci.(Eng.), Head of the Laboratory, All-Russian Research Institute of Starch Products, 11, Nekrasova Str., Kraskovo, Moscow region, 140051, Russia, phone: +7 (495) 557-15-00, e-mail: vniik@arrisp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1178-8254>

Valentina V. Kolpakova

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Head of the Department, All-Russian Research Institute of Starch Products, 11, Nekrasova Str., Kraskovo, Moscow region, 140051, Russia, phone: +7 (495) 557-15-00, e-mail: vniik@arrisp.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7288-8569>

Zinaida M. Borodina

Cand.Sci.(Eng.), Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Starch Products, 11, Nekrasova Str., Kraskovo, Moscow region, 140051, Russia, phone: +7 (495) 557-15-00, e-mail: vniik@arrisp.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9636-1537>

Aslan S. Sardzhveladze

Senior Researcher, All-Russian Research Institute of Starch Products, 11, Nekrasova Str., Kraskovo, Moscow region, 140051, Russia, phone: +7 (495) 557-15-00, e-mail: vniik@arrisp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4611-3847>

Илья Yu. Vasiliev

Teacher, Moscow Polytechnic University, 38, Bolshaya Semyonovskaya Str., Moscow, 107023, Russia, phone: +7 (999) 713-58-66, e-mail: iljanaras@ya.ru

Гармонизация стандартов Евразийского экономического союза на плодоовощную продукцию как средство интегрированной торговли мирового экономического пространства

Н. В. Московенко^{1,*}, С. А. Тихонов¹, Н. В. Тихонова¹, А. А. Муратов²



¹ ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»,

620000, Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45

² АО «Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина»,

010000, Республика Казахстан, г. Нур-Султан, пр. Женис, 62

Дата поступления в редакцию: 21.09.2020

Дата принятия в печать: 30.09.2020

*e-mail: mik_ml@mail.ru



© Н. В. Московенко, С. А. Тихонов, Н. В. Тихонова, А. А. Муратов, 2020

Аннотация.

Введение. Развитие гармонизированной системы нормативно-технического регулирования сбыта плодов и овощей позволит облегчить экспорт сельскохозяйственной продукции. Целью работы является разработка проектов гармонизированных стандартов в области регулирования сбыта и контроля качества плодоовощной продукции, включая органической, участвующей во внешней торговле Евразийского экономического союза (ЕАЭС).

Объекты и методы исследования. Проекты стандартов, содержащие требования к качеству пищевой продукции после подготовки и упаковки, допуску по качеству, классификации, допуску по размерам, требованиям к маркировке и упаковке, показателям безопасности, программам по разработке межгосударственных стандартов к техническим регламентам и объектам технического регулирования. В качестве объектов технического регулирования выбраны свежие плоды и овощи. Методами исследований являются методы сравнения, анализа и синтеза, экспертной оценки, комплексной стандартизации и системного анализа.

Результаты и их обсуждение. В работе приведен аналитический обзор мирового экспорта плодоовощной продукции Евразийского экономического союза, по итогам которого выявлено, что экспорт овощей и фруктов ЕАЭС в третьи страны имеет положительную динамику роста, экспорт овощей в количественном отношении вырос на 19,3 %, фруктов – на 3,6 % по сравнению 2018. Рассмотрена структура проектов стандартов, их основные задачи, преимущества перед аналогами, представлена подробная характеристика проектов стандартов, в которых прописаны требования к качеству продуктов, их товарной подготовки и упаковывания, а также требования к продукту на стадиях после отправки на экспорт. В стандарте, регулирующем технические условия к свежим овощам и фруктам, описываются требования к зрелости. Разработанные стандарты включают в себя положения, касающиеся калибровки. Даны четкие рекомендации построения и содержания маркировки. В предложенных стандартах вводятся гигиенические требования и требования к контаминантам. Разработанные проекты стандартов направлены на регламентацию сбыта и контроля торгового качества свежих плодов и овощей, включая плодоовощную продукцию органического производства.

Выводы. Разработанные проекты международных стандартов на свежие плоды и овощи, включая органические, помогут в наращивании объемов внешней торговли плодоовощной продукции ЕАЭС за счет уменьшения процессуальных и документальных барьеров при выходе на мировой рынок.

Ключевые слова. Продовольственная безопасность, стандарты, технические условия, плодоовощная продукция

Для цитирования: Гармонизация стандартов Евразийского экономического союза на плодоовощную продукцию как средство интегрированной торговли мирового экономического пространства / Н. В. Московенко, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 3. – С. 559–574. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-559-574>.

Original article

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

Unified Standards of the Eurasian Economic Union for Fruit and Vegetable Products as a Means of Integrated Trade in the Global Economic Environment

Nadezhda V. Moskovento^{1,*}, Sergei L. Tikhonov¹,
Natalia V. Tikhonova¹, Askar A. Muratov²

Received: September 21, 2020

Accepted: September 30, 2020

*e-mail: mik_ml@mail.ru



© N.V. Moskovenko, S.L. Tikhonov, N.V. Tikhonova, A.A. Muratov, 2020

Abstract:

Introduction. A unified system of normative and technical regulation can facilitate export of fruit and vegetables. The research objective was to develop a draft of unified standards for marketing regulation and quality control of fruit and vegetable products that participate in foreign trade in the Eurasian Economic Union (EAEU).

Study objects and methods. The study featured draft standards for quality of prepared and packaged food products, classification, size, labeling, packaging, safety indicators, etc. The research also included development programs of interstate standards for technical regulations and objects of technical regulation, i.e. fresh fruit and vegetables. Research methods involved comparison, analysis, synthesis, peer review, comprehensive standardization, and system analysis.

Results and its discussion. The present article provides an analytical review of the world export of fruit and vegetables by EAEU countries. Export to third countries demonstrated a positive growth trend: the export of vegetables increased by 19.3% and that of fruit – by 3.6%, in comparison with 2018. The paper focuses on the structure of the drafts, their main tasks and advantages. It gives a detailed description of drafts that regulate pre-export standards (quality, commodity procedures, packaging, etc.), as well as post-export requirements. The authors developed standards that specify maturity, calibration, labeling, hygienic requirements, contaminants, etc. The draft standards may help to regulate the sale and control of the commercial quality of fresh fruit and vegetables, including organic products.

Conclusion. The new international standards for fresh fruit and vegetables, including organic products, will reduce procedural and documentary barriers between the EAEU and the world market, thus increasing the volume of foreign trade in fruit and vegetables.

Keywords. Food safety, standards, technical conditions, fruits and vegetables

For citation: Moskovenko NV, Tikhonov SL, Tikhonova NV, Muratov AA. Unified Standards of the Eurasian Economic Union for Fruit and Vegetable Products as a Means of Integrated Trade in the Global Economic Environment. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):559–574. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-559-574>.

Введение

Согласно положениям Договора Евразийского экономического союза (ЕАЭС) и Концепции согласованной политики государств-членов в области агропромышленного комплекса необходимо развивать межгосударственное взаимодействие для полноценного функционирования мирового рынка сельскохозяйственной продукции. Обеспечение продовольственной безопасности является одной из ключевых миссий мирового сельского хозяйства [1–5]. Ускорение темпов урбанизации, дефорестации, гидроэнергетики, аграрной экспансии, химической мелиорации и других антропогенных вмешательств приводит к необходимости создания безопасной сельскохозяйственной продукции [6–8].

Сельскохозяйственная продукция выступает как объект международной торговли, а мировой рынок является средством стабилизации перераспределения сельскохозяйственной продукции из регионов, где возможно выращивание тех или иных продуктов, в регионы, где это невозможно из-за неблагоприятных климатических или иных условий [9, 10]. Обеспечение безбарьерной международной торговли возможно при гармоничном техническом регулировании сбыта и контроля качества продуктов. Это способствовало бы производству качественных и безопасных товаров, защите потребителей от

недобросовестных участников торговли, повышению рентабельности агропромышленных предприятий, упрощению прохождения таможенного контроля. В связи с этим необходима гармонизация нормативных документов, которые участвуют в международном товарообмене плодоовощной продукции.

Страны-члены ЕАЭС участвуют как во внутренней торговле между собой, так и во внешней с третьими странами. В 2019 г. экспорт овощей ЕАЭС составил в денежном отношении \$692 764 278, что на 19,3 % больше по сравнению с 2018 г. Экспорт фруктов составил \$98 501 995, что на 3,6 % больше, чем в 2018 г. Доля экспорта овощей в общем объеме экспорта составила 0,105 %, а экспорта фруктов – 0,02 %. Импорт свежих овощей в 2019 году составил \$1 954 730 324, что на 5,8 % меньше, по сравнению с предыдущим годом, но в 2,8 раз превышает экспорт в денежном отношении. Импорт фруктов составил \$6 155 156 210, что на 0,6 % меньше, чем в 2018 г., но в 62 раза больше экспорта. Доля импорта свежих овощей в общем объеме импорта составила 0,71 %, фруктов – 2,24 %. Это один из наибольших показателей среди всех групп импортируемых товаров. Превышение доли импорта над экспортом объясняется тем, что производство фруктов и овощей на территории ЕАЭС зависит от сезонных климатических факторов. Очевидно, что необходимо

наращивать экспортный потенциал с целью сокращения зависимости от импорта [11–15]. Данные экспорта свежих овощей и фруктов ЕАЭС в третьи страны за 2013–2019 гг. представлены в таблице 1.

