

Включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований

Приказ Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь
от 2 февраля 2011 г. № 26



ISSN 2073-4794

Том 18

№4(70)

2025

**РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**

ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ: НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

Основан в 2008 году

Выходит 4 раза в год

Адрес редакции:

ул. Козлова, 29, г. Минск,
220037, Республика Беларусь
Тел./факс: +375 (17) 252-55-70,
+375 (17) 361-84-01, +375 (17) 396-67-33
(редактор)

e-mail: journal@belproduct.com

Редакция не несет ответственности
за возможные неточности по вине авторов.

Мнение редакции может не совпадать
с позицией автора

Отпечатано в типографии

УП «ИВЦ Минфина»

Подписано в печать 03.09.2025.

Формат 60×84/8. Бумага офсетная.

Гарнитура NewtonC. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 10,65.

Тираж 100 экз. Заказ 879.

ЛП № 02330/89 от 3 марта 2014 г.

Ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск.

Учредитель

Республиканское унитарное предприятие
«Научно-практический центр Национальной
академии наук Беларуси по продовольствию»

Зарегистрирован в Министерстве информации
Республики Беларусь (свидетельство
о регистрации № 590 от 30 июля 2009 г.)

Журнал включен в базу данных
Российского индекса научного
цитирования (РИНЦ)

Подписные индексы:

для индивидуальных подписчиков 01241

для ведомственных подписчиков 012412



FOOD INDUSTRY: SCIENCE AND TECHNOLOGIES

Vol. 18, №4(70) 2025

Founder:
Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus"

Editor-in-Chief:

Lovkis Zenon Valentinovich — Chief Researcher of the Administration of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food", Honored Scientist of the Republic of Belarus, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor

Editorial council:

Meleschenya Aleksey Viktorovich — Deputy Editor-in-Chief, General Director of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food", PhD of Economical Sciences, Associate Professor

Akulich Alexandr Vasilyevich — Vice-Rector for Scientific Work of the educational institution "Belarusian State University of Food and Chemical Technologies", Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Inventor of the Republic of Belarus

Gusakov Gordey Vladimirovich — Director of the Republican Unitary Enterprise "Institute of the Meat and Dairy Industry", PhD of Economical Sciences

Zhakova Kristina Ivanovna — Scientific Secretary of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food", PhD of Technical Sciences

Zaichenko Dmitry Aleksandrovich — Deputy General Director for Scientific and Innovation Work of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food", PhD of Technical Sciences, Associate Professor

Komarova Natalya Viktorovna — Deputy General Director for Research and Standardization of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food", PhD of Technical Sciences, Associate Professor

Laptenok Natalya Sergeevna — director of the research and production republican subsidiary unitary enterprise "Beltekhnokhleb", PhD of Technical Sciences

Lisitsin Andrey Borisovich — Scientific Director of the Federal State Budgetary Scientific Institution "V.M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems", Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor

Morgunova Elena Mikhailovna — Deputy General Director for Standardization and Quality of Food Products of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food", PhD of Technical Sciences, Associate Professor

Savenkova Tatyana Valentinovna — Director of the Research Institute of Quality, Safety and Technologies of Specialized Food Products of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian University of Economics. G.V. Plekhanov", Doctor of Technical Sciences, Professor

Sharshunov Vyacheslav Alekseevich — Professor of the Department of Machines and Apparatus for Food Production of the Educational Institution "Belarusian State University of Food and Chemical Technologies", Honored Scientist of the Republic of Belarus, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor

Shepshelev Alexandr Anatolyevich — Director of the State Scientific Institution "Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus", PhD of Technical Sciences, Associate Professor

Akopova Svetlana Sergeevna — executive editor, leading engineer of the scientific and technical information sector of the professional development center of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food"

The Journal is included in the List
of Journals for Publication of the Results of Dissertation Research

*Supreme Certifying Commission of the Republic of Belarus
decree of 2 February 2011*



ISSN 2073-4794

Vol. 18
№4(70)
2025

**PEER-REVIEWED SCIENTIFIC
AND TECHNICAL JOURNAL**

FOOD INDUSTRY: SCIENCE AND TECHNOLOGIES

The Journal was founded in 2008

Issued four times a year

Address of the Editorial Office:

29, Kozlova str., Minsk
220037, Republic of Belarus
Tel./Fax: +375 (17) 252-55-70,
+375 (17) 361-84-01, +375 (17) 396-67-33
(editor)
E-mail journal@belproduct.com

Printed at UE "IVC Minfina"
It is sent of the press 03.09.2025
Format 60x84/8. Offset paper.
NewtonC type. Offset printing.
Printed pages 10,65.
Circulation 100 copies. Order 879.
LP № 02330/89 of 3 March 2014
17, Kalvaryiskaya str., Minsk 220004

Subscription indexes
For individuals 01241
For legal entities 012412

Founder

Republican Unitary Enterprise "Scientific-
Practical Centre for Foodstuffs of the National
Academy of Sciences of Belarus"

Registered in Ministry of Information of the
Republic of Belarus
(Registration Certificate № 530 of July 2009)

The journal is included into
the database of Russian Science
Citation Index (RSCI)

СОДЕРЖАНИЕ

Миронова Н. П. Дополнительное образование в пищевой промышленности: стратегический ресурс повышения профессиональной компетентности	6
Шаршунов В. А., Барашков А. С., Касьянова А. И. Оптимизация режимов sous-vide обработки ферментированных зерновых культур для создания функциональных пищевых продуктов	12
Лозовская Д. С., Дымар О. В. Изучение качественных характеристик, аминокислотного и жирнокислотного состава молозива-сырья в течении лактационного периода	20
Урбанчик Е. Н., Желудков А. Л., Масальцева А. И. Технологические и функциональные аспекты разработки спортивных напитков на основе ферментированного пророщенного зерна	33
Моргунова Е. М., Вышникова О. В. Использование специальных штаммов дрожжей для сбраживания высокоплотного медового сула	40
Рупасова Ж. А., Авраменко С. Н., Мадзиевская Т. А., Далидович С. В., Бычковский П. М. Биохимический состав функциональных пищевых добавок для производства хлебобулочной продукции	46
Алексеев М. С., Почичкая И. М., Литвяк В. В., Бутрим С. М. Физико-химические, органолептические и микробиологические показатели кислотногидролизированных крахмалов	56
Сулковская А. А., Комарова Н. В. Разработка и оценка качества функционального аналога рыбных продуктов на мясорастительной основе для питания детей в организованных коллективах	69
Окунева Т. Ю., Павловская Л. М., Комарова Н. В. Меры по оптимизации роста и предотвращению образования оксиметилфурфурола при производстве высокосахаритых консервированных продуктов	80
Почичкая И. М., Рябова К. С., Журня А. А., Алексеев М. С., Окулова Т. В., Рослик В. Л. Проблема накопления бенз(а)пирена в пищевых продуктах	89
Синявская А. М., Вислоухова С. Н., Кондратова И. И. Применение ферментного препарата β -фруктофуранозидазы в производстве сахаристых кондитерских изделий	95

CONTENTS

Mironova N. P. Continuing education in the food industry: a strategic resource for enhancing professional competence	6
Sharchunov V. A., Barashkau A. S., Kasyanova A. I. Optimization of sous-vide processing regimes for fermented cereal grains for the development of functional food products.....	12
Lozovskaya D. S., Dymar O. V. Study of qualitative characteristics, amino acid and fatty acid composition of raw colostrum during the lactation period	20
Urbanchik E. N., Zhaludkou A. L., Masaltseva A. I. Technological and functional aspects of the development of sports drinks based on fermented sprouted grain.....	33
Marhunova A. M., Vyshnikova O. V. Use of special yeast strains for fermentation of high-density honey wort.....	40
Rupasova J. A., Avramenko S. N., Madzievskaya T. A., Dalidovich S. V., Bychkovsky P. M. Biochemical composition of functional food additives for bread production	46
Alekseenko M. S., Pochickaya I. M., Litvyak V. V., Butrim S. M. Physicochemical, organoleptic and microbiological properties of acid-hydrolyzed starches.....	56
Sulkovskaya A. A., Komarova N. V. Development and quality assessment of a functional analogue of fish products based on meat and vegetables for children's nutrition in organized collectives	69
Okuneva T. J., Paulouskaya L. M., Komarova N. V. Measures to optimize growth level and prevent the formation of oxymethyl furfural in the production of high sugar canned products.....	80
Pochitskaia I. M., Riabova K. S., Zhurnia A. A., Alekseenko M. S., Okulova T. V., Roslik V. L. The problem of benz(a)pyrene accumulation in food products	89
Siniauskaya H. M., Vislavukhava S. N., Kandratava I. I. Application of the enzyme preparation β -fructofuranosidase in the production of sugar-based confectionery	95

УДК 37.046-021.68:664

Поступила в редакцию 17.11.2025
Received 17.11.2025**Н. П. Миронова***РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь***ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В ПИЩЕВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ: СТРАТЕГИЧЕСКИЙ РЕСУРС ПОВЫШЕНИЯ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ**

Аннотация. В статье обоснована актуальность развития системы дополнительного профессионального образования в пищевой промышленности Республики Беларусь. Проанализированы ключевые факторы, определяющие потребность в непрерывном профессиональном развитии специалистов отрасли: технологическая и техническая трансформация производства, изменение нормативно-правовых требований, эволюция потребительских предпочтений, необходимость импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности.

Представлены результаты исследования деятельности центра профессионального развития РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» за 2023–2025 годы, проанализирована структура слушателей центра. Описаны задачи и функции центра, включая реализацию образовательных программ, организационно-методическое обеспечение, внедрение инновационных образовательных методик и т.д.

Ключевые слова: дополнительное профессиональное образование, пищевая промышленность, повышение квалификации, обучающие курсы, стажировка руководящих работников и специалистов, качество продукции, продовольственная безопасность, центр профессионального развития, кадровый потенциал, инновационные технологии.

N. P. Mironova*RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,
Minsk, Republic of Belarus***CONTINUING EDUCATION IN THE FOOD INDUSTRY: A STRATEGIC
RESOURCE FOR ENHANCING PROFESSIONAL COMPETENCE**

Abstract. The article substantiates the relevance of developing a system of additional professional education in the food industry of the Republic of Belarus. The key factors creating the demand for continuous professional development of industry specialists are analyzed: the technological transformation of production, changes in regulatory requirements, the evolution of consumer preferences, and the necessity for import substitution and ensuring food security. The results of a study on the activities of the Center for Professional Development at the RUE “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Foodstuffs” for the period 2023–2025 are presented, and the structure of the center’s trainees is analyzed. The tasks and functions of the center are described, including the implementation of educational programs, organizational and methodological support, the introduction of innovative educational methods, etc.

Keywords: additional professional education, food industry, professional development, training courses, internship for managers and specialists, product quality, food security, center for professional development, personnel capacity, innovative technologies.

Введение. Пищевая промышленность является высокотехнологичной отраслью агропромышленного комплекса, где применение инновационных технологий, регламентированных систем контроля качества и научно обоснованных методик обеспечивает создание конечного продукта, соответствующего установленным нормативным требованиям.

В условиях растущих требований потребителей и растущей конкуренции единственным по-настоящему устойчивым конкурентным преимуществом становятся знания и навыки персонала. Именно поэтому грамотно выстроенная система обучения и повышения квалификации является стратегической инвестицией в развитие данного сектора экономики [1]. Эффективность работы пищевых предприятий и испытательных лабораторий напрямую зависит от квалификации специалистов, чьи знания и навыки должны соответствовать динамично меняющимся технологическим процессам и нормативным требованиям. Дополнительное профессиональное образование превращается в ключевой инструмент обеспечения конкурентоспособности отечественной пищевой продукции на внутреннем и внешнем рынках.

В Республике Беларусь деятельность в сфере дополнительного образования взрослых регламентируется Кодексом об образовании [2], Постановлением Министерства образования от 10.10.2022 № 379 «Об утверждении Положения об учреждении дополнительного образования взрослых», а также рядом других нормативных правовых актов [3, 4]. Методические подходы и вопросы стратегии развития системы дополнительного образования взрослых с учетом специфики различных сфер экономики были предметом изучения ряда ученых [5–8]. Вместе с тем, вопрос формирования целостной системы дополнительного образования и повышения квалификации специалистов перерабатывающих предприятий и испытательных пищевых лабораторий и ее совершенствования в соответствии с запросами времени по-прежнему остается актуальным.

Цель представленного исследования — анализ и совершенствование системы дополнительного профессионального образования в пищевой промышленности Республики Беларусь через оценку деятельности центра профессионального развития РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию».

Материалы и методы исследований. Исследование основано на комплексном применении системного анализа, статистической обработки данных о слушателях центра профессионального развития за 2023–2025 гг., сравнительного анализа образовательных программ и нормативно-правовой базы, регламентирующей дополнительное образование взрослых в Республике Беларусь, что позволило провести оценку современного состояния и перспектив развития системы обучения специалистов пищевой отрасли на базе РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию».

Результаты исследований и их обсуждение. Анализ системы повышения квалификации и обучения специалистов пищевой отрасли Беларуси — это комплексная задача, затрагивающая нормативную базу, образовательные учреждения и потребности производственных предприятий.

На наш взгляд, основными факторами, формирующими устойчивую потребность в создании системы непрерывного профессионального развития, обеспечивающей соответствие компетенций специалистов современным требованиям пищевой отрасли являются:

- ♦ непрерывное развитие и внедрение нового оборудования и технологий, в том числе расширение автоматизации, предусматривающее развитие навыков работы специалистов;
- ♦ изменение требований нормативно-правовых документов (технических регламентов, стандартов, методик измерения и т.п.), регламентирующих выпуск продукции;
- ♦ изменение потребительских предпочтений, тренды на здоровое питание, персонализированное питание, вызывающие необходимость развития ассортимента и новых видов продукции;
- ♦ решение вопросов импортозамещения и необходимость поддерживать конкурентоспособность предприятия;
- ♦ защита рынка от некачественной и фальсифицированной продукции, обеспечение продовольственной безопасности страны;
- ♦ естественное старение кадров и необходимость быстрой и эффективной адаптации молодых работников (рис. 1).

Указанные факторы формируют устойчивую потребность в создании системы непрерывного профессионального развития, обеспечивающей соответствие компетенций специалистов современным требованиям пищевой отрасли. Эффективное решение этих задач требует интеграции образовательных процессов с практическими потребностями производства и научными исследованиями в области пищевых технологий.

Кроме того, обучение и повышение квалификации работников пищевой отрасли и испытательных лабораторий в Республике Беларусь являются не просто рекомендацией, а законодательным требованием для многих специалистов пищевых предприятий и лабораторий. Наличие документально подтвержденной компетенции персонала представляет собой обязательное условие работы предприятия или лаборатории.



Рис. 1. Факторы, определяющие актуальность создания системы непрерывного профессионального развития в пищевой промышленности

Fig. 1. Factors determining the relevance of creating a system of continuous professional development in the food industry

Программы дополнительного образования в области пищевых технологий и оценки пищевой продукции в настоящее время в республике предлагаются достаточно широким кругом учреждений. Ключевое место среди них занимают учреждения высшего образования и дополнительного образования взрослых, осуществляющие подготовку специалистов данного профиля (Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий; Белорусский государственный аграрный технический университет; Белорусский государственный технологический университет; Государственное учреждение дополнительного образования взрослых «Центр подготовки, повышения квалификации и переподготовки кадров Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь» и т.д.).

Профильное обучение и повышение квалификации специалистов лабораторий, осуществляющих оценку качества и безопасности пищевых продуктов, проводит образовательный центр «Академия качества» на базе «Белорусского государственного института стандартизации и сертификации»; Международный образовательный центр «На Академической» (МОЦНА); Государственное учреждение образования «Институт повышения квалификации и переподготовки руководителей и специалистов промышленности «Кадры индустрии», областные и региональные центры стандартизации и метрологии и другие испытательные и сертификационные центры.

Практико-ориентированные обучающие программы, в первую очередь, ориентированные на освоение методик исследований и формирование практических навыков работы на оборудовании, осуществляют частные учебные центры и консалтинговые компании. Кроме того, проводят семинары и тренинги производители оборудования и реагентов по работе со своей продукцией.

В условиях динамичного развития пищевой промышленности и ужесточения требований к качеству продукции создание эффективной системы дополнительного профессионального образования становится стратегической задачей. Поэтому в 2023 году на базе РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» было создано отдельное структурное подразделение – центр профессионального развития (далее – ЦПР), основное предназначение которого организация и совершенствование системы дополнительного профессионального образования в пищевой промышленности.

Деятельность центра строится на реализации комплекса взаимосвязанных задач, направленных на обеспечение непрерывного профессионального роста кадрового потенциала пищевой промышленности.

Образовательная деятельность ЦПР включает реализацию программ дополнительного образования для специалистов пищевой отрасли. Это предусматривает проведение разнообразных обучающих курсов, тематических семинаров и индивидуальных стажировок. Особое внимание уделяется программам целевого назначения, ориентированным на формирование конкретных профессиональных компетенций, изучение нового оборудования и технологических процессов, направленных на повышение качества продукции, освоение современных методик оценки качества и безопасности пищевых продуктов. Активно ведется работа по организации и проведению семинаров, лекций и других мероприятий, участию в тематических мероприятиях.

Организационно-методическая работа ЦПР охватывает обеспечение учебно-методической и организационной поддержки образовательного процесса. Это включает нормативно-организационное сопровождение деятельности, консультативную поддержку обучающихся и методическое обеспечение учебного процесса. Центр осуществляет разработку учебных планов и современных обучающих программ, формирование базы методических материалов по актуальным вопросам технологий и техники пищевых производств.

Инновационное развитие образовательного процесса проявляется во внедрении информационных технологий, современных форм и методов обучения, привлечение высококвалифицированных специалистов, в том числе зарубежных, совершенствование преподавательского состава.

Вспомогательные задачи деятельности ЦПР включают пропаганду научных достижений и информационное сопровождение деятельности. Осуществляется подготовка материалов для освещения образовательных мероприятий в средствах массовой информации и на цифровых платформах.

За период 2023–2025 годов в ЦПР прошли обучение 458 специалистов пищевой и смежных отраслей.

Проведенный анализ демонстрирует разнообразие профессионального состава слушателей и подтверждает востребованность образовательных услуг ЦПР на рынке образовательных услуг (рис. 2).

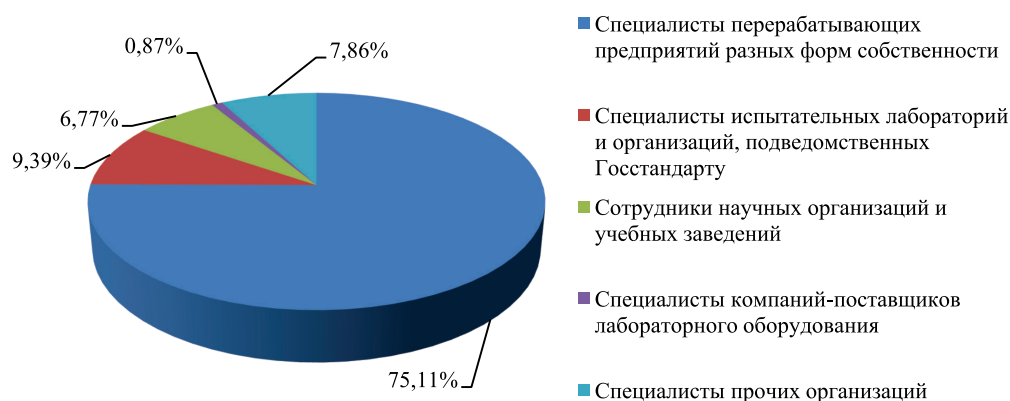


Рис. 2. Анализ слушателей, прошедших обучение в центре профессионального развития в 2023–2025 гг.
Fig. 2. Analysis of trainees who completed training at the Center for Professional Development in 2023–2025

Наибольшую группу составили специалисты перерабатывающих предприятий разных форм собственности — 75,11 % от общего числа обучающихся. Анализ анкет слушателей показал, что наиболее востребованы образовательные услуги ЦПР среди специалистов предприятий алкогольной, кондитерской, консервной отраслей. Кроме того, в обучении приняли участие специалисты хлебопекарных, масложировых, картофелеперерабатывающих, крахмалопаточных, мясных, дрожжевых предприятий. Это свидетельствует об активной работе Центра с производственным сектором и ориентации на практические потребности пищевой промышленности.