За последние семь лет экспорт свежих овощей увеличился в разы. Экспорт лука увеличился с 2013 по 2019 гг. в 9 раз и составил в 2019 г. 150,7 тонн; экспорт капусты увеличился в 144 раза и составил 14,6 тонн; экспорт моркови и других корнеплодов увеличился в 12,7 раза и составил 35,6 тонн; экспорт огурцов увеличился в 330 раз и составил в 2019 г. 13,1 тонн. Экспорт свежих фруктов также имеет положительную тенденцию роста. Так экспорт бананов вырос в 4,7 раза за 2013–2019 гг.; экспорт цитрусовых вырос в 11,1 раза; экспорт винограда – в 5,6 раза; экспорт яблок и груш и других семечковых фруктов – в 37,4 раза; экспорт косточковых фруктов – в 88 раз. Экспорт дынь и арбузов имеет неоднородную кривую развития экспорта: пик экспорта приходится на 2014–2015 гг., но к 2019 году экспорт сократился на 2,96 тонн и составил 32,16 тонн.

В 2013–2014 гг. основными странами, куда экспортировались товары из ЕАЭС, были страны постсоветского пространства. Агропромышленным предприятиям ЕАЭС попасть на мировой рынок было затруднительно в связи с неблагоприятной политической ситуацией и нарастающей конкуренцией. Чтобы повысить экспортный потенциал стран Евразийского экономического союза и создать каналы распределения экспортной продукции, необходимо было приложить много усилий, налаживая контакты с другими странами. В последние годы ЕАЭС поставляет свежие плоды и

овощи в страны Европейского Союза (ЕС): Бельгия, Швейцария, Германия, Италия, Нидерланды, Польша, Литва, Латвия, Франция, Финляндия, Австрия, Эстония и др. [16, 17]. Поэтому создание гармоничного правового регламентирования качества и безопасности сельскохозяйственной плодоовощной продукции является актуальным вопросом для предприятий, занимающихся внешней торговлей со странами ЕС.

Процедурные и правовые меры регулирования торговли активно решаются на данный момент внутри ЕАЭС, разрабатывается техническая и нормативная документация, регулирующая безбарьерное продвижение товаров между странами-участницами ЕАЭС. Однако отсутствие технического и нормативного регулирования экспорта и импорта продукции ЕАЭС в третьи страны создает определенные барьеры на пути развития международных торговых отношений.

Основными барьерами при экспорте и импорте овощей и фруктов являются:

- отсутствие нормативных документов, гармонизированных и унифицированных с международными стандартами;
- наличие в технических регламентах и стандартах ЕАЭС смягчающих требований к качеству и безопасности, которые ужесточены в других странах;
- отсутствие стандартов на некоторые виды плодоовощной продукции;
- наличие устаревших стандартов, не актуальных на данный момент;
- отсутствие общности классификации и калибровки плодов и овощей с аналогичными параметрами третьих стран;

Таблица 1. Экспорт свежих фруктов и овощей ЕАЭС в третьи страны в 2013–2019 гг., кг

Table 1. EAEU export of fresh fruit and vegetables to third countries in 2013–2019, kg

Овощи и фрукты	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Томаты	168 650	139 335	11 715 065	7 904 652	12 420 437	15 005 996	16 991 539
Лук репчатый, чеснок	16 707 139	29 649 111	63 309 955	102 222 419	86 058 349	80 227 521	150 746 511
Капуста	101 015	156 858	38 070 257	29 036 831	20 668 302	18 693 002	14 580 844
Салат-латук	60	40 502	54 942	38 352	45 337	88 648	223 142
Морковь, свекла и другие корнеплоды	2 795 125	1 932 861	22 751 591	38 136 506	29 055 932	39 793 315	35 617 102
Огурцы	39909	15 444	8 026 897	7 991 980	9 633 389	12 068 327	13 183 331
Овощи бобовые	7 208 937	695 520	7 071 021	1 415 452	792 575	749 591	528 683
Овощи прочие	10 188 919	6 304 422	22 423 212	23 176 329	23 889 963	21 411 056	23 829 669
Бананы	1 111 683	2 156 086	3 149 771	6 070 533	4 629 738	5 032 724	5 254 186
Финики, инжир, ананасы, авокадо	74 277	162 596	273 041	433 348	527 628	572 560	840 729
Цитрусовые плоды	1 228 859	1 679 669	6 484 374	10 063 292	10 374 909	12 793 341	13 683 841
Виноград	622 824	533 454	2 432 694	2 640 096	3 025 073	2 407 133	3 492 872
Дыни, арбузы и папайя	11 038 412	10 418 122	35 181 433	35 121 310	34 466 859	28 284 553	32 158 560
Яблоки, груши и айва	476 572	866 900	11 000 766	16 894 008	18 835 153	13 809 004	17 842 481
Абрикосы, вишня, черешня, персики, сливы и терн	45 012	72 311	3 593 799	2 940 682	3 594 398	4 374 822	3 984 331
Фрукты свежие прочие	882 825	409 757	3 228 303	3 777 750	3 287 725	3 947 564	4 273 884

- нехватка аккредитованных испытательных лабораторий, признанных на международном уровне;
- отсутствие или нехватка у предпринимателей материальных средств на продвижение, хранение, транспортировку плодоовощной продукции, прохождение таможенных и иных процедур [18, 19].

Для устойчивого развития экспортно-импортных связей отрасли плодо- и овощеводства и повышения конкурентоспособности овощных и плодовых культур необходима модернизация нормативно-технической базы с целью создания устойчивой среды для оптимального и рационального взаимодействия ЕАЭС с другими странами на мировом рынке. Развитие гармонизированной системы нормативно-технического регулирования сбыта плодов и овощей позволит облегчить экспорт сельскохозяйственной продукции. Такой подход к развитию рынка плодоовощной продукции ЕАЭС позволит внести важный вклад в формирование эффективной внешней агропродовольственной политики в части продовольственной безопасности и сохранения здоровья населения [20–22].

Целью работы является разработка проектов гармонизированных стандартов в области регулирования сбыта и контроля качества плодоовощной продукции, включая органическую, участвующую во внешней торговле ЕАЭС.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются проекты стандартов, содержащие требования к качеству свежих плодов и овощей после подготовки и упаковки, допуску по качеству, классификации, допуску по размерам, требованиям к маркировке и упаковке, показателям безопасности, программам по разработке межгосударственных стандартов к техническим регламентам и объектам технического регулирования. В качестве объектов технического регулирования выбраны свежие плоды и овощи, экспорт которых возрос за последние годы и покупателями которых являются страны Европейского союза.

Проекты стандартов разработаны на основе международных стандартов, касающихся сбыта и контроля товарного качества яблок (ЕЭК ООН FFV-50), столового винограда (ЕЭК ООН FFV-19), баклажана (ЕЭК ООН FFV-05), слив (ЕЭК ООН FFV-29), дынь (ЕЭК ООН FFV-23), кабачков (ЕЭК ООН FFV-2941), капусты (ЕЭК ООН FFV-09), лука (ЕЭК ООН FFV-25), моркови (ЕЭК ООН FFV-10), огурцов (ЕЭК ООН FFV-15), хурмы (ЕЭК ООН FFV-63) и арбузов (ЕЭК ООН FFV-37).

Положения проекта стандарта «Слива свежая. Технические условия» распространяется на сливы разновидностей (культурных сортов), полученные от *Prunus domestica* L. subsp. *domestica*, *Prunus domestica* subsp. *insititia* (L.), *Prunus domestica*

subsp. *italica* (Borkh.) Gams, *Prunus domestica* subsp. *syriaca* (Borkh.) Janch; *Prunus salicina* L. Также на межвидовые гибриды, производных от слив (*Prunus domestica* или *Prunus salicina*) и абрикосов (*Prunus armeniaca*), обладающих признаками, характерными для слив, поставляемые потребителям в свежем виде.

Положения проекта стандарта «Яблоки свежие. Технические условия» распространяется на яблоки культурных сортов *Malus domestica* Borkh., поставляемые потребителю в свежем виде.

Положения проекта стандарта «Виноград свежий. Технические условия» распространяется на столовый виноград рода *Vitis vinifera* L., который реализуется потребителям в свежем виде.

Положения проекта стандарта «Баклажаны свежие. Технические условия» распространяется на баклажаны разновидностей (культурных сортов), полученных от *Solanum melongena* L., поставляемые в свежем виде потребителю.

Положения проекта стандарта «Дыня свежая. Технические условия» распространяется на дыни разновидностей (культурных сортов), полученных от *Cucumis melo* L.

Положения проекта стандарта «Кабачки свежие. Технические условия» распространяется на разновидности (культурные сорта) кабачков, собранных в ранний период, когда они являются нежными, и до того, как их семена станут твердыми, полученных от *Cucurbita pepo* L. Zucchini Group, поставляемые потребителям в свежем виде.

Положения проекта стандарта «Капуста кочанная свежая. Технические условия» распространяется на кочанную капусту разновидностей (культурных сортов), полученных от *Brassica oleracea* var. *capitata* L. (включая краснокочанную капусту и коническую капусту) и *Brassica oleracea* var. *sabauda* L. (савойская капуста), поставляемую в свежем виде потребителю.

Положения проекта стандарта «Лук свежий. Технические условия» распространяется на репчатый лук разновидностей (культурных сортов), полученных от *Allium cepa* L. рода *Cepa*, поставляемый потребителю в натуральном виде. Зеленый лук с цельными перьями.

Положения проекта стандарта «Морковь свежая. Технические условия» распространяется на морковь разновидностей (культурных сортов) *Daucus carota* L., поставляемую потребителям в свежем виде.

Положения проекта стандарта «Огурцы свежие. Технические условия» распространяется на огурцы разновидностей (культурных сортов), полученных от *Cucumis sativus* L., поставляемые потребителям в свежем виде.

Положения проекта стандарта «Хурма свежая. Технические условия» распространяется на хурму разновидностей (культурных сортов), происходящих от *Diospyros kaki* L., поставляемую потребителям в свежем виде.

Положения проекта стандарта «Арбузы свежие. Технические условия» распространяется на арбузы разновидностей (культурных сортов), полученных от *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. et Nakai, поставляемые потребителям в свежем виде.

Настоящие стандарты не распространяются на сельскохозяйственную продукцию, предназначенную для промышленной переработки и для розничной торговли.

Методами исследований являются методы сравнения, анализа и синтеза, экспертной оценки, комплексной стандартизации и системного анализа.

Результаты и их обсуждение

Глобальная интеграция рынков сельскохозяйственной продукции диктует требования к укреплению адаптированной торговли между странами за счет внедрения унифицированных документов, регулирующих качество и безопасность продуктов питания. С целью поддержания торгово-экономических связей в 1947 году была создана Европейская экономическая комиссия Организации объединенных наций (ЕЭК ООН), участниками которой являются 56 стран, в том числе торговые партнеры ЕАЭС. ЕЭК ООН решает достаточно широкий спектр задач, затрагивающих не только

реализацию продукции, но и транспортировку, введение статистических данных, энергетические вопросы, устранение интеграционных барьеров, оснащение материально-технической базы и проблемы окружающей среды. Таким образом, ЕЭК ООН оказывает воздействие на народонаселение, качество его жизни и безопасность в общемировом масштабе. Рабочей группой ЕЭК ООН с целью создания комфортных условий интеграционной торговли были разработаны стандарты на сельскохозяйственную продукцию, включая свежие, сухие и сушеные фрукты и овощи, мясо, срезанные цветы, яйца и продукты из них.

Разработка и принятие международных стандартов ЕЭК ООН и ЕАЭС имеют ряд конструктивных отличий (рис. 1, 2).

Для обоснования и разработки стандартов качества сельскохозяйственной продукции ЕЭК ООН назначается рабочая группа, ответственная за подготовку проекта. При этом участие в группе могут принимать и негосударственные организации. Таким образом, разработка проекта стандарта происходит при взаимном консенсусе частного и государственного сектора. В ЕАЭС аналогичная ситуация: разработчиком стандартов может выступать коммерческая организация. Специальная

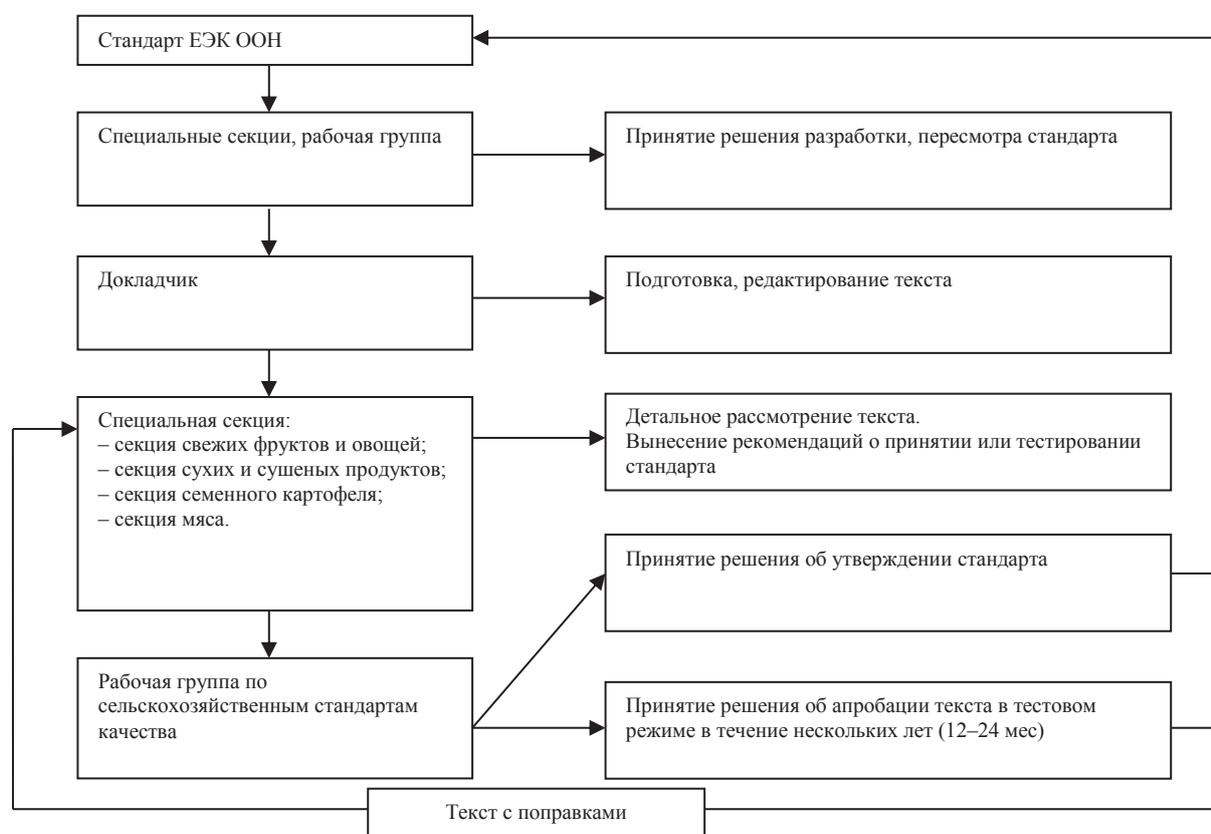


Рисунок 1. Схема разработки и принятия международных стандартов ЕЭК ООН

Figure 1. Development and adoption of UNECE international standards



Рисунок 2. Схема разработки и принятия межгосударственных стандартов ЕАЭС

Figure 2. Development and adoption of EAEU interstate standards

секция ЕЭК ООН детально рассматривает документ и выносит решение о его принятии или доработке. Если документ вызывает сомнения, то он может быть протестирован, что не практикуется в странах ЕАЭС. Рабочая группа по сельскохозяйственным стандартам качества принимает решения об утверждении стандарта или об апробации текста в тестовом режиме в течение нескольких лет. После доработки проекта он вновь рассматривается специальной секцией.

При разработке международного стандарта ЕАЭС разработчик совместно с органами по стандартизации и рабочей группой предоставляет в Федеральное агентство по техническому регулированию проект стандарта с обоснованием необходимости его утверждения. В случае его одобрения Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации принимает решения об утверждении стандарта. Далее, и это основное отличие порядков принятия международных стандартов ЕЭК ООН и ЕАЭС, в Коллегию Евразийской экономической комиссии направляется предложения государств-членов ЕАЭС о внесении изменений в перечень стандартов к техническим регламентам. Коллегия Евразийской экономической комиссии занимается подготовкой проекта решения и комплекта документов. Перечень стандартов выносится на публичное обсуждение, направляется

на метрологическую экспертизу и дорабатывается в случае необходимости. После этого проект решения рассматривает Консультативный комитет по техническому регулированию, применению санитарных и фитосанитарных мер. Комплект документов после правовой экспертизы приобретает свою окончательную форму и Коллегия Евразийской экономической комиссии принимает решение об утверждении изменения в перечень стандартов к техническому регламенту. Таким образом, разработка стандартов ЕАЭС может включать в себя два этапа: разработку самого стандарта и введение его в перечень стандартов к техническому регламенту, что увеличивает сроки и усложняет процедуру его принятия. Поэтому целесообразно для сокращения затрат на разработку нормативной документации и включение ее в технический регламент разрабатывать целый комплекс международных стандартов на плодоовощную продукцию, в том числе на фрукты и овощи органического производства [11, 20, 25–28].

Техническое регулирование является основой гармонизации интегрированной торговли между странами-членами Евразийского экономического союза. На данный момент на трансграничном пространстве существует ряд регламентов, регулирующих сбыт и контроль продовольственных товаров и сельскохозяйственного сырья, в том числе Технический регламент ЕАЭС «О безо-

пасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011), утвержденный решением Комиссии Таможенного Союза № 880 от 9 декабря 2011 года; Технический регламент ЕАЭС «О безопасности упаковки» (ТР ТС 005/2011); Технический регламент ЕАЭС «Пищевая продукция в части ее маркировки» (ТР ТС 022/2011). Нормативно-техническая документация в отношении регламентации контроля и сбыта ряда свежих плодов и овощей, действующая на территориях стран Евразийского экономического союза, представлена в таблице 2.