Второй по значимости категорией стали специалисты испытательных лабораторий — 9,39 %, что подтверждает важность подготовки кадров для контроля качества и безопасности пищевой продукции.

Сотрудники научных организаций и учебных заведений составили 6,77% от общего количества слушателей за анализируемый период, демонстрируя интерес академического сообщества к прикладным аспектам пищевых технологий.

Около 1 % из общего числа слушателей составили специалисты компаний-поставщиков лабораторного оборудования, проходившие обучение по микробиологическим и физико-химическим методам контроля качества, что указывает на формирование комплексной системы профессионального развития в отрасли.

Специалисты прочих организаций, прошедшие обучение в 2023–2025 годах, составили суммарно 7,86 %. В их числе представители лабораторий организаций общественного питания, производители оригинальных алкогольных напитков, торговые компании и т.д.

Анализ обучающих программ, реализованных ЦПР в 2023–2025 годах, позволяет выделить следующие направления подготовки специалистов отрасли:

Аналитический контроль качества пищевой продукции и сырья (физико-химические, хроматографические методы исследований, определение элементного состава пищевых продуктов и т.д.);

Микробиологическая контроль и безопасность пищевой продукции (микробиологические методы исследований, определение микотоксинов, антибиотиков и т.д.);

Органолептический анализ пищевой продукции (сенсорный анализ в контроле качества продукции спиртового производства и спиртных напитков; органолептический (сенсорный анализ) в контроле качества продовольственного сырья и пищевых продуктов и т.п.);

Технологии производства пищевой продукции с учетом отраслевой специфики (школа технолога консервного производства; актуальные вопросы технического регулирования в кондитерской, хлебопекарной, масложировой, соковой и безалкогольной отраслях; актуальные тенденции развития виноделия и производства коньяков на примере предприятий Азербайджана).

Основные формы обучения в Центре профессионального развития: обучающие курсы, обучающие семинары, школы технологов, индивидуальные стажировки, выездное обучение.

Особенности организации образовательного процесса в Центре профессионального развития:

1. Практико-ориентированная парадигма образовательного процесса. Организация обучения на базе современных лабораторий РКИК обеспечивает непосредственное освоение слушателями методов испытаний и работы с аналитическим оборудованием, что формирует компетенции, востребованные в реальной профессиональной деятельности.

2. Интеграция научного и производственного потенциала. Привлечение к преподавательской деятельности практикующих специалистов РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию» обеспечивает непосредственную передачу актуальных знаний и методик, разработанных в рамках научно-исследовательской деятельности. Участие зарубежных экспертов в реализации образовательных программ способствует интеграции международного опыта и лучших практик в подготовку специалистов пищевой промышленности.

3. Реализация мобильных форм обучения. Выездное обучение на базе профильных перерабатывающих предприятий и зарубежных организаций обеспечивает погружение в реальную производственную среду и знакомство с передовыми технологиями.

4. Персонализация образовательных программ. Индивидуальный подход к формированию учебных программ с учетом запросов слушателей позволяет адаптировать содержание обучения к специфике профессиональных задач конкретных предприятий и специалистов.

5. Создание интегральной образовательной системы и формирование профессиональной коммуникативной среды. Совокупность организационных форм и методов, реализуемых в Центре профессионального развития, формирует целостную образовательную среду, обеспечивающую непрерывное профессиональное развитие специалистов пищевой отрасли. Содержание образовательных программ регулярно обновляется и дополняется, что позволяет поддерживать их актуальность и интегрировать научные разработки Центра в образовательный процесс.

Создание условий для делового общения и обмена опытом между слушателями различных предприятий способствует формированию профессиональных сообществ и становлению сетевых форм взаимодействия в отрасли.

6. Международное сотрудничество в сфере образовательных услуг. Развитие международного сотрудничества ЦПР осуществляется в двух направлениях: приглашение зарубежных лекторов из ведущих профильных организаций для участия в обучении белорусских специалистов; организация выездного группового обучения («Технология производства и сенсорный (органолептический) анализ винодельческой и коньячной продукции» и «Органолептический анализ винодельческой и коньячной продукции» на базе ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» «Актуальные тенденции развития виноделия и производства коньяков на примере предприятий Азербайджана»). С другой стороны, программы Центра профессионального развития вызывают интерес у зарубежных специалистов. За отчетный период на базе центра прошли стажировки сотрудники кондитерских предприятий Узбекистана и России, а также «Майкопского государственного технологического университета».

Таким образом, проведенный анализ свидетельствует о том, что в Центре профессионального развития сформирована комплексная модель организации образовательного процесса, интегрирующей ресурсы научно-исследовательской организации и производственных предприятий. Практическая значимость подтверждается эффективным формированием профессиональных компетенций, соответствующих современным требованиям пищевой промышленности.

Заключение. Проведенное исследование подтвердило, что система дополнительного профессионального образования является стратегическим ресурсом развития пищевой промышлен-

ленности Республики Беларусь. Деятельность Центра профессионального развития способствует укреплению кадрового потенциала пищевой отрасли и обеспечивает интеграцию научных достижений и опыта лабораторий республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания в практическую деятельность предприятий. Комплексный подход к организации дополнительного профессионального образования, сочетающий традиционные и инновационные методы обучения, позволяет эффективно решать задачи подготовки высококвалифицированных специалистов, соответствующих современным требованиям пищевой промышленности.

Сформированная модель непрерывного профессионального развития на базе центра профессионального развития позволяет адекватно реагировать на изменения технической и технологической базы, нормативных требований и потребительских предпочтений. Реализованный подход способствует не только укреплению кадрового потенциала отрасли, но и обеспечивает достижение стратегических задач по импортозамещению, повышению экспортного потенциала и укреплению продовольственной безопасности страны.

Дальнейшее развитие системы должно быть направлено на расширение международного сотрудничества, усиление практико-ориентированной составляющей подготовки специалистов, внедрение результатов научных достижений и современных цифровых технологий в процесс обучения.

Список использованных источников

1. Ясинов, О. Ю. Повышение качества подготовки кадров в сфере производства пищевой продукции / О. Ю. Ясинов, В. А. Матисон // Пищевая промышленность. – 2017. – №6. – С. 15–17.
2. Кодекс Республики Беларусь об образовании: по состоянию на 1 сент. 2022 г. – Минск: Национальный Центр правовой информации Республики Беларусь, 2022. – 512 с.
3. Об утверждении Положения об учреждении дополнительного образования взрослых [Электронный ресурс]: постановление Министерства образования Республики Беларусь от 10.10.2022 № 379 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22239179> – Дата доступа: 01.11.2025.
4. Положение о непрерывном профессиональном образовании руководящих работников и специалистов [Электронный ресурс]: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 01.09.2022 № 574. – Режим доступа: <https://adu.by/images/2022/09/post-sovmin-574-2022.pdf>. – Дата доступа: 01.11.2025.
5. Соломахо, В. Л. Стратегия развития дополнительного образования взрослых с учетом создания единого экономического пространства стран-участниц СНГ / В. Л. Соломахо // Наука - образованию, производству, экономике: материалы Девятой международной научно-технической конференции: в 4 т. / Белорусский национальный технический университет; редкол.: Б. М. Хрусталева, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск: БНТУ, 2011. – Т. 4. – С. 213.
6. Щупакова, А. Н. Пути развития дополнительного образования взрослых / А. Н. Щупакова // Инновационные обучающие технологии в медицине: сб. материалов Междунар. Респ. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Витебск: ВГМУ, 2017. – С. 707–708.
7. Шаршунов, В. А. Научно-техническое и кадровое обеспечение пищевой промышленности / В. А. Шаршунов, А. В. Акулич, А. П. Щемелев // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международной научно-практической конференции: в 3 т. / РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства»; гл. редактор П. П. Мазакевич. – Минск: РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2009. – Т. 3. – С. 24–30.
8. Еделев, Д. А. Международный опыт совершенствования подготовки специалистов пищевой промышленности: реформы и перспективы / Еделев Д. А., Кантере В. М., Матисон В. А. // Пищевая промышленность. – 2012. – №7. – С. 34–36.

Информация об авторах

Миронова Наталья Павловна, кандидат филологических наук, начальник центра профессионального развития РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 210037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: aspirant@belproduct.com

Information about authors

Mironova Natalia Pavlovna, Ph.D. (Philology), Head of the Center for Professional Development of the RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova Str., 210037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: aspirant@belproduct.com

УДК 664.6:664.7

Поступила в редакцию 05.09.2025
Received 05.09.2025¹В. А. Шаршунов, ¹А. С. Барашков, ²А. И. Касьянова¹Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, |
г. Могилев, Республика Беларусь²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ SOUS-VIDE ОБРАБОТКИ ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ СОЗДАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Аннотация. Целью работы является комплексное изучение влияния предварительной ферментации и последующих режимов Sous-Vide обработки на технологические, структурно-механические и биохимические показатели зерновых культур (пшеницы, гречи, ржи, кукурузы) для создания функциональных пищевых продуктов. Установлено, что ферментация с использованием штаммов *Lactobacillus acidophilus* и *Streptococcus thermophilus* приводит к значительной биотрансформации матрикса зерна: снижению содержания фитиновой кислоты на 45–60 %, частичному гидролизу крахмала и накоплению биоактивных соединений. Это увеличивает скорость гидратации ферментированных образцов на 25–71 % и сокращает время достижения максимальной влагоемкости на 25–35 %. Комбинация ферментации и предварительной гидратации позволила сократить продолжительность энергоемкого этапа Sous-Vide обработки на 40–55 % по сравнению с нативными негидратированными крупами. Обработка при 85–90 °С обеспечивает сохранность до 85–92 % витаминов группы В и 90–95 % антиоксидантной активности, в то время как традиционная варка приводит к потерям 30–40 %. Разработаны математические модели зависимости продолжительности термообработки от степени гидратации и температуры для каждой культуры. Совместное применение ферментации и технологии Sous-Vide является высокоэффективным для создания пищевых продуктов из зерновых культур с заданными функциональными свойствами, повышенной пищевой ценностью и пролонгированными сроками хранения.

Ключевые слова: ферментированные зерновые, функциональные продукты, технология Sous-Vide, молочнокислые микроорганизмы, кинетика гидратации, влагосвязывающая способность, пищевая ценность, сохранность витаминов, антиоксидантная активность.

¹V. A. Sharchunov, ¹A. S. Barashkau, ²A. I. Kasyanova¹Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Republic of Belarus²Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

OPTIMIZATION OF SOUS-VIDE PROCESSING REGIMES FOR FERMENTED CEREAL GRAINS FOR THE DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL FOOD PRODUCTS

Abstract. The aim of this work is a comprehensive study of the influence of preliminary fermentation and subsequent Sous-Vide processing regimes on the technological, structural-mechanical, and biochemical parameters of cereal grains (wheat, buckwheat, rye, corn) for the creation of functional food products. It was established that fermentation using *Lactobacillus acidophilus* and *Streptococcus thermophilus* strains leads to significant biotransformation of the grain matrix: a reduction in phytic acid content by 45–60 %, partial hydrolysis of starch, and accumulation of bioactive compounds. This increases the hydration rate of fermented samples by 25–71 % and reduces the time to achieve maximum water-holding capacity by 25–35 %. The combination of fermentation and preliminary hydration allowed for a reduction in the duration of the energy-intensive Sous-Vide processing stage by 40–55 % compared to native non-hydrated grains. Processing at 85–90 °C ensures the preservation of up to 85–92 % of B vitamins and 90–95 % of antioxidant activity, while traditional boiling leads

to losses of 30–40 %. Mathematical models describing the dependence of heat treatment duration on the degree of hydration and temperature were developed for each crop. The combined application of fermentation and Sous-Vide technology is highly effective for creating food products from cereal grains with specified functional properties, increased nutritional value, and extended shelf life.

Keywords: fermented cereals, functional products, Sous-Vide technology, lactic acid microorganisms, hydration kinetics, water-binding capacity, nutritional value, vitamin preservation, antioxidant activity.

Введение. Развитие рынка функциональных и специализированных пищевых продуктов является одним из приоритетных направлений современной нутрициологии и пищевой технологии [1, 2]. Особый интерес представляют продукты на основе зерновых культур, которые составляют основу рациона питания населения во многих странах мира [3]. Однако наличие в составе зерна ингибиторов пищеварительных ферментов, фитиновой кислоты, связывающей макро- и микроэлементы, а также сложность усвоения клетчатки ограничивают их биологическую ценность [4, 5].

Эффективным способом повышения питательной ценности и функциональных свойств зерновых является контролируемая ферментация с использованием протеолитических и амилолитических штаммов молочнокислых бактерий (МКБ) [6, 7]. Данный процесс приводит к значительной биотрансформации компонентов субстрата: снижению содержания фитатов, частичному гидролизу крахмала и белков с образованием легкоусвояемых пептидов, сахаров, а также накоплению органических кислот, экзополисахаридов и других метаболитов с доказанной биологической активностью [8, 9]. Это не только повышает пищевую ценность, но и существенно изменяет структурно-механические и технологические свойства сырья, такие как влагосвязывающая и влагоудерживающая способность, что критично важно для последующих технологических операций [10].

Тепловая обработка является обязательным этапом производства готовых пищевых продуктов из круп, обеспечивая их кулинарную готовность, безопасность и приемлемые органолептические характеристики [11]. Однако традиционные способы (варка, пропаривание при атмосферном давлении) часто связаны со значительными потерями теплолабильных витаминов, антиоксидантов и других биологически активных соединений, а также с нерациональными энергозатратами и потерями массы [12, 13].

Технология Sous-Vide (длительная низкотемпературная обработка в вакуумной упаковке) представляет собой щадящий метод теплового воздействия, позволяющий минимизировать потери нутриентов за счет исключения контакта продукта с кислородом и водой, а также контролировать температуру в ядре продукта [14, 15]. В последние годы наблюдается рост числа исследований, посвященных применению данной технологии для обработки продуктов растительного происхождения [16, 17]. Однако влияние предварительной ферментации на кинетику и эффективность последующей Sous-Vide обработки зерновых культур изучено недостаточно.

Целью данной работы являлось изучение влияния предварительной ферментации на кинетику гидратации и последующей Sous-Vide обработки таких зерновых культур, как пшеница, гречиха, рожь и кукуруза, и оптимизация режимных параметров для получения функциональных пищевых продуктов с высокими качественными показателями.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования использовали образцы следующих ферментированных зерновых культур: пшеницы мягкой (*Triticum aestivum*), гречихи обыкновенной (*Fagopyrum esculentum*), ржи посевной (*Secale cereale*) и кукурузы сахарной (*Zea mays*). Ферментацию проводили с использованием молочнокислых микроорганизмов *Lactobacillus acidophilus* и *Streptococcus thermophilus* при температуре $25 \pm 1^\circ\text{C}$ в течение 36 часов. Контролем служили нативные (неферментированные) образцы круп.

Навески ферментированных и нативных круп массой 50,0 г помещали в термостатируемые сосуды с дистиллированной водой при температурах 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 100°C . Процесс гидратации проводили до достижения постоянной массы образцов. Изменение массы регистрировали через равные промежутки времени.

Гидратированные образцы вакуумировали в пакетах из полипропилена (PP) с использованием вакуумного упаковщика до остаточного давления 98–99 %. Тепловую обработку проводили в автоклаве с точностью поддержания температуры $\pm 0,5^\circ\text{C}$ в диапазоне температур 70– 100°C . Критерием окончания обработки считали достижение оптимальной кулинарной готовности, определяемой органолептически и по достижению заданной мягкости, контролируемой текстурометром.

Массовую долю белка определяли по Кьельдалю, жира — методом Сокслета, растворимых углеводов — рефрактометрически. Содержание витаминов группы В (B_1 , B_2 , B_6) определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Активность антиоксидантов оценивали амперометрическим методом. Влагосвязывающую способность (ВСС) определяли центрифуги-

рованием. Все измерения проводили в трехкратной повторности. Обработку и анализ статистических данных выполняли с помощью электронных таблиц пакета Microsoft Office Excel.

Результаты и обсуждение. Предварительная ферментация оказала значительное влияние на кинетические параметры процесса гидратации исследуемых зерновых культур (таблица 1). Установлено, что во всем изученном диапазоне температур (20–100 °С) ферментированные образцы характеризовались более высокой скоростью набухания и меньшей продолжительностью достижения максимальной влагосодержащей способности.

Т а б л и ц а 1. Параметры гидратации ферментированных и нативных зерновых культур при оптимальной температуре (50 °С)

Table 1. Hydration parameters of fermented and native grain crops at an optimal temperature (50 °С)

Наименование крупы	Состояние	Максимальная степень гидратации, г H ₂ O/100 г сухого вещества	Время достижения максимальной гидратации, мин	Скорость гидратации, г/мин
Пшеница ферментированная	Ферментированная	158,5	32	4,95
	Нативная	145,2	45	3,23
Гречка ферментированная	Ферментированная	220,3	25	8,81
	Нативная	195,0	38	5,13
Рожь ферментированная	Ферментированная	165,8	35	4,74
	Нативная	152,1	50	3,04
Кукуруза ферментированная	Ферментированная	132,7	40	3,32
	Нативная	121,5	55	2,21

Как видно из данных таблицы, наибольший эффект от ферментации наблюдался у гречихи: скорость гидратации возросла на 71,7 %, а время достижения максимальной влагоемкости сократилось на 34,2 %. Это согласуется с данными [18], которые связывают подобный эффект с активным гидролизом ингибиторов ферментов и сложных полисахаридных комплексов в оболочке зерна под действием ферментов микробного происхождения, что облегчает диффузию воды вглубь частицы.

На рисунке 1 представлена зависимость изменения массы образцов ферментированной пшеницы от продолжительности процесса гидратации при различных температурах.

На рисунке 2 представлена зависимость изменения скорости массы образцов ферментированной пшеницы от продолжительности процесса гидратации при различных температурах.

Анализ кинетических кривых показал, что оптимальной температурой гидратации для всех исследуемых ферментированных культур является диапазон 45–55 °С, что соответствует максимальной скорости процесса. Дальнейшее повышение температуры не приводило к значительному увеличению скорости, но могло вызывать преждевременную желатинизацию поверхностного крахмала, затрудняющую диффузию воды [19].

Ключевым этапом исследования явилось определение продолжительности Sous-Vide обработки, необходимой для достижения оптимальной кулинарной готовности ферментированных и нативных образцов после их гидратации (таблица 2).