Существующие стандарты касаются регламентации ряда фруктов и овощей либо в отношении промышленной переработки, либо в отношении их реализации в розничные торговые предприятия. Нормативные документы в отношении экспортного сбыта ЕАЭС в третьи страны и контроля качества импортируемой ЕАЭС из третьих стран плодоовощной продукции отсутствуют. Также отсутствуют документы, регламентирующие сбыт и контроль торгового качества органической плодоовощной продукции. Совместно с Техническим комитетом по стандартизации ТК 44 «Технолог» и Международным техническим комитетом по стандартизации МТК 534 были разработаны проекты стандартов, регулирующих сбыт и контроль качества плодоовощной продукции, включая органическую, участвующую в мировой торговле. А именно проекты стандартов:

– «Арбузы свежие. Технические условия»;

- «Баклажаны свежие. Технические условия»;
- «Виноград свежий. Технические условия»;
- «Дыня свежая. Технические условия»;
- «Кабачки свежие. Технические условия»;
- «Капуста кочанная свежая. Технические условия»;
- «Лук свежий. Технические условия»;
- «Морковь свежая. Технические условия»;
- «Огурцы свежие. Технические условия»;
- «Сливы свежие. Технические условия»;
- «Хурма свежая. Технические условия»;
- «Яблоки свежие. Технические условия».

Проекты стандартов определяют требования к качеству свежих фруктов и овощей, включая органических, после подготовки и упаковки, допуску по качеству, классификации, допуску по размерам, требованиям к маркировке и упаковке, контаминантам и гигиенические требования. Основными задачами разработанных стандартов являются:

- защита здоровья потребителей;
- уменьшение роста издержек агроперерабатывающих предприятий и потребителей на изучение продукции;
- сбор информации и ведение переговоров;
- защита добросовестной практики торговли сельскохозяйственной продукцией.

Стандарты, действующие на территории ЕАЭС, и разработанные проекты международных стандартов различаются по своей структуре. Структура действующих стандартов ЕАЭС и проектов стандартов на основе международных стандартов ЕЭК ООН представлена на рисунках 3 и 4.

Таблица 2. Нормативно-техническая документация в отношении регламентации контроля и сбыта ряда свежих плодов и овощей, действующая на территориях стран Евразийского экономического союза

Table 2. Normative and technical documentation that regulate control and sale of some fresh fruit and vegetables in the Eurasian Economic Union

Объекты технического регулирования	Нормативные документы, действующие на территории ЕАЭС
Баклажаны свежие	ГОСТ 31821-2012. Баклажаны свежие, реализуемые в розничной торговле. Технические условия ГОСТ Р 56822-2015. Баклажаны свежие для промышленной переработки. Технические условия
Виноград свежий	ГОСТ 32786-2014. Виноград столовый свежий. Технические условия ГОСТ 31782-2012. Виноград свежий машинной и ручной уборки для промышленной переработки. Технические условия
Кабачки свежие	ГОСТ Р 56565-2015. Кабачки свежие для промышленной переработки. Технические условия ГОСТ 31822-2012. Кабачки свежие, реализуемые в розничной торговле. Технические условия
Капуста белокочанная свежая	ГОСТ Р 51809-2001. Капуста белокочанная свежая, реализуемая в розничной торговой сети. Технические условия ГОСТ 33494-2015. Капуста белокочанная свежая для промышленной переработки. Технические условия
Морковь свежая	ГОСТ 32284-2013. Морковь столовая свежая, реализуемая в торговой розничной сети. Технические условия ГОСТ 33540-2015. Морковь столовая свежая для промышленной переработки. Технические условия
Огурцы свежие	ГОСТ 33932-2016. Огурцы свежие, реализуемые в розничной торговле. Технические условия ГОСТ 1726-2019. Огурцы свежие для промышленной переработки. Технические условия
Слива свежая	ГОСТ 21920-2015. Слива свежая для промышленной переработки. Технические условия ГОСТ 32286-2013. Сливы, реализуемые в розничной торговле. Технические условия
Хурма свежая	Отсутствуют
Яблоки свежие	ГОСТ 34314-2017. Яблоки свежие, реализуемые в розничной торговле. Технические условия ГОСТ 27572-2017. Яблоки свежие для промышленной переработки. Технические условия

Сравнительный анализ действующих межгосударственных стандартов и разработанных проектов международных стандартов, регламентирующих контроль качества и сбыт свежих плодов и овощей, включая органических, показал, что стандарты включают в свои разделы основные требования, связанные с качеством, классификацией, упаковкой и маркировкой. Однако в действующих стандартах, в отличие от разработанных, могут отсутствовать требования к калибровке, полностью отсутствуют требования к содержанию контаминантов и гигиенические требования, что является важным критерием оценки безопасности продукции. Требования к качеству в разработанных

стандартах прописаны в положениях, касающихся качества, и положениях, касающихся допусков. В действующих стандартах требования к качеству продукции прописаны в технических требованиях. Такие разделы, как «правила приемки», «нормативные ссылки», «термины и определения», «транспортирование и хранение» в проектах стандартов отсутствуют, так как они прописаны в других международных стандартах. Область применения, указанная в действующих стандартах, в разработанных проектах имеет другое наименование – «определение продукта». Разработанные проекты имеют структуру близкую к структуре международных стандартов. Это позволяет

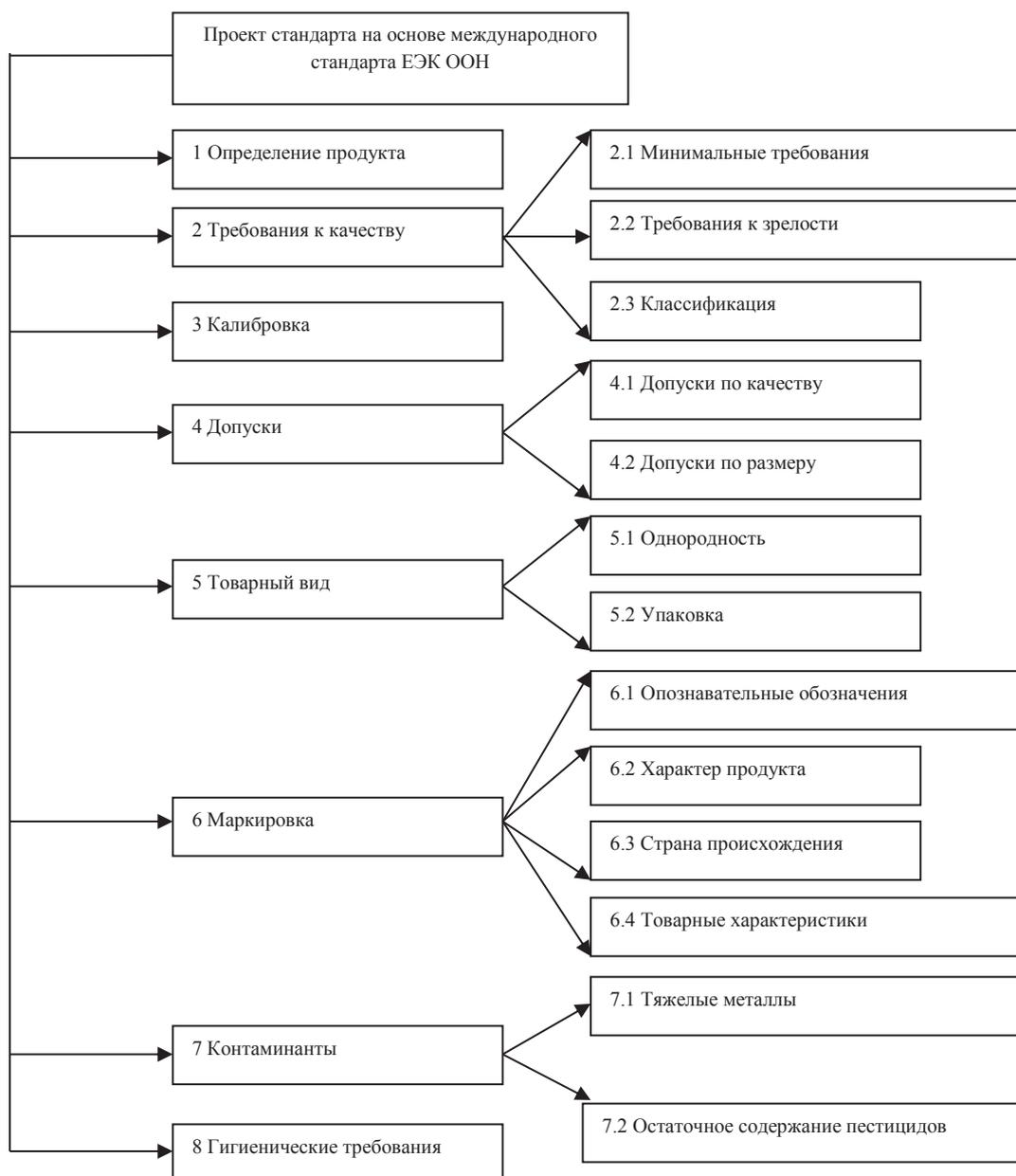


Рисунок 3. Структура проекта стандарта на основе международного стандарта ЕЭК ООН

Figure 3. Structure of the draft standard based on the UNECE international standard



Рисунок 4. Структура проекта стандарта на основе международного стандарта ЕАЭС

Figure 4. Structure of the draft standard based on the EAEU international standard

предприятиям, занимающимся сбытом и закупкой плодоовощной продукции, быстрее адаптироваться к требованиям международного рынка, не выстраивая параллелей между действующими внутри ЕАЭС и международными стандартами, а четко анализировать поставленные требования к качеству, упаковке, маркировке и безопасности экспортируемой и импортируемой плодоовощной продукции, включая органическую.