Т а б л и ц а 2. Технологические параметры процесса тепловой обработки ферментированных и нативных круп методом Sous-Vide (температура обработки 90 °С)

Table 2. Technological parameters of the Sous-Vide process for heat treatment of fermented and native cereals (processing temperature of 90 °С)

Наименование крупы	Состояние	Масса крупы (до/ после гидратации), г	Продолжительность Sous-Vide обработки, мин	
			без предварительной гидратации	с предварительной гидратацией
Пшеница	Ферментированная	50 / 79,3 ± 0,5	38 ± 1,5	20 ± 1,0
	Нативная	50 / 72,6 ± 0,6	50 ± 2,0	30 ± 1,5
Гречка	Ферментированная	50 / 110,2 ± 0,8	22 ± 1,0	10 ± 0,5
	Нативная	50 / 97,5 ± 0,7	30 ± 1,5	18 ± 1,0
Рожь	Ферментированная	50 / 82,9 ± 0,6	35 ± 1,5	18 ± 1,0
	Нативная	50 / 76,1 ± 0,5	45 ± 2,0	28 ± 1,5
Кукуруза	Ферментированная	50 / 66,4 ± 0,4	48 ± 2,0	25 ± 1,5
	Нативная	50 / 60,8 ± 0,5	60 ± 3,0	42 ± 2,0

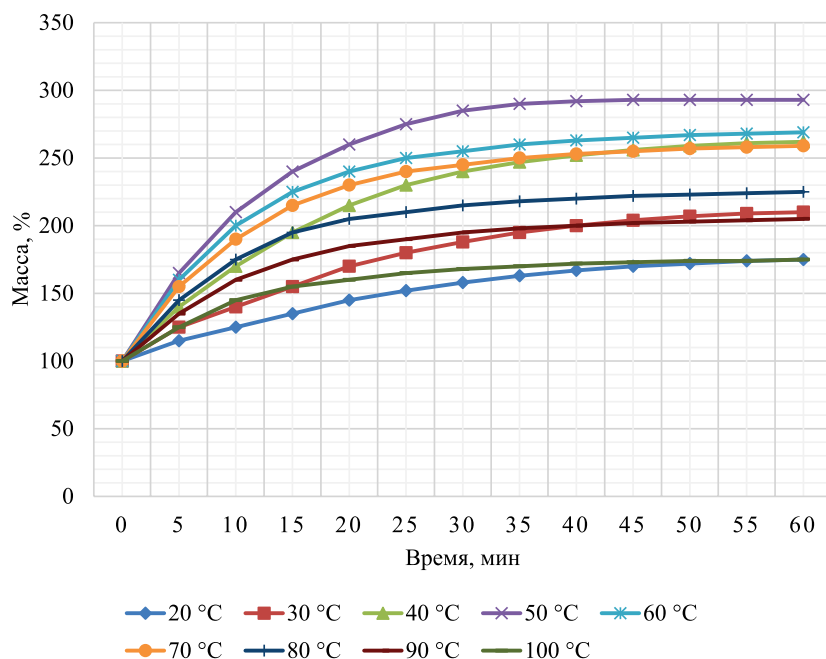


Рис. 1. Зависимость изменения массы образцов ферментированной пшеницы от продолжительности процесса гидратации при температурах: 1 – 20 °С, 2 – 30 °С, 3 – 40 °С, 4 – 50 °С, 5 – 60 °С, 6 – 70 °С, 7 – 80 °С, 8 – 90 °С, 9 – 100 °С

Fig. 1. Dependence of the mass change of fermented wheat samples on the duration of the hydration process at temperatures: 1 – 20 °C, 2 – 30 °C, 3 – 40 °C, 4 – 50 °C, 5 – 60 °C, 6 – 70 °C, 7 – 80 °C, 8 – 90 °C, 9 – 100 °C

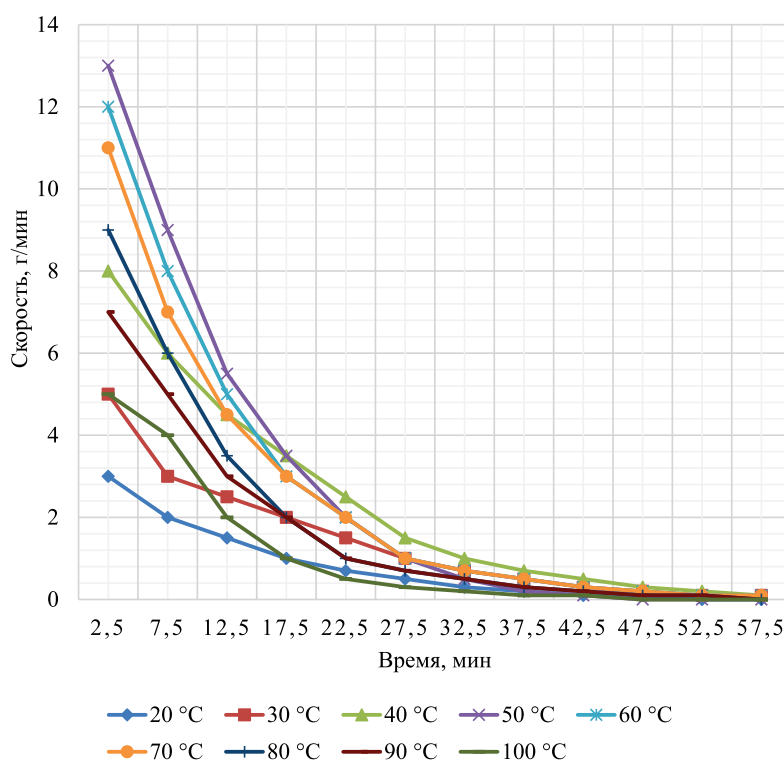


Рис. 2. Зависимость изменения скорости массы образцов ферментированной пшеницы от продолжительности процесса гидратации при температурах: 1 – 20 °С, 2 – 30 °С, 3 – 40 °С, 4 – 50 °С, 5 – 60 °С, 6 – 70 °С, 7 – 80 °С, 8 – 90 °С, 9 – 100 °С

Fig. 2. Dependence of the change in the rate of mass of fermented wheat samples on the duration of the hydration process at temperatures: 1 – 20 °C, 2 – 30 °C, 3 – 40 °C, 4 – 50 °C, 5 – 60 °C, 6 – 70 °C, 7 – 80 °C, 8 – 90 °C, 9 – 100 °C

Данные таблицы 2 наглядно демонстрируют синергетический эффект от сочетания ферментации и предварительной гидратации. Предварительная обработка позволила сократить время термического воздействия на 40–55 % для ферментированных образцов и на 30–40 % для нативных. Наибольшая экономия времени была достигнута для ферментированной гречихи (сокращение на 54,5 %), что полностью коррелирует с данными по кинетике ее гидратации. Это сокращение имеет не только экономическое значение (снижение энергозатрат), но и критично важно для сохранения нутриентов, так как продолжительность теплового воздействия является одним из ключевых факторов, влияющих на степень деградации витаминов и биоактивных соединений [20].

Для оценки влияния параметров Sous-Vide обработки на пищевую ценность был проведен анализ ключевых компонентов в готовых продуктах. В таблице 3 представлены данные по массовой доле белка, жира и растворимых углеводов в образцах ферментированной пшеницы, обработанных при различных сочетаниях температур гидратации (T_1) и Sous-Vide обработки (T_2).

Т а б л и ц а 3. Показатели качества ферментированной пшеницы после Sous-Vide обработки при различных режимах

T a b l e 3. Quality indicators of fermented wheat after Sous-Vide processing under different conditions

Наименование показателя	Контроль (сырая ферментированная пшеница)	Образец № 1 ($T_1=50^\circ\text{C}$; $T_2=85^\circ\text{C}$)	Образец № 2 ($T_1=50^\circ\text{C}$; $T_2=90^\circ\text{C}$)	Образец № 3 ($T_1=60^\circ\text{C}$; $T_2=90^\circ\text{C}$)	Образец № 4 ($T_1=60^\circ\text{C}$; $T_2=100^\circ\text{C}$)
Массовая доля белка, %	$15,85 \pm 0,10$	$14,85 \pm 0,15$	$14,92 \pm 0,12$	$15,10 \pm 0,11$	$14,55 \pm 0,18$
Массовая доля жира, %	$1,85 \pm 0,05$	$1,82 \pm 0,06$	$1,80 \pm 0,05$	$1,78 \pm 0,06$	$1,75 \pm 0,07$
Массовая доля растворимых углеводов, %	$4,30 \pm 0,08$	$3,95 \pm 0,10$	$4,12 \pm 0,09$	$4,28 \pm 0,07$	$3,87 \pm 0,12$
Сохранность витаминов группы В, %	$100,0 \pm 1,5$	$88,0 \pm 2,0$	$91,0 \pm 1,8$	$93,0 \pm 1,7$	$68,0 \pm 3,0$
Антиоксидантная активность (АОА), %	$100,0 \pm 1,2$	$92,0 \pm 1,8$	$94,0 \pm 1,5$	$96,0 \pm 1,3$	$72,0 \pm 2,5$

Анализ данных показывает, что наилучшие показатели по сохранности и, возможно, доступности белка, растворимых углеводов, а также по сохранности витаминов и антиоксидантной активности наблюдаются в образце № 3 (предварительная гидратация при 60°C и Sous-Vide обработка при 90°C). Данный режим обеспечивает сохранность более 90 % витаминов и 96 % антиоксидантной активности.

Повышение температуры термической обработки до 100°C (образец № 4) приводит к заметному снижению содержания как белка (вероятно, за счет взаимодействия с редуцирующими сахарами по реакции Майяра), так и растворимых углеводов, а также вызывает значительные потери витаминов (сохранность всего 68 %) и антиоксидантов (сохранность 72 %), что сопоставимо с традиционной варкой. Полученные результаты хорошо согласуются с выводами работы [21], где также отмечался оптимум температуры обработки зерновых продуктов в диапазоне $85\text{--}95^\circ\text{C}$.

Таким образом, комбинация режимов $T_1=60^\circ\text{C}$ и $T_2=90^\circ\text{C}$ является оптимальной для получения продукта с максимальной пищевой и функциональной ценностью.

Важнейшим аспектом являлась оценка сохранности витаминов и антиоксидантной активности (АОА). Сохранность витаминов группы В и антиоксидантной активности в ферментированной гречихе после различных способов тепловой обработки представлена на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3, традиционная варка вызывала значительные потери витаминов (25–35 %) и снижение АОА на 30 %. Обработка методом Sous-Vide при 90°C в течение 10 мин, что было достаточно для достижения кулинарной готовности предварительно ферментированной и гидратированной гречихи, позволила сохранить до 92 % витаминов и 95 % от исходной антиоксидантной активности. Данный эффект объясняется щадящим температурным режимом и отсутствием выщелачивания водорастворимых нутриентов в окружающую

среду, так как продукт готовится в собственном соку в герметичной упаковке [22, 23]. Повышение температуры Sous-Vide обработки до 100 °С нивелировало преимущества метода, приводя к потерям, сопоставимым с традиционной варкой.

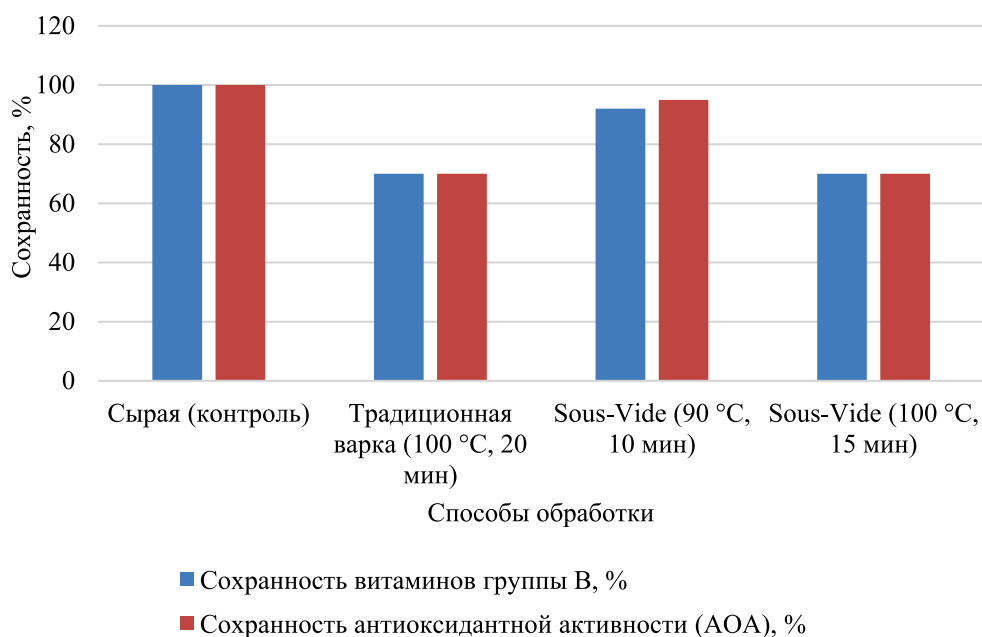


Рис. 3. Сохранность витаминов группы В и антиоксидантной активности (АОА) в ферментированной гречихе после различных способов тепловой обработки: 1 – сырая (контроль), 2 – традиционная варка (100 °C, 20 мин), 3 – Sous-Vide (90 °C, 10 мин), 4 – Sous-Vide (100 °C, 15 мин)

Fig. 3. Preservation of B vitamins and antioxidant activity (AOA) in fermented buckwheat after various heat treatment methods: 1 – raw (control), 2 – traditional cooking (100 °C, 20 min), 3 – Sous-Vide (90 °C, 10 min), 4 – Sous-Vide (100 °C, 15 min)

Закключение. Проведенные комплексные исследования позволили установить существенное влияние предварительной ферментации на кинетику гидратации и последующей Sous-Vide обработки зерновых культур (пшеницы, гречихи, ржи, кукурузы). Ферментация с использованием культур *Lactobacillus acidophilus* и *Streptococcus thermophilus* привела к значительной биотрансформации матрикса зерна, что проявилось в увеличении скорости гидратации на 25–71 % и сокращении времени достижения максимальной влагоемкости на 25–35 % в зависимости от культуры.

Установлено, что комбинация ферментации и предварительной гидратации позволяет сократить продолжительность энергоемкого этапа Sous-Vide обработки на 40–55 % по сравнению с обработкой нативных негидратированных круп, что имеет значительный экономический эффект и минимизирует термическую деградацию нутриентов.

Оптимальными параметрами для обработки ферментированных зерновых культур являются: температура предварительной гидратации 45–55 °C, температура Sous-Vide обработки 85–90 °C. Режим Sous-Vide обработки при 90 °C в течение 10–25 минут (в зависимости от культуры) после предварительной гидратации обеспечивает не только достижение оптимальных структурно-механических и органолептических показателей, но и максимальную сохранность витаминов группы В (85–92 %) и антиоксидантной активности (90–95 %).

Разработанные режимы представляют практическую ценность для создания новых видов функциональных пищевых продуктов на основе ферментированных зерновых культур с повышенной пищевой ценностью, улучшенной усвояемостью и пролонгированными сроками хранения.

Список использованных источников

1. Gibson, G. R. Probiotics and prebiotics in nutrition / G. R. Gibson, M. B. Roberfroid // *Clinical Nutrition*. – 2008. – Vol. 27, Issue 5. – P. 679–681.
2. Марченко, Е. В. Функциональные пищевые продукты: современное состояние и перспективы развития / Е. В. Марченко, В. М. Позняковский // *Вопросы питания*. – 2019. – Т. 88, № 4. – С. 5–13.

3. Shewry, P. R. Do ancient types of wheat have health benefits compared with modern bread wheat? / P. R. Shewry, S. Hey // *Journal of Cereal Science*. – 2015. – Vol. 65. – P. 236-243.
4. Hurrell, R. F. Iron bioavailability and dietary reference values / R. F. Hurrell, I. Egli // *The American Journal of Clinical Nutrition*. – 2010. – Vol. 91, no. 5. – P. 1461S-1467S.
5. Лабутина, О.В. Влияние фитиновой кислоты на минеральный обмен / О.В. Лабутина, А.А. Кочеткова // *Вопросы питания*. – 2017. – Т. 86, № S2. – С. 112-113.
6. Шаршунов В. А., Желудков А. Л., Барашков А. С. Комплексный анализ качества зерна злаковых культур как сырья для получения безглютеновых каш готовых к употреблению // *Механика и технологии. Научный журнал*. – 2024. – № 1(83). – С. 65–76. URL: <https://doi.org/10.55956/LQUM3012>.
7. Нетребенко, О. К. Ферментированные продукты на зерновой основе для детского питания / О. К. Нетребенко, И. Я. Конь // *Педиатрия. Журнал им. Г. Н. Сперанского*. – 2018. – Т. 97, № 1. – С. 137-143.
8. Katina, K. Fermentation-induced changes in the nutritional value of native or germinated rye / K. Katina, A.-M. Laitila, R. Juvonen et al. // *Journal of Cereal Science*. – 2007. – Vol. 46, Issue 3. – P. 348-355.
9. Coda, R. Biotechnological exploitation of cereals and pseudocereals for the development of gluten-free functional foods / R. Coda, C. G. Rizzello, D. Pinto, M. Gobbetti // *Functional Foods and Biotechnology*. – 2020. – P. 235-274.
10. Arendt, E. K. The influence of lactic acid fermentation on functional properties of pseudo-cereal flours / E. K. Arendt, E. Zannini // *Cereal Chemistry*. – 2013. – Vol. 90, Issue 2. – P. 135-142.
11. Singh, S. Cooking of cereals: A review / S. Singh, S. Gamalath, L. Wakeling // *Journal of Food Engineering*. – 2007. – Vol. 79, Issue 2. – P. 547-556.
12. Rickman, J. C. Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables. Part II. Vitamin A and carotenoids, vitamin E, minerals and fiber / J. C. Rickman, D. M. Barrett, C. M. Bruhn // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. – 2007. – Vol. 87, Issue 7. – P. 1185-1196.
13. Кудряшов, Л. С. Потери пищевых веществ при кулинарной обработке продуктов / Л.С. Кудряшов // *Пищевая промышленность*. – 2016. – № 5. – С. 44-47.
14. Baldwin, D. E. Sous vide cooking: A review / D. E. Baldwin // *International Journal of Gastronomy and Food Science*. – 2012. – Vol. 1, Issue 1. – P. 15-30.
15. Schellekens, M. New research issues in sous-vide cooking / M. Schellekens // *Trends in Food Science & Technology*. – 1996. – Vol. 7, Issue 8. – P. 256-262.
16. Шаршунов, В. А. Получение биологически активного сырья из зерна проса для производства безглютеновых хлебобулочных изделий / В. А. Шаршунов, Е. Н. Урбанчик, А. И. Масальцева, М. Н. Галдова // *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2019. – № 2. – С. 275–279.
17. Власова, Е. С. Применение технологии Sous-Vide для обработки растительного сырья / Е. С. Власова, А. Б. Лисицын // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2020. – № 3. – С. 56-67.
18. Nionelli, L. Effect of sourdough fermentation on stabilisation, and chemical and nutritional characteristics of wheat germ / L. Nionelli, C. G. Rizzello, R. Coda et al. // *Food Chemistry*. – 2010. – Vol. 119, Issue 3. – P. 1079-1089.
19. Turhan, M. Hydration kinetics of wheat grains / M. Turhan, S. Gunasekaran // *Journal of Food Engineering*. – 2002. – Vol. 52, Issue 4. – P. 349-353.
20. Roux, S. The effect of cooking on the vitamin content of vegetables / S. Roux, M. Holden, G. Duodu // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2008. – Vol. 21, Issue 5. – P. 361-365.
21. Devi, N. L. Effect of processing on nutritional and anti-nutritional properties of millets / N. L. Devi, A. Shobha, C. T. Devi // *Journal of Food Science and Technology*. – 2015. – Vol. 52, Issue 11. – P. 6847-6855.
22. Gonzalez-Fandos, E. The influence of sous-vide cooking on the quality and safety of broccoli / E. Gonzalez-Fandos, A. Villarino-Rodriguez // *CyTA - Journal of Food*. – 2015. – Vol. 13, Issue 3. – P. 435-441.
23. Погожева, А. В. Сохранность витаминов при различных способах кулинарной обработки пищи / А. В. Погожева, О. В. Батулин // *Вопросы питания*. – 2015. – Т. 84, № S1. – С. 86-87.
24. Poutanen, K. Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective / K. Poutanen, L. Flander, K. Katina // *Food Microbiology*. – 2009. – Vol. 26, Issue 7. – P. 693-699.
25. Thiele, C. Influence of processing conditions on the quality of spelt pasta / C. Thiele, S. Ganzle, M. G. Ganzle // *European Food Research and Technology*. – 2004. – Vol. 218, Issue 5. – P. 487-492.
26. Rocchetti, G. Functional implications of bound phenolic compounds and phenolics–food interaction: A review / G. Rocchetti, L. Lucini, G. Chiodelli et al. // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2018. – Vol. 17, Issue 1. – P. 195-218.
27. Санникова, Т. А. Современные технологии переработки зерна / Т. А. Санникова, В. М. Позняковский. – Новосибирск: СибУПК, 2018. – 342 с.
28. Fellows, P. J. *Food Processing Technology: Principles and Practice* / P. J. Fellows. – 4th ed. – Woodhead Publishing, 2017. – 1152 p.

29. Зыкина, О. В. Биотехнология ферментированных пищевых продуктов / О. В. Зыкина, И. Н. Семенова. – СПб.: Профессия, 2019. – 456 с.
30. Ray, R.C. Fermented Foods: Part II: Technological Interventions / R. C. Ray, M. A. Montet. – CRC Press, 2017. – 476 p.

Информация об авторах

Шаршунов Вячеслав Алексеевич, научный руководитель, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, профессор кафедры техносферной безопасности и общей физики, доктор технических наук, профессор, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий. (пр. Шмидта, 3, г. Могилев, 212027, Республика Беларусь).

Барашков Андрей Сергеевич, аспирант, начальник отдела цифрового образования института повышения квалификации и переподготовки, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий. (пр. Шмидта, 3, г. Могилев, 212027, Республика Беларусь).

E-mail: and771_b@mail.ru

Касьянова Анастасия Игоревна, студент, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. (ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь).

Information about authors

Sharchunov Vyachaslau Alexeyevich, Scientific director, corresponding member of the National Academy of Sciences of Belarus, professor of the Department of Technosphere Safety and General Physics, Doctor of Sciences in Technology, professor of the Belarusian State University of Food Technology and Technologies. (3, Schmidt ave., Mogilev, 212027, Republic of Belarus).

Barashkau Andrei Sergeevich, Postgraduate student, Head of the Digital Education Department at the Institute for Advanced Training and Retraining, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies. (3, Schmidt ave., Mogilev, 212027, Republic of Belarus).

E-mail: and771_b@mail.ru

Anastasiya Igorevna Kasyanova, student, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. (6, P. Brovka Str., Minsk, 220013, Republic of Belarus).

УДК 637.136.5:637.123

Поступила в редакцию 15.09.2025
Received 15.09.2025¹Д. С. Лозовская, ²О. В. Дымар¹*Гродненский государственный аграрный университет,
г. Гродно, Республика Беларусь*²*Представительство АО «МЕГА» (Чешская Республика),
г. Минск, Республика Беларусь*

ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК, АМИНОКИСЛОТНОГО И ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА МОЛОЗИВА- СЫРЬЯ В ТЕЧЕНИИ ЛАКТАЦИОННОГО ПЕРИОДА

Аннотация. В настоящее время мировая и, в частности, белорусская молочная отрасль, находясь в состоянии непрерывного поиска путей расширения ассортимента продукции, обладающей улучшенными органолептическими и пищевыми свойствами, а также оказывающей положительный физиологический эффект на организм при систематическом употреблении. Одним из вариантов решения данной проблемы является выпуск новых наименований из нестандартного пищевого сырья, которое характеризуется в сравнении с традиционными сырьевыми ресурсами повышенной пищевой и биологической ценностью. Особое значение в этом отношении имеет коровье молозиво, которое по содержанию пищевых компонентов значительно превосходит цельное молоко, а также способно оказывать оздоравливающее воздействие на организм человека.

Однако, применение молозива в качестве сырья для производства пищевых продуктов невозможно без детального изучения его качественных характеристик и их изменения в течение лактационного периода. В статье исследованы органолептические, физико-химические, реологические и микробиологические показатели молозива различного временного периода после отела, а также динамика его аминокислотного и жирнокислотного состава. Определено, что в первые сутки после отела молозиво имеет показатели, максимально отличные от таковых в цельном молоке. В последующие часы наблюдается динамика основных качественных характеристик в направлении приближения к значениям, соответствующим цельному молоку. Молозиво, полученное в первый час после отела, характеризуется повышенным содержанием аминокислот в сравнении с сырьем, собранным спустя 72 часа, и нормальным молоком. Содержание и соотношение жирных кислот в молозиве не претерпевает значительных изменений в период от 1 до 72 часов после отела.

Ключевые слова: молозиво, аминокислотный и жирнокислотный состав, органолептические показатели, консистенция, вкус, запах, массовая доля, плотность, кислотность, микробиологические показатели, вязкость, химический состав, аминокислотный скор, эталонный белок.

¹D. S. Lozovskaya, ²O. V. Dymar¹*Grodno state agrarian University, Grodno, Republic of Belarus*
Representative of MEGA a.s. (Czech Republic) in Republic of Belarus

STUDY OF QUALITATIVE CHARACTERISTICS, AMINO ACID AND FATTY ACID COMPOSITION OF RAW COLOSTRUM DURING THE LACTATION PERIOD

Abstract. Currently, the global and, in particular, the Belarusian dairy industry are in a state of continuous search for ways to expand the range of products with improved organoleptic and nutritional properties, as well as having a positive physiological effect on the body with systematic use. One of the options for solving this problem is the release of new names from non-standard food raw materials, which are characterized by increased nutritional and biological value in comparison with traditional raw materials. Of particular importance in this regard is cow's colostrum, which significantly exceeds whole milk in terms of nutritional components and is also capable of having a healing effect on the human body.

However, the use of colostrum as a raw material for the production of food products is impossible without a detailed study of its quality characteristics and their changes during the lactation period. The article examines the organoleptic, physicochemical, rheological and microbiological parameters of colostrum at different time periods after calving, as well as the dynamics of its amino acid and fatty acid composition. It has been determined that in the first day after calving, colostrum has indicators that are maximally different from those in whole milk. In the following hours, the dynamics of the main quality characteristics are observed in the direction of approaching the values corresponding to whole milk. Colostrum obtained in the first hour after calving is characterized by an increased content of amino acids compared to raw materials collected after 72 hours and normal milk. The content and ratio of fatty acids in colostrum do not undergo significant changes in the period from 1 to 72 hours after calving.

Keywords: colostrum, amino acid and fatty acid composition, organoleptic indices, consistency, taste, smell, mass fraction, density, acidity, microbiological indices, viscosity, chemical composition, amino acid rate, reference protein.

Введение. Правильное и сбалансированное питание населения в условиях повсеместного ухудшения экологической обстановки, обусловленной усиленным развитием промышленно-сти, является одной из важнейших задач, стоящих перед большинством развитых стран мира. В настоящее время тенденция в питании такова – люди потребляют больше продуктов с высоким содержанием калорий, жиров, свободных сахаров и соли/натрия, не потребляют достаточно фруктов, овощей и других видов клетчатки, таких как цельные злаки. Также в последние годы в рационе населения планеты наблюдается снижение потребления пищевых источников энергии и белка (особенно у групп населения с низкими доходами). Такая ситуация приводит к значительным нарушениям обмена веществ в организме, что способствует развитию ожирения как у взрослых, так и у детей. За последние годы резко возросла частота появления «заболеваний пожилого возраста», предпосылки к которым накапливаются в течение всей жизни человека: сердечно-сосудистые заболевания, рак, диабет, инсульт, катаракта и глаукома, остеопороз, некоторые болезни мозга и нервной системы, например, болезнь Паркинсона и т.д. Особое беспокойство вызывают сердечно-сосудистые и онкологические заболевания у лиц молодого и среднего возраста [1,2]. Указанные тенденции характерны и для Республики Беларусь.

Всемирная Организация Здравоохранения подчеркивает, что здоровое питание на протяжении всей жизни способствует профилактике целого ряда неинфекционных заболеваний и нарушений здоровья, повышению работоспособности и продлению жизни, обеспечивает нормальный рост и развитие детей, создавая при этом условия для адекватной адаптации их к окружающей среде [3]. В связи с этим, производство продуктов, обеспечивающих нормальное функционирование и оздоровление организма, является актуальной задачей для современной пищевой промышленности.

Значительные перспективы в реализации данного направления имеет использование сырья повышенной пищевой и биологической ценности. Для молочной промышленности таким ресурсом является молозиво. Ввиду неизученности состава и свойств до настоящего времени его переработка предприятиями не освоена. Однако с позиций объемов получения и уникальных пищевых особенностей данное сырье вполне может быть использовано для производства специализированной линейки пищевых продуктов, ориентированных на отдельные потребительские группы – лиц, проходящих реабилитацию после перенесенных заболеваний, детей, пенсионеров и др. [4]. Однако изменения в составе молозива обуславливают его отличные от нормального молока характеристики. Разработка и обоснование операций промышленной переработки колоострума должны базироваться на знании закономерностей изменения его свойств.

В связи с этим, целью исследований явилось изучение качественных характеристик, аминокислотного и жирнокислотного состава молозива-сырья в течение лактационного периода.

Научная задача – изучение органолептических характеристик, физико-химических, реологических и микробиологических показателей молозива коров белорусской черно-пестрой породы, полученного в различные временные периоды после отела, определение тенденций их изменения в течение начального периода лактации.

Материалы и методы исследований. Объектом исследований явилось молозиво коров белорусской черно-пестрой породы УО СПК «Путришки» трех лактаций (первой, второй и четвертой), собранное в следующей временной последовательности (часов после отела): 1, 4, 8, 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168. В качестве контрольного образца было взято зрелое молоко от коровы черно-пестрой породы из основного поголовья.

В исследуемых пробах были определены в динамике следующие показатели:

- ♦ органолептические показатели — сенсорным методом, оценка цвета, консистенции и внешнего вида — визуально;
- ♦ массовая доля сухих веществ, % — по ГОСТ 3626-76, п.3;
- ♦ массовая доля жира, % — по ГОСТ 5867-90, п.2;
- ♦ массовая доля общего белка, % — согласно СТБ ISO 8968-1-2008;
- ♦ массовая доля сывороточных белков, % — по ГОСТ Р 54756-2011;
- ♦ массовая доля казеина, % — по ГОСТ ISO 17997-1-2021, ISO 17997-1:2004;
- ♦ массовая доля лактозы, % — по МВИ.МН 4475-2012;
- ♦ массовая доля небелкового азота, % — согласно «Состав и свойства молока, как сырья для молочной промышленности»;
- ♦ массовая доля золы, % — по МВИ.МН 5155-2015;
- ♦ массовая доля фосфора, % — по ГОСТ 30615-99;
- ♦ содержание кальция, магния, калия, натрия, мг/л — по ГОСТ ISO 8070/IDF 119-2014;
- ♦ динамическая вязкость, МПА·с, на программируемом вискозиметре Брукфильда, модель LVDV-II+PRO (производство США);
- ♦ плотность, г/см³ — по ГОСТ 3625-84;
- ♦ титруемая кислотность, °Т — по ГОСТ 3624-92;
- ♦ активная кислотность (рН) — по ГОСТ 26781-85;
- ♦ удельная электропроводность, мСм/см, по кондуктометру (по методике эксплуатации кондуктометра);
- ♦ количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) — по ГОСТ 32901-2014;
- ♦ количество соматических клеток — по ГОСТ 23453-2014.

Объектом исследований при изучении аминокислотного и жирнокислотного состава молозива явились образцы, полученные от коров белорусской черно-пестрой породы УО СПК «Путришки» первой, второй и четвертой лактаций, собранные спустя 1 и 72 часов после отела, в которых были определены следующие показатели:

- ♦ содержание жирных кислот, г/100 г — по МВИ.МН 1364-2000;
- ♦ содержание аминокислот, мг/100 г — по МВИ.МН 1363-2000.

Изучение общей бактериальной обсемененности молозива в течение исследуемого периода осуществляли путем определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов по ГОСТ 32901-2014.

Результаты исследований и их обсуждение. Образцы молозива, собранные в период от 1 до 168 часов после отела включительно, приведены на рис. 1. Результаты исследований образцов молозива по органолептическим показателям представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Изменение органолептических показателей молозива от коров осенне-зимнего периода содержания

Table 1. Changes in organoleptic parameters of colostrum from cows kept in autumn-winter period

Наименование показателя	Часы после отела										Цельное молоко [5]		
	1	4	8	12	24	48	72	96	120	144		168	
Внешний вид и консистенция	Однородная, густая, вязкая, непрозрачная жидкость без осадка, сгустков, хлопьев белка				Однородная, вязкая, непрозрачная жидкость без осадка, сгустков, хлопьев белка		Однородная, в меру вязкая, непрозрачная жидкость без осадка, сгустков, хлопьев белка		Однородная непрозрачная жидкость без осадка, сгустков, хлопьев белка			Однородная непрозрачная жидкость без осадка, сгустков, хлопьев белка	
Вкус и запах	Специфический запах, излишне соленый вкус				Специфический запах, солоноватый вкус		Чистые, без посторонних привкусов и запахов		Чистые, без посторонних привкусов и запахов			Чистые, без посторонних привкусов и запахов, не свойственных свежему молоку	
Цвет	Светло-коричневый, равномерный по всей массе				Темно-желтый, равномерный по всей массе		Желтый, равномерный по всей массе		Кремовый, однородный по всей массе		Белый со слегка желтоватым или кремовым оттенком, однородный по всей массе		От белого до светло-кремового, однородный по всей массе

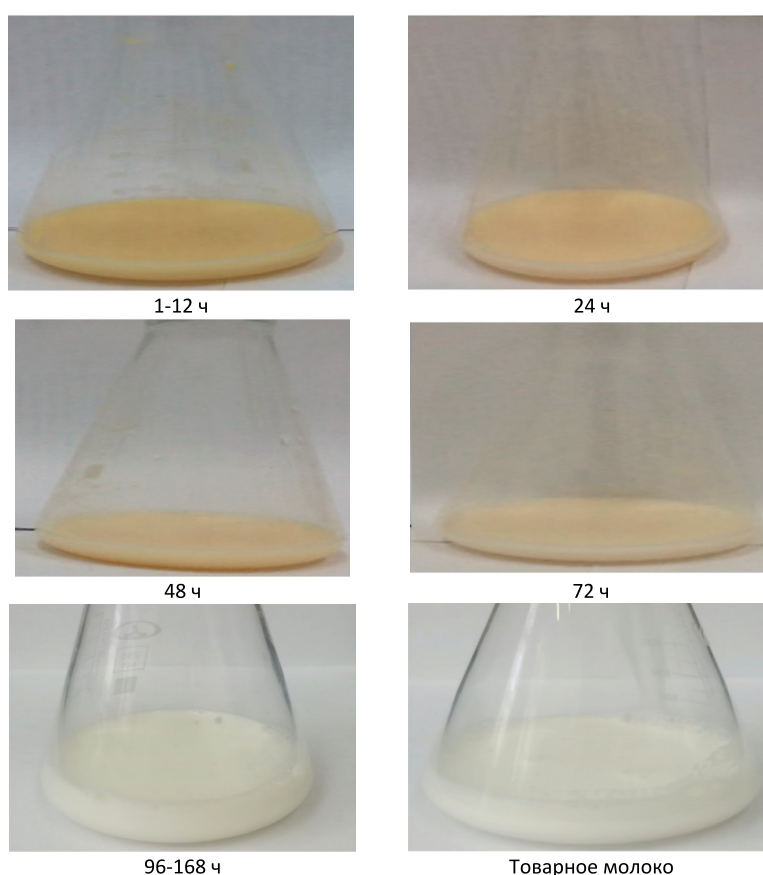


Рис. 1. Образцы молозива (ч – часы после отела)

Fig. 1. Colostrum samples (h – hours after calving)

Результаты изучения образцов молозива, собранных в период от 1 до 168 часов после отела, по органолептическим показателям показывают, что они претерпевают значительные изменения в течение исследуемого периода (рис. 1, табл. 1). Сырье, собранное в первые сутки после отела (до 24 часов), характеризуется густой, вязкой, непрозрачной консистенцией без осадка, сгустков, хлопьев белка, специфическим запахом и соленым вкусом, а также светло-коричневым, равномерным по всей массе цветом. Для молозива, собранного от 24 до 48 часов после отела, так же характерны вязкая консистенция, специфический запах и незначительный солоноватый вкус, цвет меняется от темно-желтого до желтого. В период от 72 до 96 часов после отела оно приобретает чистый, без посторонних привкусов и запахов вкус, имеет от кремового до белого с кремовым оттенком цвет. С 96 по 168 часов после отела молозиво представляет собой однородную жидкость без осадка, сгустков, хлопьев белка, без посторонних привкусов и запахов, с равномерным белым с кремовым или желтоватым оттенком цветом, т.е. сырье, полученное в указанный период, по органолептическим показателям соответствует цельному молоку.

Результаты исследований образцов молозива по показателям химического состава представлены в табл. 2.

Анализ полученных данных показывает, что практически все показатели состава молозива в течение начального периода лактации варьируются в широких пределах с достижением максимальных значений в начале молозивного периода (1-24 часа) и постепенным переходом спустя 168 часов после отела к значениям, характерным для цельного молока.

Так, в молозиве, полученном от 1 до 24 часов после отела, массовая доля сухих веществ меняется в пределах от $27,7 \pm 3,44$ % до $17,4 \pm 1,74$ %, общего белка – от $19,28 \pm 1,97$ % до $8,87 \pm 0,89$ %, казеина – от $12,12 \pm 1,02$ % до $4,85 \pm 0,52$ %, сывороточных белков – от $6,78 \pm 0,72$ % до $3,64 \pm 0,34$ %, жира – от $6,00 \pm 0,42$ % до $3,93 \pm 0,34$ %, золы – от $1,13 \pm 0,06$ % до $1,04 \pm 0,05$ %; фосфора – от $0,18 \pm 0,02$ % до $0,19 \pm 0,02$ %, концентрация: кальция – от $910,03 \pm 179,08$ мг/л до $1149,91 \pm 221,81$ мг/л, магния – от $189,57 \pm 15,77$ мг/л до $333,0 \pm 35,51$ мг/л, калия – от $1791,4 \pm 171,84$ до $2045,9 \pm 213,56$ мг/л, натрия – от $589,43 \pm 73,81$ мг/л до $704,58 \pm 92,09$ мг/л.