Более подробная сравнительная характеристика ряда разработанных проектов стандартов и действующих межгосударственных стандартов приведена в таблице 3. В качестве объекта сравнения выбраны действующие модифицированные по отношению к стандарту UNECE STANDARD стандарты на плодоовощную продукцию, реализуемую в розничной торговле.

В разработанных стандартах требования к качеству продуктов прописаны относительно каждого сорта. В стандартах указываются минимальные требования к качеству продуктов после товарной подготовки и упаковывания. Также учитываются изменения требований к продукту на стадиях после отправки на экспорт.

В стандарте, регулирующем технические условия к свежим овощам и фруктам, описываются

требования к зрелости. Фрукты и овощи должны быть достаточно развитыми и иметь удовлетворительную степень спелости. С целью определения спелости в стандартах рекомендуется использование морфологического аспекта, вкуса, твердости и рефрактометрического индекса.

Стандарты включают в себя положения, касающиеся калибровки. Каждый размер указывается относительно определенного сорта.

На всех этапах реализации в каждой партии допускается наличие продукции, не отвечающей установленным для указанного сорта требованиям в отношении качества и размеров. Поэтому в стандартах имеется пункт «допуски», который подразделяется на подпункты «допуски по качеству» и «допуски по размеру». Для каждого сорта установлены свои допуски по качеству в количественном эквиваленте. Допуски по размеру затрагивают отклонения от калибровки. Допуски по размеру винограда заменены на допуски по весу виноградной грозди.

Одним из требований к свежим плодам и овощам является товарный вид, который включает в себя однородность и упаковку. Однородность предполагает, что содержимое упаковки должно быть однородным, каждая упаковка должна содержать

Таблица 3. Сравнительная характеристика ряда проектов стандартов на сельскохозяйственную продукцию на основе международных стандартов ЕЭК ООН и действующих межгосударственных стандартов ЕАЭС

Table 3. Draft standards for agricultural products based on the UNECE international standards vs. current EAEU interstate standards

Требования к содержанию стандартов (согласно ГОСТ 1.5-2001)	Действующие стандарты Проекты стандартов	Наименование проектов стандартов			
		«Морковь свежая. Технические условия»	«Баклажаны свежие. Технические условия»	«Яблоки свежие. Технические условия»	«Виноград свежий. Технические условия»
1	2	3	4	5	6
Область применения	Действующие стандарты	Описаны объекты технического регулирования, определена цель стандарта			
	Проекты стандартов	Описаны объекты технического регулирования			
Нормативные ссылки	Действующие стандарты	Указаны			
	Проекты стандартов	Отсутствуют			
Термины и определения	Действующие стандарты	Указаны			
	Проекты стандартов	Отсутствуют			
Классификация	Действующие стандарты	Морковь подразделяется на три сорта: высший, первый, второй	Баклажаны подразделяются на два сорта: первый, второй	Яблоки подразделяются на три сорта: высший, первый, второй	Столовый виноград подразделяется на три сорта: высший, первый, второй
	Проекты стандартов	Морковь подразделяется на три сорта: высший, первый, второй	Баклажаны подразделяются на три сорта: высший, первый, второй	Яблоки подразделяются на три сорта: высший, первый, второй	Виноград подразделяется на три сорта: высший, первый, второй
Требования к качеству	Действующие стандарты	Установлены требования и нормы к качеству плодов и овощей по определенным показателям в виде таблицы			
	Проекты стандартов	Установлены требования к качеству на стадии экспортного контроля, подготовки и упаковки, указаны возможные изменения к требованиям после отправки на экспорт			
Требования к зрелости	Действующие стандарты	Отсутствуют			
	Проекты стандартов	Степень развития и зрелости должна быть такой, которая бы позволили продолжить процесс созревания и достичь удовлетворительной степени спелости	Степень развития и зрелости должна быть такой, которая бы позволили продолжить процесс созревания и достичь удовлетворительной степени спелости.	Степень развития и зрелости яблок должны быть такими, которые бы позволили им продолжить процесс созревания и достичь удовлетворительной степени спелости. Степень зрелости определяется по рефрактометрическому индексу, морфологическому аспекту, вкусу, твердости	Столовый виноград должен быть достаточно развитым и спелым. Зрелость винограда определяется по рефрактометрическому индексу
Калибровка	Действующие стандарты	Отсутствует	Калибровку баклажанов проводят по наибольшему поперечному диаметру или по массе	Калибровку свежих яблок проводят по наибольшему поперечному диаметру или массе плода.	Отсутствует
	Проекты стандартов	Калибровка производится по максимальному диаметру или весу моркови без ботвы	Калибровка производится по максимальному диаметру на продольной оси; или по весу; или по количеству	Калибровка производится по диаметру максимального поперечного сечения или по весу яблок.	Калибровка производится по весу виноградной грозди
Однородность	Действующие стандарты	Отсутствует			
	Проекты стандартов	Содержимое каждой упаковки должно быть однородным, каждая упаковка должна содержать фрукты и овощи одного происхождения, разновидности или товарного типа, качества и размера, одинаковой степени развития и зрелости, а также в значительной мере одинакового цвета			
Упаковка	Действующие стандарты	Свежие плоды и овощи должны быть упакованы таким образом, чтобы обеспечивалась их надлежащая сохранность и безопасность			
	Проекты стандартов	Указаны требования к сохранности продукта и безопасности упаковки и способам нанесения маркировки			

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6
Маркировка	Действующие стандарты	Маркировка должна соответствовать ТР ТС 022/2011			
	Проекты стандартов	На маркировке должны быть указаны: опознавательные обозначения; характер продукта; происхождение продукта; товарные характеристики			
Правила приемки	Действующие стандарты	Установлены			
	Проекты стандартов	Отсутствуют			
Методы контроля	Действующие стандарты	Установлены			
	Проекты стандартов	Отсутствуют			
Транспортирование и хранение	Действующие стандарты	Установлены			
	Проекты стандартов	Отсутствуют			
Допуски по качеству и размеру	Действующие стандарты	Отсутствуют			
	Проекты стандартов	Установлены			
Контаминанты	Действующие стандарты	Содержание токсичных элементов, микотоксинов, пестицидов, радионуклидов, микробиологические показатели не должны превышать норм, установленных нормативными правовыми актами государства, принявшего стандарт			
	Проекты стандартов	Содержание тяжелых металлов и пестицидов не должно превышать максимального уровня, установленного Комиссией «Кодекс Алиментариус»			
Гигиенические требования	Действующие стандарты	Отсутствуют			
	Проекты стандартов	Установлены			

плоды и овощи одного и того же происхождения, разновидности, качества и размера (в случае калибровки), а также одинаковой степени зрелости. В некоторых случаях требование однородности распространяется на окраску. Требования к упаковке ориентированы на сохранность продукта, безопасность упаковочных материалов, а также способов нанесения маркировки.

В проектах стандартов даны четкие рекомендации построения и содержания маркировки. На каждой упаковке понятным и нестираемым шрифтом должны наноситься следующие данные, сгруппированные на одной стороне и видимые снаружи: опознавательные обозначения (адрес, наименование, код отправителя и/или упаковщика), характер продукта (товарный вид, разновидность), происхождение продукта, товарные характеристики (сорт, размер, количество/вес).

В разработанных стандартах, в отличие от действующих, отсутствуют нормативные ссылки на стандарты, действующие внутри страны. Это обосновано тем, что государственные стандарты не отвечают международным требованиям стандартов ЕЭК ООН. Присутствие нормативных ссылок может ввести в заблуждение потенциальных пользователей данной нормативной документации. Так в разработанных стандартах приведена международная классификация продукции. Она может отличаться от той, которая представлена в межгосударственных

стандартах ЕАЭС. Международная классификация позволяет более точно идентифицировать продукцию, реализуемую на международном рынке. Термины и определения не представлены в разработанных стандартах, т. к. они прописаны в глоссарии терминов, используемых в стандартах ЕЭК ООН на свежие фрукты и овощи (2016). Правила приемки и контроля, требования к транспортированию и хранению также отсутствуют в разработанных стандартах, т. к. необходимо учитывать материально-техническое развитие и инфраструктуру конкретных регионов, куда поставляется продукция.

В разработанных стандартах, в отличие от действующих, вводятся гигиенические требования и требования к контаминантам – нежелательным биологическим веществам, химическим соединениям, радионуклидам, присутствие которых в пищевых продуктах может оказывать отрицательное воздействие на организм и нести угрозу для здоровья и жизни человека. Содержание тяжелых металлов и пестицидов не должно превышать максимального уровня, установленного Комиссией «Кодекс Алиментариус». Гигиенические требования к свежим плодам и овощам должны соответствовать «Рекомендуемым международным техническим нормам и правилам. Общим принципам гигиены пищевых продуктов (CAC/RCP 1-1969, Rev. 4-2003)», «Гигиеническим нормам и правилам для свежих фруктов и овощей (CAC/RCP 53-2003)», «Принципам

установления и применения микробиологических критериев для пищевых продуктов (CAC/GL 21-1997)».

Можно выделить основные отличия проектов международных стандартов от действующих стандартов:

- в действующих стандартах отсутствуют требования к зрелости, гигиенические требования, допуски по качеству и размеру, калибровка (выборочно);
- в действующих стандартах указаны требования к упаковке и маркировке, которые регламентируются стандартами, действующими на территории ЕАЭС. При этом не учитываются требования международного уровня;
- в действующих стандартах требования к загрязнителям установлены нормативными правовыми актами ЕАЭС, которые отличаются от требований международных стандартов. Эти требования менее жесткие, что может создать дополнительные барьеры при экспорте плодоовощной продукции;
- в разработанных проектах стандартов отсутствуют правила приемки, методы контроля, требования к транспортированию и хранению. Данные требования могут отличаться в разных странах и регионах с учетом развития их материально-технической оснащенности;
- в разработанных проектах стандартов вводятся допуски по качеству и размеру, которые предусматривают возможности возникновения рисков, связанных с естественным ухудшением свежих плодов и овощей с течением времени. Это является важным критерием для производителей и поставщиков плодоовощной продукции;
- в разработанных стандартах учитываются требования к показателям безопасности продукта (требования к загрязнителям, гигиенические требования);
- разработанные проекты стандарты направлены на регламентацию сбыта и контроля торгового качества свежих плодов и овощей, включая плодоовощную продукцию органического производства.

Все стандарты отвечают общим требованиям, предъявляемым к нормативным документам, а именно адекватностью, однозначностью, простотой, понятностью, доступностью, достаточностью, актуальностью, полнотой, достоверностью и содержательностью.

Основными преимуществами разработанных нормативных документов является упрощение системы сбыта между странами, улучшение менеджмента производства, повышение качества и безопасности товара, сокращение сроков

транспортировки и реализации продукции, регламентирование сбыта органической продукции. При этом стандарты ориентированы на защиту интересов потребителей. Комплекс стандартов рассчитан на обширный круг пользователей: производителей, торговые организации, импортеров, экспортеров, другие международные организации, занимающиеся реализацией и сбытом плодоовощной продукции.

Выводы

Были разработаны проекты стандартов, которые отвечают требованиям, предъявляемым в Технических регламентах Таможенного союза ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки», ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки». Потенциальными пользователями данных стандартов могут быть организации по выращиванию и сбыту плодов. В дальнейшем данные стандарты могут быть предложены в качестве взаимосвязанных стандартов с принятым техническим регламентом ЕАЭС «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011), утвержденный решением Комиссией Таможенного Союза № 880 от 9 декабря 2011 года.

Каждый стандарт актуализирован и адаптирован к требованиям международной торговли сельскохозяйственной продукцией. Разработанные проекты стандартов позволят увеличить объемы торговли за счет выхода на мировой аграрный рынок. Это будет способствовать расширению производства конкурентоспособной продукции, обеспечению продовольственной безопасности в Евразийском регионе и встраиванию аграрного сектора экономики государств-членов в мировую хозяйственную систему.

Критерии авторства

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors equally contributed to the research and manuscript

Conflicts of interest

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

Список литературы

1. Аганбегян, А. Г. Сельское хозяйство – локомотив социально-экономического роста России / А. Г. Аганбегян // Эко. – 2017. – Т. 515, № 5. – С. 5–22.

2. Варганова, М. Л. Агропромышленный комплекс: проблемы социально-экономической модернизации / М. Л. Варганова // Социальная политика и социология. – 2017. – Т. 16, № 3 (122). – С. 20–28. DOI: <https://doi.org/10.17922/2071-3665-2017-16-3-20-28>.
3. *Agricultural and Food Economics: the challenge of sustainability* / G. Brunori, G. Branca, L. Cembalo [et al.] // *Agricultural and Food Economics*. – 2020. – Vol. 8, № 12. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40100-020-00156-2>.
4. Kini, J. Organic vegetables demand in urban area using a count outcome model: case study of Burkina Faso / J. Kini, N. Pouw, J. Gupta // *Agricultural and Food Economics*. – 2020. – Vol. 8, № 22. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40100-020-00166-0>.
5. Institutional barriers to organic farming in Central and Eastern European countries of the Baltic Sea region / M. Larsson, L. Morin, T. Hahn [et al.] // *Agricultural and Food Economics*. – 2013. – Vol. 1, № 5. DOI: <https://doi.org/10.1186/2193-7532-1-5>.
6. Matthews, A. Agricultural structures and performance in the candidate countries [Internet]. – Available from: <https://econserv2.bess.tcd.ie/amththews/FoodCourse/LectureTopics/EasternEnlargement/Lecture23.htm>. – Date of application: 20.08.2020.
7. Куликов, И. М. Продовольственная безопасность в сфере производства и потребления плодоовощной продукции / И. М. Куликов, И. А. Минаков // АПК: Экономика, управление. – 2016. – № 2. – С. 4–16.
8. Kawecka-Wyrzykowska, E. The Accession of Central European Countries to the European Union: The trade and investment effects on Belarus, the Russian Federation and Ukraine / E. Kawecka-Wyrzykowska, D. Rosati // *UNECE Discussion Paper Series*. – 2003. – № 1. – 54 p.
9. Маслова, В. В. Экономические аспекты формирования Евразийского экономического союза в аграрной сфере / В. В. Маслова // *Экономика сельского хозяйства России*. – 2015. – № 7. – С. 89–95.
10. Бубен, С. Б. Международная деятельность евразийской экономической комиссии в сфере АПК / С. Б. Бубен, Е. Г. Аверьянова // *Торговая политика*. – 2019. – Т. 18, № 2. – С. 25–38.
11. Обзор государственной политики в сфере агропромышленного комплекса государств – членов Евразийского экономического союза за 2012–2018 годы. – М. : Департамент агропромышленной политики Евразийской экономической комиссии, 2018. – 104 с.
12. Ушачев, И. Г. Импортзамещение в аграрном секторе стран Евразийского экономического союза: проблемы и решения / И. Г. Ушачев // Развитие торговли и обеспечение продовольственной безопасности в условиях монополизации каналов сбыта: задачи бизнеса и власти : Материалы Международной научно-практической конференции / Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства. – М., 2017. – С. 236–244.
13. Ушачев, И. Г. Экономические проблемы импортзамещения в условиях научно-технологического развития АПК России / И. Г. Ушачев, В. В. Маслова, В. С. Чекалин // АПК: Экономика, управление. – 2017. – № 11. – С. 4–11.
14. Тамбиев, А. Х. Маркетинговое исследование по выявлению специфики и емкости российского рынка органических продуктов / А. Х. Тамбиев // *Международный сельскохозяйственный журнал*. – 2019. – № 1. – С. 59–62. DOI: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2019-11016>.
15. Темирбекова, А. Б. Проблемы производства и потребления продовольственных товаров и пути их решения в странах ЕАЭС / А. Б. Темирбекова, Е. Б. Темирбек, Ж. Н. Шалкеева // *Вестник Кыргызского университета*. – 2014. – С. 6–10.
16. Аганбегян, А. Г. На пути к цивилизованному рынку / А. Г. Аганбегян // *Вестник Института экономики Российской академии наук*. – 2018. – № 1. – С. 7–26.
17. Варганова, М. Л. Прогнозирование роста производства сельхозпродукции и увеличение внутреннего спроса в условиях импортзамещения / М. Л. Варганова // *Российское предпринимательство*. – 2018. – Т. 19, № 6. – С. 1803–1824. DOI: <https://doi.org/10.18334/rp.19.6.39243>.
18. Contini, C. Multi-actor approaches to implement cooperative strategies and value chains based on sustainability / C. Contini, G. Marotta, V. Torquati // *Agricultural and Food Economics*. – 2020. – Vol. 8, № 7. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40100-019-0147-3>.
19. Bar, T. Choosing certifiers: evidence from the British retail consortium food safety standard / T. Bar, Y. Zheng // *American Journal of Agricultural Economics*. – 2019. – Vol. 101, № 1. – P. 74–88. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajae/aay024>.
20. Костылева, О. Ф. Стандарты качества ЕЭК ООН в странах СНГ / О. Ф. Костылева // *Стандарты и качество*. – 2011. – № 1. – С. 48–50.
21. Нарынбаева, А. С. Перспективные направления развития единого аграрного рынка ЕАЭС / А. С. Нарынбаева, М. И. Сигарев // *Вестник НГУЭУ*. – 2018. – № 3. – С. 194–207.
22. Подбиралина, Г. В. Основные направления внешнеторгового сотрудничества стран Евразийского экономического союза / Г. В. Подбиралина // *Международная торговля и торговая политика*. – 2016. – Т. 5, № 1. – С. 15–26.
23. Mohammed, R. International diffusion of food safety standards: the role of domestic certifiers and international trade / R. Mohammed, Y. Zheng // *Journal of Agricultural and Applied Economics*. – 2017. – Vol. 49, № 2. – P. 296–322. DOI: <https://doi.org/10.1017/aae.2017.2>.
24. Договор о Евразийском экономическом союзе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.eaeunion.org/sites/storage0/Lists/Documents/a089f4c6-02da-4461-b033-3f5d122e0020/e57db9f2-9589-4b26-be1e-b1a43862c6ed_635375701449140007.pdf. – Дата обращения: 20.08.2020.