Т а б л и ц а 2. Химический состав молозива, (М±m)
 Т а b l e 2. Chemical composition of colostrum, (M±m)

Наименование показателя	Время после отела, ч.											Предел нормы для молока [6, 7]
	1	4	8	12	24	48	72	96	120	144	168	
Массовая доля сухих веществ, %	27,70 ±3,44	25,83 ±3,05	20,33 ±2,02	17,40 ±1,74	16,00 ±1,59	13,83 ±1,87	13,43 ±1,29	14,01 ±1,03	13,33 ±1,12	12,84 ±1,67	12,67 ±1,72	12-14
Массовая доля общего белка, %	19,28 ±1,97	14,73 ±1,41	11,09 ±1,07	8,87 ±0,89	6,17 ±0,38	4,88 ±0,46	4,07 ±0,28	3,57 ±0,33	3,52 ±0,21	3,48 ±0,18	3,41 ±0,36	2,9-3,5
Массовая доля казеина, %	12,12 ±1,02	8,34 ±0,87	6,22 ±0,73	4,85 ±0,52	3,86 ±0,41	3,01 ±0,39	2,46 ±0,27	2,34 ±0,09	2,28 ±0,12	2,21 ±0,07	2,26 ±0,08	2,1-2,9
Массовая доля сы- вороточных белков, %	6,78 ±0,72	6,02 ±0,61	4,50 ±0,48	3,64 ±0,34	1,94 ±0,02	1,52 ±0,04	1,32 ±0,08	0,95 ±0,14	0,64 ±0,05	0,71 ±0,07	0,52 ±0,02	0,5-0,6
Массовая доля не- белкового азота, %	0,06 ±0,01	0,06 ±0,02	0,06 ±0,02	0,06 ±0,01	0,06 ±0,01	0,05 ±0,01	0,05 ±0,01	0,03 ±0,05	0,05 ±0,03	0,05 ±0,03	0,06 ±0,02	0,024
Массовая доля жира, %	6,00 ±0,42	6,87 ±0,57	4,57 ±0,61	3,93 ±0,34	4,73 ±0,21	4,90 ±0,28	4,87 ±0,47	3,84 ±0,12	3,71 ±0,09	3,66 ±0,09	3,60 ±0,04	2,8-4,6
Массовая доля лак- тозы, %	1,82 ±0,52	1,84 ±0,48	1,83 ±0,48	1,96 ±0,36	2,05 ±0,41	3,15 ±0,42	4,21 ±0,23	4,36 ±0,08	4,54 ±0,05	4,68 ±0,05	4,82 ±0,04	4,7-5,0
Массовая доля золы, %	1,13 ±0,06	1,10 ±0,06	1,06 ±0,05	1,04 ±0,07	0,98 ±0,04	0,89 ±0,04	0,81 ±0,02	0,79 ±0,05	0,76 ±0,08	0,74 ±0,02	0,71 ±0,07	0,7
Массовая доля фос- фора, %	0,18 ±0,02	0,19 ±0,02	0,18 ±0,01	0,18 ±0,01	0,18 ±0,01	0,09 ±0,03	0,13 ±0,01	0,14 ±0,02	0,13 ±0,03	0,12 ±0,02	0,12 ±0,02	0,11
Кальций, мг/л	1149,91± 221,81	910,03 ±179,08	965,57 ±61,49	1081,64 ±148,94	794,13 ±61,54	720,52 ±89,93	682,46 ±52,35	674,25 ±58,54	681,19 ±54,12	688,62 ±57,03	690,78 ±49,58	697,84- 2083,45
Магний, мг/л	333,00 ±35,51	214,73 ±24,65	189,57 ±15,77	218,46 ±29,89	133,06 ±14,77	114,68 ±15,95	109,82 ±9,04	107,14 ±13,59	98,63 ±9,36	87,55 ±6,14	84,74 ±7,74	83,99- 207,24
Калий, мг/л	1860,07 ±278,94	1791,40 ±171,84	2045,90 ±213,56	1990,50 ±291,62	1850,82 ±264,53	1815,96 ±242,28	1805,69 ±149,82	1740,64 ±139,46	1706,98 ±213,78	1320,33 ±174,24	1240,4 ±95,97	917,91- 2838,83
Натрий, мг/л	689,09 ±93,31	704,58 ±92,09	623,56 ±87,16	589,43 ±73,81	504,43 ±60,93	458,70 ±31,66	480,01 ±34,22	530,74 ±57,45	384,61 ±21,06	420,68 ±22,18	390,42 ±25,23	280,94- 829,19

В молозиве, собранном от 24 до 72 часов после отела, показатели состава так же увеличены, но вместе с тем, отличаются от таковых в молозиве, полученном в период от 1 до 24 часов. Массовая доля сухих веществ в этот период меняется в пределах от $16,00 \pm 1,59$ % до $13,83 \pm 1,87$ %, общего белка – от $6,17 \pm 0,38$ % до $4,88 \pm 0,46$ %, сывороточных белков – от $1,94 \pm 0,02$ % до $1,52 \pm 0,04$ %, казеина – от $3,86 \pm 0,41$ % до $3,01 \pm 0,39$ %, жира – от $4,73 \pm 0,28$ % до $4,90 \pm 0,28$ %, золы – от $0,98 \pm 0,04$ % до $0,89 \pm 0,04$ %, фосфора – от $0,18 \pm 0,01$ % до $0,09 \pm 0,03$ %, концентрация: кальция – от $794,13 \pm 61,54$ мг/л до $720,52 \pm 89,93$ мг/л, магния – от $133,06 \pm 14,77$ мг/л до $114,68 \pm 15,95$ мг/л, калия – от $1850,82 \pm 264,53$ мг/л до $1815,96 \pm 242,28$ мг/л, натрия – от $504,43 \pm 60,93$ мг/л до $458,70 \pm 31,66$ мг/л.

Молозиво, собранное в период от 72 до 168 часов включительно после отела, характеризуется постепенным плавным переходом показателей состава к значениям, свойственным цельному молоку, а также нешироким пределом варьирования в сравнении с двумя предыдущими периодами. Так, массовая доля сухих веществ меняется в пределах от $13,43 \pm 1,29$ % до $12,67 \pm 1,72$ %, общего белка – от $4,07 \pm 0,28$ % до $3,41 \pm 0,36$ %, сывороточных белков – от $1,32 \pm 0,08$ % до $0,52 \pm 0,02$ %, казеина – от $2,46 \pm 0,27$ % до $2,21 \pm 0,07$ %, жира – от $4,87 \pm 0,47$ % до $3,60 \pm 0,04$ %, золы – от $0,81 \pm 0,02$ % до $0,71 \pm 0,07$ %, фосфора – от $0,14 \pm 0,02$ % до $0,12 \pm 0,02$ %, концентрация: кальция – от $681,19 \pm 54,12$ мг/л до $690,78 \pm 49,58$ мг/л, магния – от $109,82 \pm 9,04$ мг/л до $84,74 \pm 7,74$ мг/л, калия – от $1805,69 \pm 149,82$ мг/л до $1240,40 \pm 95,97$ мг/л, натрия – от $530,74 \pm 57,45$ мг/л до $384,61 \pm 21,06$ мг/л.

Изменение содержания белкового компонента молозива во времени описывается разработанной зависимостью:

$$Y = A \cdot X^B. \quad (1)$$

где Y – значения массовых долей исследуемых компонентов, %: Y_1 – общего белка; Y_2 – казеина; Y_3 – сывороточных белков; X – время после отела, ч; A и B – параметры регрессии, которые приведены в табл. 3; R – коэффициенты парной корреляции между показателями $\ln X$ и $\ln Y_i$.

Т а б л и ц а 3. Коэффициенты регрессии, корреляции и их стандартные ошибки показателей Y_i
T a b l e 3. Regression coefficients, correlations and their standard errors of Y_i indicators

Y_i	$A \pm s_A$	$B \pm s_B$	$R \pm s_R$
Y_1	$21,841 \pm 1,064$	$-0,378 \pm 0,017$	$0,9912 \pm 0,0886$
Y_2	$12,412 \pm 1,051$	$-0,355 \pm 0,013$	$0,9936 \pm 0,0713$
Y_3	$10,666 \pm 1,191$	$-0,536 \pm 0,047$	$0,9967 \pm 0,2495$

На рис. 2 отражены эмпирические зависимости и приведены линии тренда для вышеперечисленных показателей.

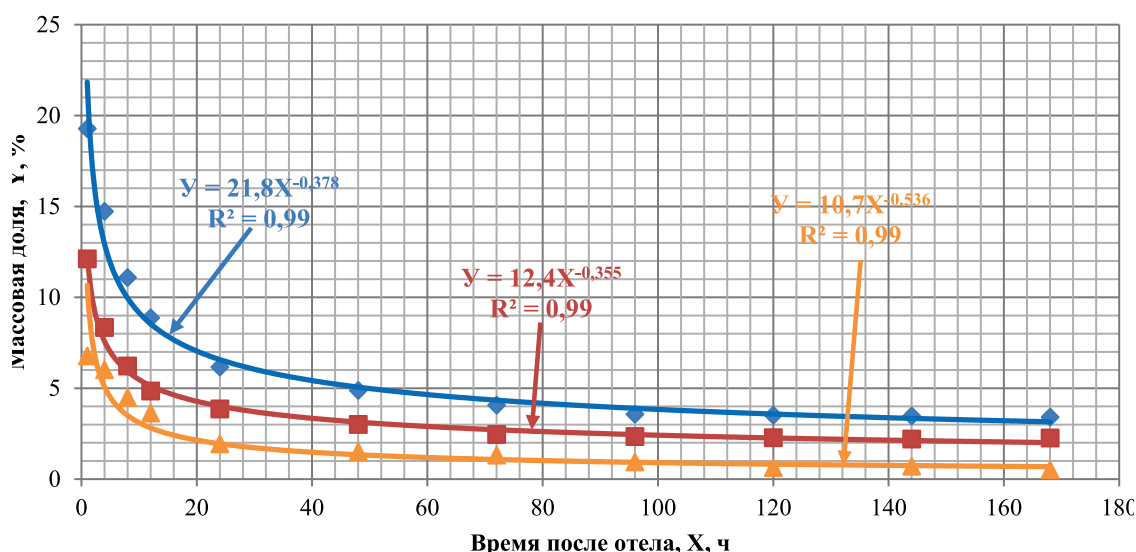


Рис. 2. Изменение показателей белкового состава молозива в период от 1 до 168 часов после отела
Fig. 2. Changes in the protein composition of colostrum in the period from 1 to 168 hours after calving

Построенные нелинейные регрессионные модели позволяют определять не только процентное содержание исследуемого компонента (Y , %) в молозиве по времени (X) после отела, не производя непосредственно химического анализа, но и определять также время X по известному показателю Y . Например, для достижения 9%-го уровня казеина в молозиве

понадобится порядка $\% = \left(\frac{A}{Y}\right)^{\frac{1}{B}} = \left(\frac{12,412}{9}\right)^{\frac{1}{0,355}} \approx 2,5$ часа времени после отела.

В целом, массовые доли основных компонентов молозива значительно снижаются в первые двое суток и к пятым–седьмым суткам после отела приближаются к значениям, характерным для цельного молока.

Исключением из общей тенденции значительного превышения в начальный период явились массовая доля небелкового азота и лактозы.

Количество лактозы в период от 1 до 24 часов после отела возросло с $1,82 \pm 0,52$ % до $1,96 \pm 0,36$ %. В молозиве, полученном от 24 до 72 часов после отела, колебание составило 1,1% – от $2,05 \pm 0,41$ % до $3,15 \pm 0,42$ %. Период сбора от 72 до 168 часов после отела характеризовался постепенным увеличением данного показателя от $4,21 \pm 0,23$ % до $4,82 \pm 0,04$ %. Необходимо отметить, что на конец исследуемого периода (спустя 168 часов) количество лактозы в молозиве соответствовало аналогичному показателю в цельном молоке.

Содержание небелкового азота на протяжении всего периода исследований (1–168 часов после отела) не претерпевало значительных изменений и варьировалось в пределах от 0,03 % до 0,06 %.

Исследования динамики химического состава молозива в течение начального периода лактации, приведенные в табл. 2, показывают, что массовая доля белков в нем максимальна в первый час после отела и составляет $19,28 \pm 1,97$ %. В последующие часы происходит постепенное снижение их концентрации и уже спустя 96 часов после отела концентрация данного компонента устанавливается практически на уровне цельного молока: $3,57 \pm 0,33$ % против (2,9–3,5) %. Поэтому наиболее целесообразным было изучить динамику изменения аминокислотного состава молозива от 1 до 72 часов после отела включительно, когда концентрация белков имеет максимальные значения. Результаты исследований приведены в табл. 4.

Исследования аминокислотного состава опытных образцов молозива показали, что он представлен 17 идентифицированными аминокислотами. Из них 64,7 % составляют незаменимые и условно незаменимые. Максимальная общая концентрация аминокислот наблюдается в первый час после отела: суммарное количество составляет $14781,0 \pm 3266,6$ мг/100г. Спустя 72 часа после отела их концентрация существенно снижается до $4060,7 \pm 897,4$ мг/100г, что связано со значительным снижением массовой доли общего белка в молозиве – до $4,3 \pm 0,28$ %. При этом спад по некоторым аминокислотам весьма существенный, так количество глютаминовой кислоты уменьшилось в 5,76 раза, треонина – в 6,13 раза, глицина – в 5,76 раза, а по цистеину снижение составило в 10,81 раза.

В целом, количество аминокислот даже в молозиве, полученном спустя 72 часа после отела, превышает таковое в цельном молоке, за исключением концентрации метионина ($27,2 \pm 6,0$ мг/100г против 68 мг/100г), лейцина ($257,4 \pm 57,4$ мг/100г против 278,0 мг/100г), цистеина ($11,6 \pm 2,6$ мг/100г против 32 мг/100г) и тирозина ($93,5 \pm 20,7$ мг/100г против 179 мг/100г), что возможно, обусловлено индивидуальными особенностями животных, от которых получено исследуемое сырье.

Результаты пересчета содержания аминокислот в 1 г белка молозива показывают, что качественный его состав в течение исследуемого периода так же изменяется, однако общая тенденция здесь не прослеживается. В молозиве, полученном спустя 1 час после отела, в сравнении с 72-часовым больше треонина, глицина, аланина, серина, тирозина, цистеина. При этом значительное превышение зафиксировано по серину (70,8 мг/1г против 47,3 мг/1г) и треонину (55,8 мг/1г против 36,4 мг/1г). Для молозива, собранного спустя 72 часов, наблюдается превалирование над 1-часовым по содержанию аспарагиновой, глютаминовой аминокислот, аргинина, пролина, метионина, лейцина, изолейцина, фенилаланина и гистидина. Наибольшее превышение характерно по метионину (в 1,62 раза) и аргинину (в 1,81 раза).

Базой для подбора сырья для производства продуктов повышенной биологической ценности является знание белкового состава, его изменения с учетом полного аминокислотного состава и расчетом биологической ценности белка. Для оценки биологической ценности продуктов питания наиболее перспективным и доступным сегодня является метод определения аминокислотного сора, при котором определяют отношение количества аминокис-

лоты в исследуемом белке к таковому в эталонном [8]. Эталонный белок представляет собой идеально сбалансированный по аминокислотному составу теоретический белок, в котором скор по каждой из незаменимых аминокислот по данным, утвержденным ФАО/ВОЗ в 1973 г и уточненным в 1985 г, а позднее в 2007 г и 2011 г равен 100%. С учетом погрешности (неопределенности) методов испытаний, составляющих от 5 до 10% относительности, полноценным принято считать белок, скор аминокислот которого равен 95% и более [9].

Т а б л и ц а 4. Аминокислотный состав молозива в период от 1 до 72 часов
T a b l e 4. Amino acid composition of colostrum in the period from 1 to 72 hours

Наименование аминокислоты	Единица измерения	Время после отела, ч.		Норма для молока [6, 7]
		1	72	
Массовая доля белка	%	17,2±1,97	4,3±0,28	2,9-3,5
<i>Содержание в 100 г образцов</i>				
Аспарагиновая	мг/100г	906,2±212,9	283,1±66,5	166,0
Глутаминовая	мг/100г	2086,6±478,3	725,8±166,3	680,0
Серин	мг/100г	1217,1±274,4	203,2±45,8	160,0
Треонин	мг/100г	959,2±214	156,5±34,9	164,0
Глицин	мг/100г	572,9±129,2	99,4±22,4	11,0
Аланин	мг/100г	641,1±145,0	149,8±33,9	75,0
Аргинин	мг/100г	411±93,5	185,6±42,2	129,0
Пролин	мг/100г	1116,1±246,9	300,4±66,5	250,0
Валин	мг/100г	986,7±218,4	238,2±52,7	216,0
Метионин	мг/100г	67,3±14,8	27,2±6,0	68,0
Лейцин	мг/100г	735,5±164,0	257,4±57,4	278,0
Изолейцин	/100г	1537,0±312,9	500,5±101,9	228,0
Фенилаланин	мг/100г	892,1±196,1	268,5±59,0	172,0
Тирозин	мг/100г	509,4±112,6	93,5±20,7	179,0
Цистеин	мг/100г	125,4±27,8	11,6±2,6	32,0
Лизин	мг/100г	1411,5±312,2	376,0±83,2	277,0
Гистидин	мг/100г	584,3±129,1	184,2±40,7	80,0
Суммарное количество аминокислот	-	14781,0±3266,6	4060,7±897,4	3165,0
<i>Содержание в 1 г белка (в пересчете)</i>				
Аспарагиновая	мг/1г	52,7	65,8	51,9
Глутаминовая	мг/1г	121,3	168,8	212,5
Серин	мг/1г	70,8	47,3	50,0
Треонин	мг/1г	55,8	36,4	51,3
Глицин	мг/1г	33,3	23,1	3,4
Аланин	мг/1г	37,3	34,8	23,4
Аргинин	мг/1г	23,9	43,2	40,3
Пролин	мг/1г	64,9	69,9	78,1
Валин	мг/1г	57,4	55,4	67,5
Метионин	мг/1г	3,9	6,3	21,3
Лейцин	мг/1г	42,8	59,9	86,9
Изолейцин	мг/1г	89,4	116,4	71,3
Фенилаланин	мг/1г	51,9	62,4	53,8
Тирозин	мг/1г	29,6	21,7	55,9
Цистеин	мг/1г	7,3	2,7	10,0
Лизин	мг/1г	82,1	87,4	86,6
Гистидин	мг/1г	34,0	42,8	25,0
ИТОГО	-	858,4	944,3	989,2

С целью определения биологической ценности молозива, полученного в исследуемый временной период (1 ч и 72 ч после отела), был произведен расчет количества незаменимых аминокислот в опытных образцах, а также расчет аминокислотного сора для каждой незаменимой аминокислоты. Результаты расчетов приведены в табл. 5.

Т а б л и ц а 5. Аминокислотный скор опытных образцов молозива
 T a b l e 5. Amino acid score of experimental colostrum samples

Наименование аминокислоты	Аминокислотный состав эталонного белка (ФАО/ВОЗ) г/100 г	Количество аминокислот в исследуемом белке, г/100г белка		Аминокислотный скор, %	
		1 ч после отела	72 ч после отела	1 ч после отела	72 ч после отела
Валин	4,30	5,74	5,54	133,49	128,84
Треонин	3,10	5,58	3,64	180,00	117,42
Фенилаланин+ тирозин	5,20	8,15	8,41	156,73	161,73
Лизин	5,70	8,21	8,74	144,04	153,33
Лейцин	6,60	4,28	5,99	64,85	90,76
Изолейцин	3,20	8,94	11,64	279,38	363,75
Гистидин	2,00	3,40	4,28	170,00	214,00
ИТОГО	32,80	44,69	48,87	-	-

Полученные расчетные данные показывают, что количество практически всех незаменимых аминокислот в молозиве, полученном как в первый час после отела, так и спустя 72 часа, выше, чем в эталонном белке. Особенно увеличено количество изолейцина. Так в молозиве, собранном спустя 1 час после отела, данный показатель в 2,8 раза выше, чем в эталонном белке, и составляет 8,94 г/100 г белка. При этом в последующие 72 часа происходит его увеличение до 11,64 г/100 г, что в 3,6 раза превышает аналогичный показатель в эталоне. Исключением из общей тенденции превалирования является количество лейцина. По данной аминокислоте наблюдаются более низкие значения как спустя 1 час после отела, так и по истечении 72 часов в сравнении с эталонным белком.

Полученные в ходе исследований данные позволили рассчитать аминокислотный скор эссенциальных аминокислот в опытных образцах молозива. Результаты расчетов показывают, что белок молозива, полученного как в первый час после отела, так и спустя 72 часа, отличается высокой биологической ценностью, что подтверждается высоким значением сора незаменимых аминокислот, превышающих скор незаменимых аминокислот идеального белка. Также установлено, что лимитирующей аминокислотой во всех образцах является лейцин, то есть именно она определяет степень усвоения всего белка.

Таким образом, можно сделать вывод, что молозиво, полученное в первый час после отела, характеризуется повышенным содержанием аминокислот в сравнении с молозивом, собранным спустя 72 часа, и цельным молоком: $14781,0 \pm 3266,6$ мг/100г против $4060,7 \pm 897,4$ мг/100г и 3165 мг/100г соответственно. Данное сырье может быть использовано для получения белкового концентрата с высоким аминокислотным скором с применением технологии мембранной фильтрации. Молозиво, полученное через 72 часа после отела, исходя из увеличенного в сравнении с цельным молоком количества аминокислот ($4060,7 \pm 897,4$ мг/100г против 3165 мг/100г), может быть использовано как ингредиент для производства ферментированных пищевых продуктов повышенной биологической ценности.

Исследуемые образцы молозива, собранные спустя 1 и 72 часов после отела включительно, также исследованы по жирнокислотному составу, с целью обоснования возможности выделения жирового компонента из молозива методом мембранной фильтрации и определения оптимального для этого периода сбора молозива. Полученные результаты приведены в табл. 6.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что молозиво, полученное в первый час после отела, характеризуется повышенным в сравнении с 72 часовым содержанием жирных кислот за исключением содержания стеариановой, элаидиновой+олеиновой, линолевой и пентадекановой кислот. Так, превышение содержания элаидиновой+олеиновой кислоты незначительно и составляет 0,125 г/100 г, в то время как количество стеариновой кислоты практически в 2 раза выше данного показателя в молозиве, собранном в течение часа после отела. В последующие 72 часа концентрация жирных кислот снижается, но не значительно.

В сравнении с коровьим молоком в молозиве, как 1-го часа после отела, так и полученном спустя 72 часа, повышено содержание миристиновой (соответственно $0,499 \pm 0,121$ г/100 г и $0,475 \pm 0,151$ г/100г против 0,403 г/100г), пальмитиновой (соответственно $1,864 \pm 0,607$ г/100 г и $1,382 \pm 0,555$ г/100г против 1,015 г/100г), линоленовой (соответственно $0,079 \pm 0,011$ г/100 г и $0,272 \pm 0,229$ г/100г против 0,061 г/100г), а также линолевой (соответственно $0,372 \pm 0,099$ г/100 г

и $0,205 \pm 0,046$ г/100г против $0,076$ г/100г) жирных кислот. Значительно меньше, чем в цельном молоке, в молозиве двух периодов арахидиновой кислоты – в среднем более, чем в 5 раз. Концентрации лауриновой, маргариновой, миростолленовой, пальмитиленовой, элаидиновой +олеиновой можно считать соответствующими уровню цельного молока.

Т а б л и ц а 6. Содержание жирных кислот в молозиве, собранном спустя 1 и 72 часов после отела включительно, и в цельном молоке
Table 6. Fatty acid content of colostrum collected 1 and 72 hours postpartum inclusive and of whole milk

Наименование жирной кислоты	Единица измерения	Время после отела, ч.		Содержание в цельном молоке [6]
		1	72	
Массовая доля жира	%	$4,92 \pm 0,42$	$4,72 \pm 0,47$	2,8-4,6
<i>Насыщенные</i>				
Капроновая	г/100 г	$0,079 \pm 0,048$	$0,112 \pm 0,067$	0,086
Каприловая	г/100 г	$0,055 \pm 0,022$	$0,092 \pm 0,034$	0,047
Каприновая	г/100 г	$0,167 \pm 0,037$	$0,148 \pm 0,048$	0,104
Лауриновая	г/100 г	$0,129 \pm 0,038$	$0,128 \pm 0,062$	0,129
Миристиновая	г/100 г	$0,499 \pm 0,121$	$0,475 \pm 0,151$	0,403
Маргариновая	г/100 г	$0,036 \pm 0,011$	$0,034 \pm 0,009$	0,036
Стеариновая	г/100 г	$0,260 \pm 0,137$	$0,506 \pm 0,218$	0,338
Пальмитиновая	г/100 г	$1,864 \pm 0,607$	$1,382 \pm 0,555$	1,015
Арахидиновая	г/100 г	$0,008 \pm 0,002$	$0,007 \pm 0,002$	0,042
Пентадекановая	г/100 г	$0,066 \pm 0,013$	$0,117 \pm 0,071$	-
Тридекановая	г/100 г	$0,004 \pm 0,001$	$0,004 \pm 0,002$	-
ИТОГО	г/100 г	3,167	3,005	-
<i>Мононенасыщенные</i>				
Миристоленовая	г/100 г	$0,064 \pm 0,018$	$0,031 \pm 0,008$	0,052
Пальмитоленовая	г/100 г	$0,142 \pm 0,041$	$0,072 \pm 0,018$	0,094
Элаидиновая+олеиновая	г/100 г	$0,875 \pm 0,222$	$0,999 \pm 0,326$	0,846
Цис-11-эйкозеновая	г/100 г	$0,004 \pm 0,001$	$0,003 \pm 0,001$	-
ИТОГО	г/100 г	1,085	1,105	-
<i>Полиненасыщенные</i>				
Арахидоновая	г/100 г	$0,067 \pm 0,018$	$0,024 \pm 0,008$	0,097
Линоленовая	г/100 г	$0,079 \pm 0,011$	$0,272 \pm 0,229$	0,061
Линолевая	г/100 г	$0,372 \pm 0,099$	$0,205 \pm 0,046$	0,076
Эйкозапентаеновая	г/100 г	$0,103 \pm 0,027$	$0,043 \pm 0,014$	-
Гамма-линолевая	г/100 г	$0,014 \pm 0,004$	$0,011 \pm 0,003$	-
Ундециловая	г/100 г	$0,003 \pm 0,001$	$0,003 \pm 0,001$	-
ИТОГО	г/100 г	0,638	0,558	-
Суммарное количество жирных кислот	г/100 г	4,890	4,668	-

В общем количестве среди жирных кислот в молозиве преобладают насыщенные – их количество составляет $3,167$ г/100 г спустя 1 час после отела и $3,005$ мг/100 г спустя 72 часа. Содержание мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот более, чем в три раза ниже как в молозиве, полученном спустя 1 час после отела, так и спустя 72 часа.

Результаты исследований изменения динамической вязкости и сопутствующих ей физических показателей в опытных образцах молозива и контрольном образце приведены на рис. 3 и в табл. 7.

На графике эмпирической зависимости показателя динамической вязкости (y) от времени после отела (x) (рис. 3) четко просматривается нелинейность связи. Построенная нелинейная регрессионная модель позволяет определять, так же как и в случае с изменением белкового компонента молозива, не только динамическую вязкость (y) в нем в зависимости от времени (x) получения, но не производя непосредственно анализа, вычислять также время по известному показателю динамической вязкости.

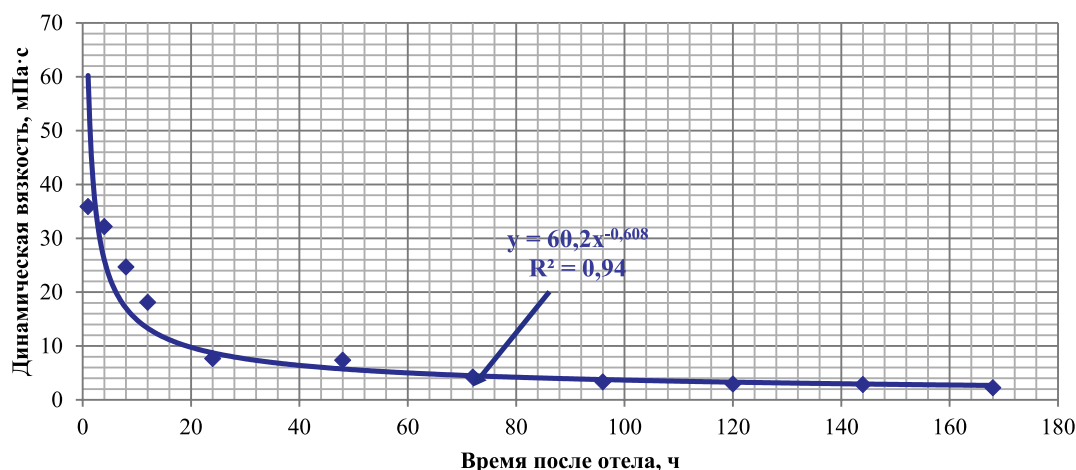


Рис. 3. Изменение показателя динамической вязкости молозива в период с 1 до 168 часов после отела
Fig. 3. Changes in the dynamic viscosity of colostrum in the period from 1 to 168 hours after calving

Т а б л и ц а 7. Изменение физико-химических показателей молозива в течение начального периода лактации

Table 7. Changes in physicochemical parameters of colostrum during the initial period of lactation

Наименование показателя	Время после отела, ч											Контрольный образец
	1	4	8	12	24	48	72	96	120	144	168	
Кислотность, °Т	58,00 ±3,00	54,00 ±2,00	49,00 ±2,00	43,00 ±2,00	40,00 ±2,00	29,00 ±2,00	20,00 ±2,00	18,00 ±1,00	19,00 ±1,00	18,00 ±1,00	17,00 ±1,00	17,00 ±1,00
pH	6,06 ±0,13	6,09 ±0,08	6,11 ±0,04	6,14 ±0,01	6,23 ±0,02	6,31 ±0,06	6,16 ±0,03	6,59 ±0,05	6,57 ±0,08	6,58 ±0,08	6,79 ±0,07	6,81 ±0,07
Плотность, г/см³	1,058 ±0,07	1,053 ±0,09	1,043 ±0,06	1,040 ±0,05	1,039 ±0,07	1,036 ±0,03	1,031 ±0,05	1,030 ±0,06	1,032 ±0,04	1,030 ±0,04	1,029 ±0,03	1,028 ±0,04
Удельная электропроводность, мСм/см	3,42 ±0,07	3,66 ±0,08	3,89 ±0,05	4,12 ±0,03	4,32 ±0,02	4,87 ±0,04	5,56 ±0,01	5,67 ±0,08	5,79 ±0,05	5,63 ±0,06	5,52 ±0,08	5,54 ±0,08

На основании анализа данных физико-химических исследований установлено, что молозиво, собранное в период от 1 до 24 часов после отела, характеризуется высокими значениями динамической вязкости – от $35,9 \pm 1,43$ мПа·с до $18,1 \pm 0,92$ мПа·с, кислотности – от $58,00 \pm 3,00$ °Т до $43,00 \pm 2,00$ °Т, и плотности – от $1,058 \pm 0,07$ г/см³ до $1,040 \pm 0,05$ г/см³. При этом в нем снижены значения pH и удельной электропроводности: они соответственно изменяются в пределах $(6,06 \pm 0,13 - 6,14 \pm 0,01)$ и $(3,42 \pm 0,07 - 4,12 \pm 0,03)$ мСм/см.

Период получения молозива от 24 до 72 часов после отела характеризуется снижением в сравнении с первым (от 1 до 24 часов) динамической вязкости ($7,67 \pm 0,84 - 7,36 \pm 0,93$ мПа·с) и плотности ($1,039 \pm 0,07 - 1,036 \pm 0,03$ г/см³) и соответствующим увеличением pH ($6,23 \pm 0,02 - 6,31 \pm 0,06$) и электропроводности ($4,32 \pm 0,03 - 4,87 \pm 0,04$ мСм/см). Необходимо отметить резкое скачкообразное (на 11 °Т) снижение в этот период кислотности с $40 \pm 2,00$ °Т до $29,00 \pm 2,00$ °Т.

В период от 72 до 168 часов после отела включительно изменение исследуемых физико-химических показателей, так же, как и показателей химического состава, характеризуется постепенным приближением к таковым, характерным для цельного молока. Так, динамическая вязкость варьировалась в пределах от $4,24 \pm 0,52$ мПа·с до $2,24 \pm 0,83$ мПа·с, кислотность – от $20,00 \pm 2,00$ °Т до $17,00 \pm 1,00$ °Т, плотность – от $1,032 \pm 0,04$ г/см³ до $1,029 \pm 0,03$ г/см³, pH – от $6,16 \pm 0,13$ до $6,79 \pm 0,07$, удельная электропроводность – от $5,56 \pm 0,01$ до $5,79 \pm 0,05$ мСм/см [14–А].

Результаты микробиологических исследований молозива, а также контрольного образца (цельное молоко) в течение начального периода лактации (1–168 ч после отела) приведены в табл. 8.

Т а б л и ц а 8. Бактериальная обсемененность и содержание соматических клеток в молозиве
T a b l e 8. Bacterial contamination and somatic cell content in colostrum

Время после отела, ч	КМАФАнМ, КОЕ/см ³	Количество соматических клеток в 1 см ³
1	$1,2 \times 10^4 \pm 1,0 \times 10^2$	$13,23 \times 10^5 \pm 0,52$
4	$1,8 \times 10^4 \pm 1,5 \times 10^2$	$13,19 \times 10^5 \pm 0,44$
8	$2,3 \times 10^4 \pm 1,5 \times 10^2$	$13,06 \times 10^5 \pm 0,51$
12	$2,8 \times 10^4 \pm 2,0 \times 10^2$	$12,93 \times 10^5 \pm 0,46$
24	$3,4 \times 10^4 \pm 2,0 \times 10^2$	$11,52 \times 10^5 \pm 0,56$
48	$6,2 \times 10^4 \pm 2,5 \times 10^2$	$10,24 \times 10^5 \pm 0,41$
72	$7,3 \times 10^4 \pm 3,0 \times 10^2$	$8,24 \times 10^5 \pm 0,42$
96	$8,5 \times 10^4 \pm 3,5 \times 10^2$	$7,53 \times 10^5 \pm 0,37$
120	$1,4 \times 10^5 \pm 3,0 \times 10^2$	$5,82 \times 10^5 \pm 0,32$
144	$1,9 \times 10^5 \pm 4,5 \times 10^2$	$3,36 \times 10^5 \pm 0,33$
168	$2,6 \times 10^5 \pm 5,0 \times 10^2$	$3,27 \times 10^5 \pm 0,29$
Цельное молоко	$3,4 \times 10^5 \pm 4,5 \times 10^2$	$2,12 \times 10^5 \pm 0,25$

Полученные в ходе исследований данные показали, что в первые часы после отела (период от 1 до 24 часов включительно) при температуре $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$ отмечен незначительный рост общего количества микроорганизмов (с $1,2 \times 10^4 \pm 1,0 \times 10^2$ до $3,4 \times 10^4 \pm 2,0 \times 10^2$ КОЕ/см³), что можно объяснить невысокой исходной бактериальной обсемененностью и наличием в молозиве бактерицидных веществ (лизосоима, гамма-глобулинов, являющихся носителями иммунных тел и др.).

Для образцов молозива, полученных в последующие временные интервалы, наблюдался рост показателя КМАФАнМ при выдержке в термостате при температуре $(30 \pm 2)^\circ\text{C}$. Так, для образцов 48 часов после отела количество микроорганизмов после культивирования составило $6,2 \times 10^4 \pm 2,5 \times 10^2$ КОЕ/см³, через 72 часа – $7,3 \times 10^4 \pm 3,0 \times 10^2$ КОЕ/см³, а еще через сутки – уже $8,5 \times 10^4 \pm 3,5 \times 10^2$ КОЕ/см³. Значительное увеличение показателя бактериальной обсемененности молозива отмечалось начиная с 5 суток (120 часов). Для образцов молозива, полученных через 120 часов после отела, показатель КМАФАнМ составил $1,4 \times 10^5 \pm 3,0 \times 10^2$ КОЕ/см³, через 144 часа (6 суток) – $1,9 \times 10^5 \pm 4,5 \times 10^2$ КОЕ/см³, а через 168 часов (7 суток) он достиг $2,6 \times 10^5 \pm 5,0 \times 10^2$ КОЕ/см³, что примерно соответствует уровню цельного молока. Значительный рост бактерий в молозиве, полученном начиная с 5 суток (120 часов), можно объяснить существенным снижением концентрации бактерицидных веществ, а именно сывороточных белков ($(0,64 \pm 0,05)\%$), в нем до уровня цельного молока, что способствует более интенсивному размножению микрофлоры при культивировании на питательной среде.

Количество соматических клеток в молозиве на протяжении всего периода исследований (от 1 до 168 часов после отела) значительно превышает таковое в цельном молоке. Так, их содержание сырье, собранное от 1 до 24 часов после отела, составляет от $13,23 \times 10^5$ до $12,93 \times 10^5$ клеток в 1 см³. В период от 24 до 120 часов включительно наблюдается постепенное снижение данного показателя до значения, равного $5,82 \times 10^5$ клеток в 1 см³. Период сбора молозива от 144 до 168 часов после отела характеризуется значительным уменьшением количества соматических клеток до $3,27 \times 10^5/1$ см³. Вместе с тем, в указанный период их концентрация в молозиве превышает значение данного показателя для цельного молока – $2,12 \times 10^5$ клеток в 1 см³.

Заключение. Молозиво, собранное в срок до 96 часов после отела, значительно отличается по цвету, запаху и вкусу от стандартного товарного молока, а для сырья, полученного в период от 96 до 168 часов после отела, значимых отличий от зрелого молока не обнаружено. Определена тенденция к достижению максимальных значений в первые сутки после отела по показателям массовой доли сухих веществ ($27,70 \pm 3,44\%$), жира ($6,00 \pm 0,42\%$), общего белка ($19,28 \pm 1,97\%$) и его фракций (сывороточных белков $6,78 \pm 0,72\%$, казеина $12,12 \pm 1,02\%$), золы ($1,13 \pm 0,06\%$), концентрации минеральных веществ (фосфора $0,19 \pm 0,02\%$, кальция $1149,91 \pm 221,81$ мг/л, магния $333,00 \pm 35,51$ мг/л, калия $2045,90 \pm 213,56$ мг/л, натрия $704,58 \pm 92,09$ мг/л), общей кислотности ($58,00 \pm 3,00^\circ\text{T}$), плотности ($1,058 \pm 0,07$ г/см³), динамической вязкости ($35,90 \pm 1,43$ мПа·с), количества соматических клеток ($13,23 \times 10^5 \pm 0,52$ в 1 см³), минимальных – по показателям массовой доли лактозы ($1,82 \pm 0,52\%$), pH ($6,06 \pm 0,013$), удельной электропроводности ($4,12 \pm 0,03$ мСм/см), общей бактериальной обсемененности ($2,8 \times 10^4 \pm 2,0 \times 10^2$ КОЕ/см³) с последующим постепенным приближением в период от 24 до 168 часов после отела к значениям, характерным для цельного молока, что в совокупности

обуславливает его высокую пищевую и биологическую ценность, как сырья для производства пищевых продуктов, а также необходимость применения иных, в сравнении с цельным молоком, режимов технологической обработки.

Определены жирнокислотный и аминокислотный составы молозива, полученного в период от 1 до 72 часов после отела. Установлена высокая биологическая ценность его белков, особенно по изолейцину, количество которого составляет соответственно 8,94 г/100 г и 11,64 г/100 г белка при аналогичном показателе в эталоне 3,2 г/100 г. Лимитирующей аминокислотой является лейцин. Содержание жирных кислот в молозиве, полученном спустя 1 и 72 часов после отела, не претерпевает значительных изменений – общее их количество в молозиве, полученном в первый час после отела, составляет 4,890 мг/100 г, а в собранном спустя 72 часа – 4,668 мг/100 г. При этом в общем количестве для обеих групп молозива преобладают насыщенные жирные кислоты.

Полученные данные в перспективе позволят разработать техническую нормативно-правовую документацию на молозиво-сырье для приемки его молокоперерабатывающие предприятия, а также определить режимы технологических операций его переработки.