25. Подписан Меморандум о взаимопонимании между Евразийской экономической комиссией и Министерством сельского хозяйства Венгрии о сотрудничестве в области агропромышленного комплекса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eurasiancommission.org/ru/nae/news/Pages/27-09-2016-5.aspx>. – Дата обращения: 20.08.2020.
26. Упрощение процедур торговли сельскохозяйственными товарами с не присоединяющимися к Европейскому союзу странами после его расширения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.unecsc.org > fileadmin > DAM > trade > ctied8](http://www.unecsc.org/fileadmin/DAM/trade/ctied8). – Дата обращения: 20.08.2020.
27. Протокол о продлении срока применения Меморандума о взаимопонимании между Евразийской экономической комиссией и Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.eurasiancommission.org/ru/act/prom_i_agroprom/dep_agroprom/international/Documents/Протокол%20ЕЭК-ФА0. – Дата обращения: 20.08.2020.
28. О порядке осуществления Евразийским экономическим союзом международного сотрудничества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/0147032/scd_25122014_99. – Дата обращения: 20.08.2020.

References

1. Aganbegyan AG. Agriculture as a driving force of the Russia social and economic growth. *Eco.* 2017;515(5):5–22. (In Russ.).
2. Vartanova ML. Agro-industrial complex: problems of social and economic modernization. *Social policy and sociology.* 2017;16(3)(122):20–28. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17922/2071-3665-2017-16-3-20-28>.
3. Brunori G, Branca G, Cembalo L, D’Haese M, Dries L. *Agricultural and Food Economics: the challenge of sustainability.* *Agricultural and Food Economics.* 2020;8(12). DOI: <https://doi.org/10.1186/s40100-020-00156-2>.
4. Kini J, Pouw N, Gupta J. Organic vegetables demand in urban area using a count outcome model: case study of Burkina Faso. *Agricultural and Food Economics.* 2020;8(22). DOI: <https://doi.org/10.1186/s40100-020-00166-0>.
5. Larsson M, Morin L, Hahn T, Sandahl J. Institutional barriers to organic farming in Central and Eastern European countries of the Baltic Sea region. *Agricultural and Food Economics.* 2013;1(5). DOI: <https://doi.org/10.1186/2193-7532-1-5>.
6. Matthews, A. Agricultural structures and performance in the candidate countries [Internet] [cited 2020 Aug 20]. Available from: <https://econserv2.bess.tcd.ie/amththews/FoodCourse/LectureTopics/EasternEnlargement/Lecture23.htm>.
7. Kulikov IM, Minakov IA. Prodovol’stvennaya bezopasnost’ v sfere proizvodstva i potrebleniya plodoovoshchnoy produktsii [Food security in the field of production and consumption of fruit and vegetables]. *APK: ehkonomika, upravlenie [Agro-industrial complex: economy and management]*. 2016;(2):4–16. (In Russ.).
8. Kawecka-Wyrzykowska E, Rosati D. The Accession of Central European Countries to the European Union: The trade and investment effects on Belarus, the Russian Federation and Ukraine. *UNECE Discussion Paper Series.* 2003;(1):54.
9. Maslova VV. Economic aspects of formation of the Euroasian Economic Union in the agrarian sphere. *Ehkonomika sel’skogo khozyaystva Rossii [Agricultural Economics in Russia]*. 2015;(7):89–95. (In Russ.).
10. Buben SB, Averyanova EG. International activities of the Eurasian Economic Commission in the field of agriculture. *Trade policy.* 2019;18(2):25–38. (In Russ.).
11. Obzor gosudarstvennoy politiki v sfere agropromyshlennogo kompleksa gosudarstv – chlenov Evraziyskogo ehkonomicheskogo soyuza za 2012–2018 gody [A review of state policy regarding the agro-industrial complex of the Eurasian Economic Union countries for 2012–2018]. Moscow: Agricultural Policy Department of the Eurasian Economic Commission; 2018. 104 p. (In Russ.).
12. Ushachev IG. Importozameshchenie v agrarnom sektore stran Evraziyskogo ehkonomicheskogo soyuza: problemy i resheniya [Import substitution in the agrarian sector of the Eurasian Economic Union countries: problems and solutions]. *Razvitie trgovli i obespechenie prodovol’stvennoy bezopasnosti v usloviyakh monopolizatsii kanalov sbyta: zadachi biznesa i vlasti: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Development of trade and ensuring food security in the context of monopolization of distribution channels: tasks of business and government: Materials of the international scientific and practical conference]*; 2017; Moscow. Moscow: All-Russian Research Institute of agricultural Economics; 2017. p. 236–244. (In Russ.).
13. Ushachev IG, Maslova VV, Chekalin VS. Economic problems of import substitution in the conditions of scientific and technological development of agrarian and industrial complex of Russia. *APK: ehkonomika, upravlenie [Agro-industrial complex: economy and management]*. 2017;(11):4–11. (In Russ.).
14. Tambiev AH. Marketing research to identify the specificity and capacity of the Russian market of organic products. *International Agricultural Journal.* 2019;(1):59–62. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2019-11016>.
15. Temirbekova AB, Temirbek EB, Shalkeeva ZhN. Problemy proizvodstva i potrebleniya prodovol’stvennykh tovarov i puti ikh resheniya v stranakh EAEHS [Problems of production and consumption of food products and their solutions in the EAEU countries]. *Vestnik Kyrgyzskogo universiteta [Bulletin of the Kyrgyz University]*. 2014;6–10. (In Russ.).
16. Aganbegyan AG. On the way to the civilized market. *The Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences.* 2018;(1):7–26. (In Russ.).
17. Vartanova ML. Forecast of agricultural production growth and increase of domestic demand in terms of import substitution. *Russian Journal of Entrepreneurship.* 2018;19(6):1803–1824. DOI: <https://doi.org/10.18334/rp.19.6.39243>.

18. Contini C, Marotta G, Torquati B. Multi-actor approaches to implement cooperative strategies and value chains based on sustainability. *Agricultural and Food Economics*. 2020;8(7). DOI: <https://doi.org/10.1186/s40100-019-0147-3>.
19. Bar T, Zheng Y. Choosing certifiers: evidence from the British retail consortium food safety standard. *American Journal of Agricultural Economics*. 2019;101(1):74–88. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajae/aay024>.
20. Kostyleva OF. Standarty kachestva EHK OON v stranakh SNG [UNECE quality standards in the CIS countries]. *Standards and Quality*. 2011;(1):48–50. (In Russ.).
21. Narynbayeva AS, Sigarev MI. Perspective directions of development of one agrarian market of the Eurasian Economic Union. *Vestnik NSUEM*. 2018;(3):194–207. (In Russ.).
22. Podbiralina GV. Main areas of cooperation of foreign Eurasian Economic Union. *International Trade and Trade Policy*. 2016;5(1):15–26. (In Russ.).
23. Mohammed R, Zheng Y. International diffusion of food safety standards: the role of domestic certifiers and international trade. *Journal of Agricultural and Applied Economics*. 2017;49(2):296–322. DOI: <https://doi.org/10.1017/aae.2017.2>.
24. Dogovor o Evraziyskom ehkonomicheskom soyuze [Treaty on the Eurasian Economic Union] [Internet]. [cited 2020 Aug 20]. Available from: https://docs.eaeunion.org/sites/storage0/Lists/Documents/a089f4c6-02da-4461-b033-3f5d122e0020/e57db9f2-9589-4b26-be1e-b1a43862c6ed_635375701449140007.pdf.
25. Podpisan Memorandum o vzaimoponimaniy mezhdu Evraziyskoy ehkonomicheskoy komissiyey i Ministerstvom sel'skogo khozyaystva Vengrii o sotrudnichestve v oblasti agropromyshlennogo kompleksa [Memorandum of understanding was signed between the Eurasian Economic Commission and the Ministry of agriculture of Hungary on cooperation in the field of agriculture] [Internet]. [cited 2020 Aug 20]. Available from: <http://www.eurasiancommission.org/ru/nae/news/Pages/27-09-2016-5.aspx>.
26. Uproshchenie protsedur torgovli sel'skokhozyaystvennymi tovarami s ne prisoedinyayushchimisya k Evropeyskomu soyuzu stranami posle ego rasshireniya [Facilitation of trade in agricultural products with non-EU countries after enlargement] [Internet]. [cited 2020 Aug 20]. Available from: www.unece.org/fileadmin/DAM/trade/ctied8.
27. Protokol o prodlenii sroka primeneniya Memoranduma o vzaimoponimaniy mezhdu Evraziyskoy ehkonomicheskoy komissiyey i Prodoval'stvennoy i sel'skokhozyaystvennoy organizatsiyey Ob"edinennykh Natsiy [Protocol on the extension of the term for the application of the Memorandum of Understanding between the Eurasian Economic Commission and the Food and Agriculture Organization of the United Nations] [Internet]. [cited 2020 Aug 20]. Available from: https://www.eurasiancommission.org/ru/act/prom_i_agroprom/dep_agroprom/international/Documents/Протокол%20ЕЭК-ФАО.
28. O poryadke osushchestvleniya Evraziyskim ehkonomicheskim soyuzom mezhdunarodnogo sotrudnichestva [On the procedure for international cooperation in the Eurasian Economic Union] [Internet]. [cited 2020 Aug 20]. Available from: https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/0147032/scd_25122014_99.