Список использованных источников

1. Барановский, А. Ю. Болезни нарушенного питания. Лечение и профилактика. Рекомендации профессора-гастроэнтеролога / А. Ю. Барановский. – М.: СПб: Наука и Техника, 2017. – 304 с.
2. Шелтон, Г. Основы правильного питания / Г. Шелтон. – М.: С-Пб.: Диамант, Золотой век, 2014. – 288 с.
3. Устойчивое здоровое питание. Руководящие принципы. – URL: <https://www.fao.org/3/ca6640ru/CA6640ru.pdf> (дата обращения: 04.08.2025).
4. Linehan, K. Bovine colostrum for veterinary and human health applications: a critical review / K. Linehan, R. P. Ross, C. Stanton // Annu. Rev. of Food Science a. Technology. – 2023. – Vol. 14, № 1. – P. 387–410.
5. Молоко коровье. Требования при закупках : СТБ 1598-2006. – Введ. 31.01.06 (с отменой на территории РБ ГОСТ 13264-88). – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2006. – 13 с.
6. Тепел, А. Химия и физика молока / А. Тепел ; пер. с нем. С. А. Фильчаковой. – СПб. : Профессия, 2012. – 831 с.
7. Горбатова, К. К. Химия и физика молока и молочных продуктов : учебник / К. К. Горбатова, П. И. Гунькова ; под общ. ред. К. К. Горбатовой. – СПб. : ГИОРД, 2012. – 336 с.
8. Kelly, G. S. Bovine colostrums: a review of clinical uses / G. S. Kelly // Alternative Medicine Rev. – 2003. – Vol. 8, № 4. – P. 378–394.
9. Разработка комплексной оценки белкового состава молока сырья различных сельскохозяйственных животных для выработки продуктов функциональной направленности / Д. Н. Мельденберг [и др.] // Хранение и перераб. сельхозсырья. – 2020. – № 3. – С. 118–133.

Информация об авторах

Лозовская Диана Сергеевна, старший преподаватель кафедры технологии хранения и переработки животного сырья, учреждение образования «Гродненский государственный аграрный университет» (ул. Терешковой, 18, 230008, г. Гродно, Республика Беларусь).

E-mail: diana.lozovskaya.89@mail.ru

Дымар Олег Викторович, доктор технических наук, профессор, технический директор представительства АО «МЕГА» в Республике Беларусь (пр-т. Партизанский, 172, офис 501, 220075, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: dymarov@tut.by

Information about authors

Lozovskaya Diana Sergeevna, senior Lecturer, Department of Technology of Storage and Processing of Animal Raw Materials, Educational Institution “Grodno State Agrarian University” (18, Tereshkova St., 230008, Grodno, Republic of Belarus).

E-mail: diana.lozovskaya.89@mail.ru

Dymar Oleg Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Technical Director of the Representative Office of JSC MEGA in the Republic of Belarus (172, Partizansky Ave., Office 501, 220075, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: dymarov@tut.by

УДК 664.6:613.2

Поступила в редакцию 24.09.2025
Received 24.09.2025**Е. Н. Урбанчик, А. Л. Желудков, А. И. Масальцева***Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий,
г. Могилев, Республика Беларусь***ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ
СПОРТИВНЫХ НАПИТКОВ НА ОСНОВЕ ФЕРМЕНТИРОВАННОГО
ПРОРОЩЕННОГО ЗЕРНА**

Аннотация. Целью работы является научное обоснование выбора и комбинации видов пророщенного ферментированного зерна для создания сухих быстрорастворимых спортивных напитков на основе комплексного анализа их физико-химических, пищевых и функциональных свойств. Актуальность исследования обусловлена растущим глобальным спросом на специализированные продукты для спортивного питания, соответствующие трендам «чистой этикетки» (Clean Label), и необходимостью импортозамещения на рынке ЕАЭС. Проведен сравнительный анализ данных научной литературы (базы PubMed, Scopus, Web of Science, РИНЦ) за 2018–2024 гг. и собственных экспериментальных данных по ключевым свойствам пророщенного цельнозернового зерна гречихи, голозерного овса, гороха и кукурузы. Установлено, что ферментация пророщенного зерна является критически важным технологическим этапом, обеспечивающим снижение содержания антинутриентов (фитиновая кислота – на 50–70 %, ингибиторы протеаз – на 40–60 %), повышение усвояемости белка (на 15–20 %) и биологической ценности, улучшение функционально-технологических свойств (растворимость, стабильность суспензии) и органолептических характеристик. Наибольший потенциал для спортивного питания продемонстрировали пророщенная ферментированная гречиха и голозерный овес. Научно обоснована целесообразность разработки комбинированных смесей для спортивных напитков на основе ферментированной муки из пророщенных гречихи, овса и гороха, обеспечивающих синергетический эффект: медленные углеводы и клетчатку, высококачественный белок с сбалансированным аминокислотным профилем (в т. ч. ВСАА 17–20 % от белка), а также пребиотические и иммуномодулирующие свойства. Продукт соответствует современным рыночным трендам и способствует решению задач импортозамещения.

Ключевые слова: спортивное питание, ферментированное зерно, пророщенное зерно, функциональные напитки, гречиха, овес, горох, пищевая ценность, биодоступность.

E. N. Urbanchik, A. L. Zhaludkou, A. I. Masaltseva*Belarusian State University of Food and Chemical Technologies,
Mogilev, Republic of Belarus***TECHNOLOGICAL AND FUNCTIONAL ASPECTS
OF THE DEVELOPMENT OF SPORTS DRINKS BASED
ON FERMENTED SPROUTED GRAIN**

Abstract. The aim of the work is to scientifically substantiate the selection and combination of types of sprouted fermented grain for the creation of dry instant sports drinks based on a comprehensive analysis of their physico-chemical, nutritional and functional properties. The relevance of the study is due to the growing global demand for specialized sports nutrition products that meet the trends of “Clean Label” and the need for import substitution in the EAEU market. A comparative analysis of scientific literature data (PubMed, Scopus, Web of Science, RSCI databases) for 2018–2024 and own experimental data on the key properties of sprouted whole-ground grain of buckwheat, naked oats, peas and corn was conducted. It was found that fermentation of sprouted grain is a critical technological stage that ensures a reduction in the content of antinutrients (phytic acid – by 50–70 %, protease inhibitors – by 40–60 %), an increase in protein digestibility (by 15–20 %) and

biological value, improvement of functional and technological properties (solubility, suspension stability) and organoleptic characteristics. The greatest potential for sports nutrition was demonstrated by sprouted fermented buckwheat and naked oats. The feasibility of developing combined mixtures for sports drinks based on fermented flour from sprouted buckwheat, oats and peas is scientifically substantiated, providing a synergistic effect: slow carbohydrates and fiber, high-quality protein with a balanced amino acid profile (including BCAA 17–20% of protein), as well as prebiotic and immunomodulatory properties. The product corresponds to modern market trends and contributes to the solution of import substitution tasks.

Keywords: sports nutrition, fermented grain, sprouted grain, functional beverages, buckwheat, oats, peas, nutritional value, bioavailability.

Введение. Современный рынок спортивного питания характеризуется динамичным ростом, обусловленным популяризацией фитнеса и здорового образа жизни. Объем мирового рынка в 2022 году оценивался в 41,8 млрд долларов США с прогнозируемыми среднегодовыми темпами роста (CAGR) около 8,5 % до 2030 года [1]. Ключевыми потребительскими трендами являются спрос на продукты с «чистой этикеткой» (Clean Label), растительные белки, функциональность, направленную на здоровье кишечника, и удобство форматов, таких как сухие быстрорастворимые концентраты [2, 3]. В странах ЕАЭС, включая Республику Беларусь, политика импортозамещения создает благоприятные условия для разработки конкурентоспособных отечественных продуктов на основе местного сырья [4, 5].

Одним из наиболее перспективных направлений является использование ферментированного пророщенного зерна. Проращивание активирует эндогенные ферменты зерна, снижая содержание антинутриентов и повышая биодоступность витаминов и минералов [6, 7]. Последующая ферментация, преимущественно молочнокислыми бактериями, является мощным инструментом биотрансформации, обеспечивающим дальнейшее улучшение питательного профиля, функционально-технологических и органолептических свойств продукта [8, 9]. Это позволяет создавать продукты, которые не только удовлетворяют повышенные потребности в нутриентах при физических нагрузках, но и оказывают дополнительное положительное влияние на здоровье, в частности, на микробиоту кишечника [10, 11]. Разработка продуктов на основе комбинаций различного ферментированного зерна позволяет оптимизировать аминокислотный состав и обогатить продукт широким спектром биологически активных соединений [12, 13].

Целью данной работы является комплексный анализ свойств пророщенного ферментированного зерна различных культур (гречихи, голозерного овса, гороха, кукурузы) для научно обоснования разработки рецептур сухих быстрорастворимых спортивных напитков.

Материалы и методы. В работе проведен аналитический обзор современных научных публикаций в базах данных PubMed, Scopus, Web of Science и РИНЦ за период 2018–2024 гг. Критериями отбора служили наличие данных о влиянии проращивания и ферментации на свойства зерна, результаты клинических и экспериментальных исследований эффективности таких продуктов в спортивном питании. Дополнительно систематизированы собственные экспериментальные данные по сравнительной характеристике физико-химических, биохимических, микробиологических и органолептических показателей пророщенного цельнозернового зерна указанных культур до и после ферментации. Методы статистического анализа включали описательную статистику и сравнительный анализ.

Результаты исследований и их обсуждение. Изучено влияние ферментации на пищевую ценность и функциональные свойства зерна. Проведенный анализ показал, что ферментация является ключевым процессом, значительно улучшающим свойства пророщенного зерна. Основные эффекты представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Влияние ферментации на свойства пророщенного зерна
Table 1. Effect of fermentation on the properties of sprouted grain

Параметр	Изменение в результате ферментации
Фитиновая кислота	Снижение на 50–70 %
Ингибиторы протеаз	Снижение на 40–60 %
Усвояемость белка	Увеличение на 15–20 %
Биологическая ценность	Повышение за счет синтеза витаминов группы В
Индекс растворимости	Увеличение на 15–25 %
Стабильность суспензии	Увеличение на 20–30 %
Органолептические свойства	Улучшение, смягчение горьких нот

Ферментация приводит к глубокой биотрансформации компонентов зерна. Молочнокислые бактерии продуцируют фитазы, гидролизующие фитиновую кислоту, что высвобождает связанные минералы (Mg, Zn, Fe) и повышает их биодоступность [14]. Протеолитическая активность бактерий не только снижает уровень ингибиторов протеаз, но и приводит к образованию биоактивных пептидов с потенциальной антигипертензивной и антиоксидантной активностью [15]. Параллельно происходит синтез витаминов группы В и короткоцепочечных жирных кислот (КЦЖК), что усиливает пробиотический и пребиотический потенциал продукта [16].

Проведен сравнительный анализ сырья для спортивных напитков (табл. 2), на основе которого установлено, что наиболее сбалансированным комплексом свойств для создания спортивных напитков обладают пророщенные и ферментированные гречиха и овес голозерный.

Т а б л и ц а 2. Сравнительная характеристика пророщенного ферментированного зерна для спортивного питания

Table 2. Comparative characteristics of sprouted fermented grain for sports nutrition

Культура	Белок, г/100 г	Пищевые волокна, г/100 г	β-глюканы, %	ГИ I	Ключевые преимущества
Гречиха	12,0–13,5	11,5–12,5	0,5–0,8	45–50	Высокое содержание антиоксидантов (рутин), сбалансированный аминокислотный профиль
Овес голозерный	14,0–16,0	10,0–11,5	4,0–4,8	40–45	Высокое содержание β-глюканов (пребиотик, иммуномодулятор)
Горох	22,0–24,5	14,0–15,5	1,0–1,5	35–40	Высокое содержание белка, богат лизином
Кукуруза	8,5–10,0	7,0–8,5	0,3–0,6	70–75	Высокий ГИ, низкая растворимость, ограниченное применение

Гречиха характеризуется высоким содержанием рутина и других флавоноидов, обладающих антиоксидантной и противовоспалительной активностью, что критически важно для восстановления после нагрузок [17]. Овес является уникальным источником β-глюканов, которые не только модулируют гликемический ответ и снижают уровень холестерина, но и служат мощным пребиотиком, стимулируя рост полезной микробиоты и продукцию КЦЖК [18]. Горох, обладая максимальным содержанием белка, служит ценным источником для обогащения аминокислотного профиля конечного продукта, однако требует дополнительной обработки для улучшения технологических свойств [19]. Кукуруза имеет ограниченное применение из-за высокого гликемического индекса и низкой растворимости.

На основании анализа рекомендована разработка комбинированных смесей. Оптимальным представляется соотношение ферментированной муки из пророщенных гречихи и овса (как основы, обеспечивающей медленные углеводы, клетчатку и функциональные компоненты) с добавлением ферментированной гороховой муки (для обогащения белком). Для оптимизации аминокислотного состава и усиления анаболического отклика возможно добавление изолята сывороточного или горохового белка. Углеводная составляющая может быть представлена мальтодекстрином в комбинации с натуральными низкокалорийными подсластителями (стевия, эритрит) для снижения гликемической нагрузки. Обязательным является обогащение витаминно-минеральным премиксом (Mg, Zn, витамины В₁, В₆, С), биодоступность которых повышена за счет ферментации [20].

Для интегральной визуализации преимуществ предлагаемого решения были систематизированы ключевые параметры и построены соответствующие графики (рис. 1–3).

Присвоенные баллы основаны на комплексном анализе свойств каждого вида сырья, где гречиха демонстрирует высокий потенциал благодаря выраженной антиоксидантной активности (рутин), сбалансированному аминокислотному профилю и низкому гликемическому индексу. Овес получает максимальные оценки за выдающиеся функционально-технологические свойства, обеспечиваемые β-глюканами, низкий ГИ и благоприятные органолептические характеристики. Горох, хотя и лидирует по содержанию белка, уступа-

ет по интегральным показателям из-за менее желательных функциональных свойств (растворимость) и органолептики (возможный бобовый привкус). Кукуруза, в свою очередь, получает низкие баллы по всем ключевым критериям вследствие высокого ГИ, невысокого содержания белка и плохой растворимости, что ограничивает ее применение в продуктах для спортивного питания.

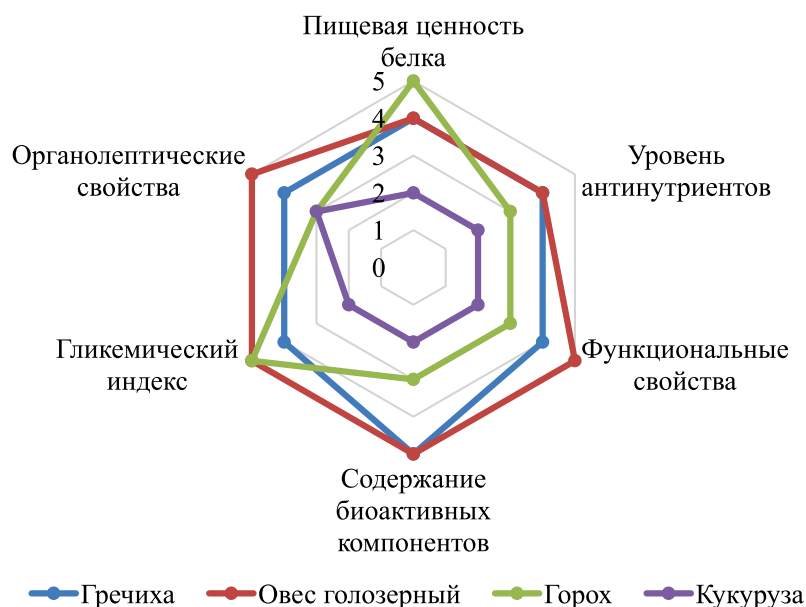


Рис. 1. Сравнительная интегральная оценка потенциала пророщенного ферментированного зерна различных культур для применения в спортивных напитках

Fig. 1. Comparative integral assessment of the potential of various types of sprouted fermented grain for use in sports drinks

График наглядно показывает, что гречиха и овес образуют наиболее сбалансированные и крупные фигуры, в то время как кукуруза — наименьшую. Горох выделяется по критерию «Белок», но уступает по другим параметрам. Этот график визуально обосновывает выбор именно комбинации гречихи и овса как основы с добавлением гороха.

Соответствие разрабатываемого спортивного напитка на основе ферментированного зерна основным потребительским трендам (по 5-балльной шкале) представлено на рисунке 2.

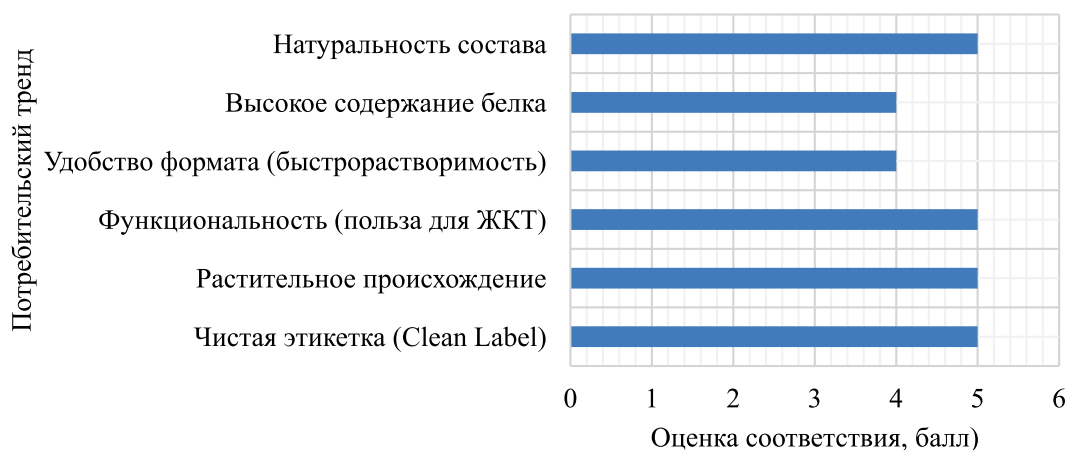


Рис. 2. Соответствие разрабатываемого спортивного напитка на основе ферментированного зерна основным потребительским трендам

Fig. 2. Compliance of the developed sports drink based on fermented grain with major consumer trends

Представленные данные являются маркетингово-аналитическим обобщением, которое напрямую связывает научные результаты с актуальными рыночными запросами, упомянутыми во введении. График наглядно показывает, что продукт идеально соответствует трендам на чистоту, растительность и функциональность. Оценка «Удобство» и «Белок» равна 4, так как для достижения максимальных показателей может потребоваться небольшая оптимизация (тонкость помола) или добавление белка.

Кумулятивный эффект последовательной технологической обработки (проращивание и ферментация) на повышение биодоступности макро- и микронутриентов в условных единицах представлен на рисунке 3.

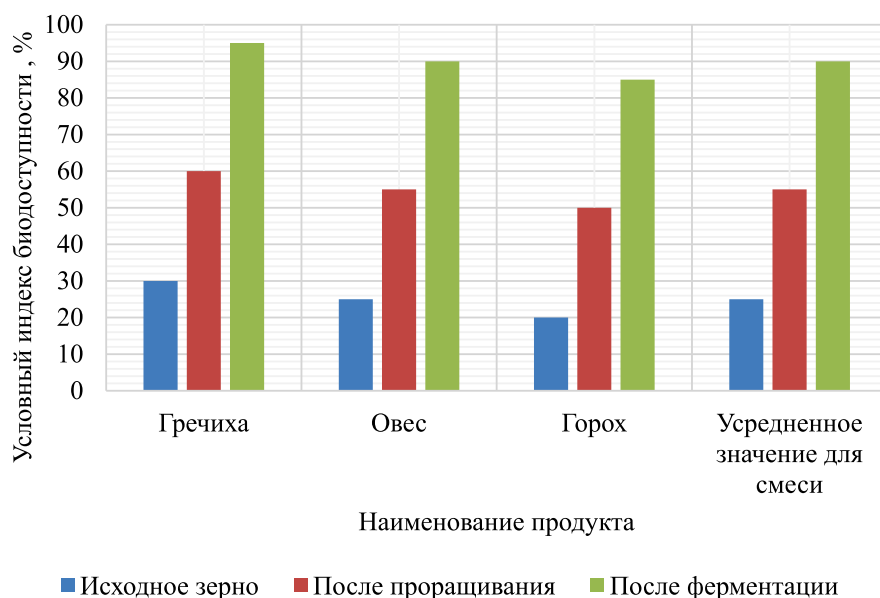


Рис. 3. Кумулятивный эффект последовательной технологической обработки (проращивание и ферментация) на повышение биодоступности макро- и микронутриентов

Fig. 3. Cumulative effect of sequential technological processing (sprouting and fermentation) on the increase in macro- and micronutrient bioavailability

График показывает рост биодоступности зерна от этапа к этапу. Он визуально подчеркнет важность полного технологического цикла (проращивание и ферментация), описанного в статье, и дает интегральное представление о его эффективности. Показан ярко выраженный кумулятивный рост на каждом этапе. Ферментация дает максимальный прирост, приближая биодоступность к 90-95 %.