Сведения об авторах

Московенко Надежда Владимировна

канд. техн. наук, доцент кафедры пищевой инженерии, ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», 620000, Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, тел.: +7 (343) 221-27-66, e-mail: mik_ml@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4209-9083>

Тихонов Сергей Леонидович

д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой пищевой инженерии, ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», 620000, Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, тел.: +7 (343) 257-02-27, e-mail: tihonov75@bk.ru

Тихонова Наталья Валерьевна

д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры пищевой инженерии, ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», 620000, Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, тел.: +7 (343) 257-02-27, e-mail: tihonov75@bk.ru

Information about the authors

Nadezhda V. Moskovenko

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Food Engineering, Ural State University of Economics, 62/45, 8 March/Narodnaya Volya Str., Ekaterinburg, 620000, Russia, phone: +7 (343) 221-27-66, e-mail: mik_ml@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4209-9083>

Sergei L. Tikhonov

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Head of the Department of Food Engineering, Ural State University of Economics, 62/45, 8 March/Narodnaya Volya Str., Ekaterinburg, 620000, Russia, phone: +7 (343) 257-02-27, e-mail: tihonov75@bk.ru

Natalia V. Tikhonova

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Professor of the Department of Food Engineering, Ural State University of Economics, 62/45, 8 March/Narodnaya Volya Str., Ekaterinburg, 620000, Russia, phone: +7 (343) 257-02-27, e-mail: tihonov75@bk.ru

Муратов Аскар Аронович

канд сельхоз. наук, старший преподаватель кафедры стандартизации, метрологии и сертификации, АО «Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина», 010000, Республика Казахстан, г. Нур-Султан, пр. Женис, 62, тел.: +7 (7172) 31-80-90, e-mail: askar.muratov.55@mail.ru

Askar A. Muratov

Cand.Sci.(Agr.), Senior Lecturer of the Department of Standardization, Metrology and Certification, Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University, 62, Zhenis Ave., Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan, phone: +7 (7172) 31-80-90, e-mail: askar.muratov.55@mail.ru

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 20 – 25 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>.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3><http://fptt.ru/>

<i>Майтаков А. Л.</i> Математическая модель процесса гранулообразования дисперсных смесей на основе молочной сыворотки в аппаратах тарельчатого типа 383	<i>Янг Йонг, Асякина Л. К., Бабич О. О., Дышлюк Л. С., Сухих С. А., Попов А. Д., Костюшина Н. В.</i> Изучение физико-химических свойств и биологической активности экстрактов из высушенной биомассы каллусных, суспензионных клеток и корневых культур <i>in vitro</i> 480
<i>Сергеева И. Ю., Заушинцева А. В., Брюхачев Е. Н.</i> Фотосинтетические пигменты и фенольный потенциал родиолы розовой (<i>Rhodiola rosea</i> L.) различных эколого-географических популяций 393	<i>Тихонова А. Н., Агеева Н. М., Бирюкова С. А., Глоба Е. В., Абакумова А. А.</i> Влияние сорта винограда, места его произрастания и технологии переработки на физико-химические показатели виноградной выжимки 493
<i>Платонова Н. Б., Белоус О. Г.</i> Биохимический состав чая и его изменения под влиянием различных факторов 404	<i>Антонова И. С., Веснина А. Д., Шадрин В. Г.</i> Маркетинговое исследование рынка биологически активных добавок 503
<i>Подлегаева Т. В., Козлова О. В., Кригер О. В., Потураева Н. Л.</i> Биокаталитическая конверсия белка молочной сыворотки микроорганизмами рода <i>Aspergillus oryzae</i> для снижения аллергенности 415	<i>Иветич М., Горелкина А. К.</i> Снижение контаминации воды для обеспечения качества и безопасности продукции пищевых предприятий 515
<i>Хвостов А. А., Магомедов Г. О., Рязских В. И., Плотникова И. В., Журавлев А. А., Магомедов М. Г.</i> Построение математической модели охлаждения карамели в этиловом спирте 425	<i>Гильманов Х. Х., Семипятный В. К., Бигаева А. В., Вафин Р. Р., Туровская С. Н.</i> Разработка способа определения в сухом молоке соотношения относительных долей аллелей гена κ -казеина 525
<i>Роцина Е. В., Григорьева Р. З., Баранец С. Ю., Давыденко Н. И., Куракин М. С.</i> Шоковая заморозка булочных изделий с использованием нетрадиционного растительного сырья на предприятиях общественного питания 439	<i>Пестерев М. А., Руденко О. С., Кондратьев Н. Б., Баженова А. Е., Усачев И. С.</i> Влияние упаковочных материалов из биоразлагаемой и полипропиленовой пленки на сохранность желейного мармелада 536
<i>Ландиховская А. В., Творогова А. А., Казакова Н. В., Гурский И. А.</i> Влияние трегалозы на дисперсность кристаллов льда и консистенцию низкожирного мороженого 450	<i>Папахин А. А., Колпакова В. В., Бородина З. М., Сарджвеладзе А. С., Васильев И. Ю.</i> Применение модифицированного пористого крахмала для создания биоразлагаемых композиционных полимерных материалов 549
<i>Зайнитдинов Д. Р., Евтеев А. В., Банникова А. В.</i> Исследование иммобилизации полифенолов овсяных отрубей в комплексные коацерваты сывороточного белка и мальтодекстрина 460	<i>Московенко Н. В., Тихонов С. Л., Тихонова Н. В., Муратов А. А.</i> Гармонизация стандартов Евразийского экономического союза на плодоовощную продукцию как средство интегрированной торговли мирового экономического пространства 559
<i>Степанова А. Г., Давыденко Н. И., Голуб О. В., Степанова Е. Н.</i> Исследование влияния способа хранения на сохранность сортов репы обыкновенной (<i>Brassica rapa</i> L.), произрастающих в Сибирском регионе 470	



CONTENTS



<i>Maytakov A.L.</i> Mathematical Model of Whey-Based Granulation Dispersed Mixtures Process in Disk-Type Devices 383	<i>Yang Yong, Asyakina L.K., Babich O.O., Dyshlyuk L.S., Sukhikh S.A., Popov A.D., Kostyushina N.V.</i> Physicochemical properties and biological activity of extracts of dried biomass of callus and suspension cells and <i>in vitro</i> root cultures 480
<i>Sergeeva I.Yu., Zaushintsena A.V., Bryukhachev E.N.</i> Photosynthetic pigments and phenolic potential of <i>Rhodiola rosea</i> L. from plant communities of different ecology and geography... 393	<i>Tikhonova A.N., Ageyeva N.M., Biryukova S.A., Globa E.V., Abakumova A.A.</i> Effect of grape variety, place of growth, and processing technology on the physical and chemical indicators of grape pomace 493
<i>Platonova N.B., Belous O.G.</i> Biochemical Composition of Tea and its Changes under Different Factors 404	<i>Antonova I.S., Vesnina A.D., Shadrin V.G.</i> Dietary Supplements Market Research 503
<i>Podlegaeva T.V., Kozlova O.V., Kriger O.V., Poturaeva N.L.</i> Reducing Allergenicity by Biocatalytic Conversion of Whey Protein Using <i>Aspergillus oryzae</i> 415	<i>Ivetich M., Gorelkina A.K.</i> Reducing Water Contamination to Ensure the Quality and Safety of Food Products 515
<i>Khvostov A.A., Magomedov G.O., Ryazhskih V.I., Plotnikova I.V., Zhuravlev A.A., Magomedov M.G.</i> Cooling Caramel in Ethyl Alcohol: Constructing a Mathematical Model 425	<i>Gilmanov Kh.Kh., Semipyatnyi V.K., Bigaeva A.V., Vafin R.R., Turovskaya S.N.</i> New determination method for the ratio of the relative proportions of κ -casein alleles in milk powder 525
<i>Roshchyna A.V., Grigorieva R.Z., Baranets S.Yu., Davydenko N.I., Kurakin M.S.</i> Shock Freezing of Bakery Products using Non-Traditional Raw Materials at Public Catering Establishments. 439	<i>Pesterev M.A., Rudenko O.S., Kondratev N.B., Bazhenova A.E., Usachev I.S.</i> Effect of Biodegradable and Polypropylene Film Packaging on the Safety Profile of Jelly Marmalade 536
<i>Landikhovskaya A.V., Tvorogova A.A., Kazakova N.V., Gursky I.A.</i> The Effect of Trehalose on Dispersion of Ice Crystals and Consistency of Low-Fat Ice Cream 450	<i>Papakhin A.A., Kolpakova V.V., Borodina Z.M., Sardzhveladze A.S., Vasiliev I.Yu.</i> Modified Porous Starch in Development of Biodegradable Composite Polymer Materials 549
<i>Zyaidinov D.R., Ewteev A.V., Bannikova A.V.</i> Immobilization of Oat Bran Polyphenols in Complex Coacervates of Whey Protein and Maltodextrin 460	<i>Moskovenko N.V., Tikhonov S.L., Tikhonova N.V., Muratov A.A.</i> Unified Standards of the Eurasian Economic Union for Fruit and Vegetable Products as a Means of Integrated Trade in the Global Economic Environment 559
<i>Stepanova A.G., Davydenko N.I., Golub O.V., Stepanova E.N.</i> Effect of Storage Methods on Various Sorts of Siberian Turnip (<i>Brassica rapa</i> L.) 470	