Таким образом полученные данные демонстрируют, что комбинация ферментированного пророщенного зерна гречихи, овса и гороха не только компенсирует недостатки отдельных компонентов, но и создает синергетический эффект, обеспечивая высокую пищевую ценность, функциональность и соответствие актуальным рыночным трендам

Заключение. Проведенные исследования позволяют с научной точки зрения обосновать перспективность разработки сухих быстрорастворимых спортивных напитков на основе комбинации ферментированного пророщенного зерна гречихи, овса и гороха. Установлено, что ферментация является необходимым технологическим этапом, обеспечивающим: снижение содержания антинутриентов; повышение биодоступности макро- и микронутриентов; улучшение функционально-технологических свойств (растворимость, стабильность); формирование приятных органолептических характеристик; обеспечение микробиологической безопасности.

Предлагаемый продукт сочетает в себе преимущества медленных углеводов с низким ГИ, высококачественного растительного белка с полным профилем аминокислот, пищевых волокон (β-глюканы) и антиоксидантов. Это соответствует современным глобальным трендам спортивного питания и стратегии импортозамещения в Республике Беларусь, позволяя создать конкурентоспособный отечественный продукт с уникальной потребительской ценностью.

Благодарности. Работа выполнена в рамках выполнения отдельного задания Министерства образования Республики Беларусь на тему «Научное обоснование технологии получения ферментированных зерновых продуктов и их применения в производстве сухих концентратов для спортивного питания», номер госрегистрации 20251216 от 05.08.2025.

Список использованных источников

1. Kerkick, C. M. ISSN exercise sports nutrition review update: research recommendations / C. M. Kerkick, C. D. Wilborn, M. D. Roberts et al. // *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. – 2018. – Vol. 15, no. 1. – P. 38.
2. Asioli, D. Making sense of the «clean label» trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications / D. Asioli, J. Aschemann-Witzel, V. Caputo et al. // *Food Research International*. – 2017. – Vol. 99. – P. 58-71.
3. Батури́н, А. К. Актуальные тенденции развития рынка специализированных пищевых продуктов для питания спортсменов / А. К. Батури́н, Д. Б. Никитюк // *Вопросы питания*. – 2019. – Т. 88, №4. – С. 14-21.
4. Benincasa, P. Sprouted grains: A comprehensive review / P. Benincasa, B. Falcinelli, S. Lutts et al. // *Nutrients*. – 2019. – Vol. 11, no. 2. – P. 421.
5. Урбанчик, Е. Н. Разработка рецептур концентратов напитков детоксикационного действия на зерновой основе [Текст] / Е. Н. Урбанчик, Н. О. Онгарбаева, Л. В. Шустова // *Механика и технологии / Научный журнал*. – 2024. – №3(85). – С.27-39.
6. Marco, M. L. Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond / M. L. Marco, D. Heeney, S. Binda et al. // *Current Opinion in Biotechnology*. – 2017. – Vol. 44. – P. 94-102.
7. Штерман, С. В. Биотехнологическая модификация растительного сырья для повышения его пищевой ценности / С. В. Штерман, В. И. Пучкова // *Пищевая промышленность: наука и технологии*. – 2020. – Т. 13, №3. – С. 56-67.
8. Dimidi, E. Fermented foods: definitions and characteristics, impact on the gut microbiota and effects on gastrointestinal health and disease / E. Dimidi, S. R. Cox, M. Rossi, K. Whelan // *Nutrients*. – 2019. – Vol. 11, no. 8. – P. 1806.
9. Санникова, Т. А. Современные технологии переработки зерна / Т. А. Санникова, В. М. Позняковский. – Новосибирск: СибУПК, 2018. – 342 с.
10. Sanz-Penella, J. M. Application of bifidobacteria as starter culture in whole wheat sourdough breadmaking / J. M. Sanz-Penella, J. A. Tamayo-Ramos, M. Haros // *Food and Bioprocess Technology*. – 2012. – Vol. 5, no. 6. – P. 2370-2380.
11. Урбанчик, Е. Н. Влияние ферментации на функционально-технологические свойства муки из пророщенного зерна гречихи / Е. Н. Урбанчик, А. И. Масальцева, М. Н. Галдова // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2023. – №2. – С. 87-99.
12. Rizzello, C. G. Improving the antioxidant properties of quinoa flour through fermentation with selected autochthonous lactic acid bacteria / C. G. Rizzello, A. Lorusso, V. Russo et al. // *International Journal of Food Microbiology*. – 2017. – Vol. 241. – P. 252-261.
13. Погожева, А. В. Сохранность витаминов при различных способах кулинарной обработки пищи / А. В. Погожева, О. В. Батури́н // *Вопросы питания*. – 2015. – Т. 84, № S1. – С. 86-87.
14. Leblanc, J. G. B-group vitamin production by lactic acid bacteria—current knowledge and potential applications / J. G. Leblanc, J. E. Laiño, M. J. del Valle et al. // *Journal of Applied Microbiology*. – 2011. – Vol. 111, no. 6. – P. 1297-1309.
15. Giménez-Bastida, J. A. Buckwheat as a functional food and its effects on health / J. A. Giménez-Bastida, H. Zieliński // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2015. – Vol. 63, no. 36. – P. 7896-7913.
16. Whitehead, A. Cholesterol-lowering effects of oat β -glucan: a meta-analysis of randomized controlled trials / A. Whitehead, E. J. Beck, S. Tosh, T. M. Wolever // *The American Journal of Clinical Nutrition*. – 2014. – Vol. 100, no. 6. – P. 1413-1421.
17. Марченко, Е. В. Функциональные пищевые продукты: современное состояние и перспективы развития / Е. В. Марченко, В. М. Позняковский // *Вопросы питания*. – 2019. – Т. 88, №4. – С. 5-13.
18. Зыкина, О. В. Биотехнология ферментированных пищевых продуктов / О. В. Зыкина, И. Н. Семенова. – СПб.: Профессия, 2019. – 456 с.
19. Нетребенко, О. К. Ферментированные продукты на зерновой основе для детского питания / О. К. Нетребенко, И. Я. Конь // *Педиатрия. Журнал им. Г. Н. Сперанского*. – 2018. – Т. 97, № 1. – С. 137-143.
20. Лабутина, О. В. Влияние фитиновой кислоты на минеральный обмен / О. В. Лабутина, А. А. Кочеткова // *Вопросы питания*. – 2017. – Т. 86, № S2. – С. 112-113.

Информация об авторах

Урбанчик Елена Николаевна, кандидат технических наук, доцент, директор института повышения квалификации и переподготовки, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий. (пр. Шмидта, 3, г. Могилев, 212027, Республика Беларусь).

E-mail: urbanchik@tut.by

Желудков Александр Леонидович, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научно-методической работе института повышения квалификации и переподготовки, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий. (пр. Шмидта, 3, г. Могилев, 212027, Республика Беларусь).

E-mail: sheludkov@mail.ru

Масальцева Аlesia Игоревна, заведующий научной отраслевой лабораторией зерновых продуктов, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий. (пр. Шмидта, 3, г. Могилев, 212027, Республика Беларусь).

E-mail: masaltseva.alesya@yandex.by

Information about authors

Urbanchik Elena Nikolaevna, Ph.D. (Technical Sciences), Associate Professor, Director of the Institute for Advanced Training and Retraining, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies. (3, Schmidt Ave., Mogilev, 212027, Republic of Belarus).

E-mail: urbanchik@tut.by

Zhaludkou Alyaksandr Leonidovich, Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Deputy Director for Scientific and Methodological Work at the Institute of Advanced Training and Retraining. Belarusian State University of Food and Chemical Technologies. (3, Schmidt Str., Mogilev, 212027, Republic of Belarus).

E-mail: sheludkov@mail.ru

Masaltseva Alesya Igorevna, Head of the Scientific Sectoral Laboratory of Grain Products, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies. (3, Schmidt Ave., Mogilev, 212027, Republic of Belarus).

E-mail: masaltseva.alesya@yandex.by

УДК 663.374.393:663.12

Поступила в редакцию 14.10.2025
Received 14.10.2025**Е. М. Моргунова, О. В. Вышникова***РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ШТАММОВ ДРОЖЖЕЙ ДЛЯ
СБРАЖИВАНИЯ ВЫСОКОПЛОТНОГО МЕДОВОГО СУСЛА**

Аннотация. В процессе сбраживания высокоплотного медового сусла, штаммы дрожжей подвергаются как воздействию среды, так и образующегося в процессе этанола, в результате чего изменяется их метаболизм, возрастает количество мертвых клеток, что вызывает снижение качества напитка. Эффективность производства медовых напитков можно обеспечить за счет использования штаммов дрожжей, обладающих высокой осмо- и спиртоустойчивостью. Штаммы дрожжей в процессе биохимического расщепления углеводов, органических кислот, углеродсодержащих соединений создают особый вкусо-ароматический профиль готового напитка. Специализированные дрожжи при применении в специфичных условиях превосходят пивные или винные в среде со сниженным содержанием аминного азота, низким значением pH и повышенным уровнем этанола, что характерно для высокоплотного медового сусла.

Ключевые слова: алкогольные медовые напитки, мед, высокоплотное медовое сусло, вкусо-ароматический профиль штаммы дрожжей, специализированные дрожжи.

A. M. Marhunova, O. V. Vyshnikova*RUE «Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy
of Sciences of Belarus», Minsk, Republic of Belarus.***USE OF SPECIAL YEAST STRAINS FOR FERMENTATION
OF HIGH-DENSITY HONEY WORT**

Abstract. In the process of fermenting high-density honey wort, yeast strains are exposed to both the environment and ethanol produced during the fermentation process, which can lead to changes in their metabolism and an increase in the number of dead cells, resulting in a decrease in the quality of the beverage. The efficiency of honey beverage production can be improved by using yeast strains that are highly osmotolerant and alcohol-tolerant. These yeast strains can help create a unique flavor profile in the beverage by breaking down carbohydrates, organic acids, and other carbon-containing compounds. When used in specific conditions, specialized yeast outperforms beer or wine yeast in an environment with reduced amine nitrogen content, low pH, and increased ethanol levels, which is typical for high-density honey wort.

Keywords: alcoholic honey drinks, honey, high-density honey wort, flavor and aroma profile, yeast strains, specialized yeast.

Введение. Реализуемая в настоящее время в Республике Беларусь политика вынужденного импортозамещения в условиях санкций, с опорой преимущественно на внутренние силы при недостаточном использовании внешних связей, способствует достижению целей обеспечения прорывного научно-технологического и социально-экономического развития страны и повышения уровня жизни ее граждан. Новые задачи в импортозамещении поставлены в связи с дальнейшим развитием агропромышленного комплекса. [1]

Принципиально новые технологии значительно расширяют возможности производства, способствуют росту эффективности и ведут к повышению конкурентоспособности. Вместе с тем возрастает и технологическая конкуренция, которая также ставит новые задачи в области импортозамещения.

Одна из актуальных задач любой отрасли является расширение ассортимента выпускаемой продукции. В настоящее время возрастает интерес потребителей к продуктам пчеловодства. При разработке новых напитков, учитывая тенденции постоянно меняющегося рынка, большую роль отводят использованию натурального сырья, которое в определенной степени может восполнить дефицит жизненно необходимых питательных веществ в организме человека. В этом аспекте особую значимость приобретают напитки брожения на основе меда. Медовые напитки брожения являются побочным продуктом переработки меда с использованием растительного сырья и дрожжей. Растительное сырье является большой ценностью благодаря специфичным сочетаниям биологически и физиологически активных компонентов.

Мед и медоваренная продукция сложная в технологическом аспекте производства. Промышленная переработка и расширение видовых рецептур основой которых является мед требует значительных затрат труда и времени. В настоящее время, когда при производстве пищевых продуктов используют ускоренные технологии, одним из путей интенсификации процесса получения медовых напитков является применение дрожжей, обладающих высокой репродуктивной и бродильной активностью в сусле с высокой массовой долей сухих веществ (более 20 %).

Материалы и методы исследования. Для обеспечения заданных сенсорных характеристик алкогольного напитка брожения с использованием меда и фитокомпозиций и рационального проведения процесса сбраживания высокоплотного медового суслу были экспериментально исследованы штаммы дрожжей, применяемые в бродильном производстве. Проведена сравнительная характеристика и обоснованы рекомендации по применению специализированных штаммов дрожжей, разработанных для применения сбраживания высокоплотного суслу со спиртоустойчивой характеристикой. Показатели качества образцов суслу сброженного медового суслу проводили общепринятым в бродильных производствах методом исследований.

Результаты исследований и их обсуждение. Мед — один из наиболее ценных видов природного сырья, уникальный природный продукт как по составу, так и по биологическим свойствам. Основным компонентом меда являются углеводы. Они составляют от 95 до 99 % в пересчете на сухие вещества. Из моносахаридов присутствуют глюкоза и фруктоза.

Содержание воды в меде составляет 15–23 %, от ее количества зависит ряд физико-химических показателей (вязкость, плотность, кристаллизация) и сохраняемость меда. Органические кислоты в продукте содержатся в небольших количествах. Мед содержит около 0,3% органических и около 0,03% неорганических кислот, находящихся в свободном и связанном состоянии. Кроме того, мед содержит фитонциды — биологически активные вещества, вырабатываемые растениями и обладающие свойством обезвреживать или подавлять рост и развитие микроорганизмов. Фруктоза, как правило, является наиболее распространенным простым сахаром, содержащимся в меде, и процесс брожения медового напитка длится дольше, чем при большинстве алкогольных брожений, где присутствуют другие сахара в более высоких концентрациях [8].

Общая кислотность колеблется от 0,85 до 4,0 см³ раствора щелочи концентрацией 0,1 моль/дм³ на 100 г меда. Активная кислотность меда находится в пределах значений pH 3,2–6,5. Благодаря присутствию органических кислот и их солей мед обладает способностью поддерживать высокий уровень концентрации ионов водорода (буферностью).

Белковые вещества составляют большую часть коллоидов меда и включают альбумины, глобулины и пептоны. Аминокислотный состав меда заметно колеблется в зависимости от его ботанического происхождения. Различия заключаются главным образом в количественном соотношении отдельных аминокислот, где преобладают валин, лизин, глутаминовая, аспарагиновая кислоты [4].

Технология приготовления алкогольного медового напитка брожения предусматривает растворение натурального пчелиного меда в воде, введение в раствор других компонентов согласно рецептуре, сбраживание полученного суслу, его выдерживание, снятие с осадка, пастеризацию, фильтрование и разлив.

В компонент рецептуры медового напитка брожения входят настои пряно-ароматического натурального сырья: пряности, корни, ягоды. Каждый вид природного сырья перебирают, удаляя посторонние примеси и испорченные части растений, затем измельчают для получения мелкой фракции размером не более 0,3 см для наиболее улучшенной экстракции необходимых веществ и получения заданного органолептического профиля готового продукта. По исследуемой технологии, расчетное количество меда, питьевой подготовленной воды, которая прошла водоподготовку, перекачивают в купажи из нержавеющей стали, и 20 минут

перемешивают. Полученный раствор меда и воды подвергают нагреву. Кипятят медовое сусло в течении 20 минут, при этом образующуюся на поверхности пену постоянно удаляют путем механического сбора. По истечении заданного времени в медовое сусло вводится рецептурно разработанная фито-композиция и необходимое количество солода. Полученное сусло кипятят еще 20 мин с непрерывным перемешиванием для равномерной экстракции. Затем полученное медовое сусло охлаждают до температуры 25°C, не применяя процесс фильтрации, перекачивают в емкость из нержавеющей стали для сбраживания, добавляя к полученному продукту разводку чистой культуры выбранных штаммов дрожжей.

Процесс брожения протекает без доступа воздуха в герметично закрытых емкостях, снабженных водяным затвором для сброса образующейся при брожении углекислоты. Температуру поддерживают в пределах 20–22°C для оптимального процесса сбраживания высокоплотного медового сусла. По окончании брожения сусло снимают с дрожжевого осадка.

С целью сокращения сроков брожения высокоплотного медового сусла и получения заданного органолептического профиля алкогольного медового напитка брожения с использованием фитокомпозиции востребованным при производстве является применение специализированных видов дрожжей. Микроорганизмы в процессе биохимического расщепления углеводов, органических кислот, углеродсодержащих соединений создают особый вкусо-ароматический профиль готового напитка.

В связи с этим эффективность производства медовых напитков можно обеспечить за счет использования штаммов дрожжей, обладающих характеристиками, удовлетворяющими сбраживание высокоплотного медового сусла и высокой степенью спиртоустойчивости для получения напитка с объемной долей этилового спирта 9–11%.

Методом брожения медового сусла получают напитки разной степени крепости, при приготовлении которых сбраживаемая среда всегда включает в свой состав мед, воду и дрожжи. Во время этого процесса могут возникать некоторые проблемы из-за неспособности штаммов дрожжей реагировать и адаптироваться к неблагоприятному стрессовому росту. Следовательно, возникают такие осложнения, как отсутствие однородности конечного продукта, вероятно, из-за изменчивости состава меда и повторной ферментации дрожжами или уксусными, молочнокислыми бактериями, которые могут повышать летучую кислотность и способствовать ненормальному образованию сложных эфиров, влияя на вкусовые качества конечного продукта [9].

Несмотря на то, что медовые алкогольные напитки, возможно, являются старейшими ферментированными напитками в мире, производимыми в основном эмпирическим способом, в последние годы их производство не развивалось, в том числе из-за отсутствия научных интересов в этой области. Существует множество различных параметров, влияющих на качество готовой продукции. У медовых алкогольных напитков это качество исходного сырья, условия брожения.

Брожение является необходимым этапом в производстве любых спиртных напитков, так как при этом из сахаров образуется этиловый спирт. В ходе брожения из одной молекулы гексозы (глюкозы или фруктозы) получается две молекулы этанола и две молекулы углекислого газа. Эти вещества относят к главным продуктам брожения, выделяют также вторичные продукты брожения глицерин, 2,3-бутиленгликоль, ацетальдегид, пировиноградную, молочную, янтарную, лимонную, уксусную кислоты, ацетон, сложные эфиры, высшие и ароматические спирты [5].

Сахар, содержащийся в сусле, сбраживается в спирт дрожжами *Saccharomyces cerevisiae*. Это одноклеточные эукариотические организмы, относящиеся к классу аксомицетов [6]. Подбор расы дрожжей влияет на предельное содержание этанола в сброженном сусле, а кроме того, на биосинтез веществ, влияющих на органолептические свойства продукта брожения.

Согласно научным исследованиям, содержание сахаров в сусле, наиболее подходящее для спиртовых дрожжей, составляет 16 – 22 %. Некоторые расы дрожжей могут сбродить до 26 % сахаров, при этом образуется до 16 % этанола. Высокие концентрации сахаров в сусле (30–40 %) приводят к замедлению процессов размножения дрожжей и брожения. [4,5]

Сбраживание сусла медового отличается от сбраживания иных видов сырья тем, что в нем содержатся преимущественно простые сахара (глюкоза и фруктоза), легко усваиваемые дрожжами. Но проблемой медового сусла является его малая обеспеченность необходимыми для роста и размножения дрожжей веществами. В первую очередь к ним относятся аминокислоты и иные источники доступного азота. Нагревание меда приводит к денатурации и коагуляции белков, что следует учитывать при сбраживании медового сусла из пастеризованного меда.

Дрожжи, используемые в различных биотехнологических процессах, различаются между собой генетическими особенностями: репродуктивной и бродильной

Для сбраживания высокоплотного медового сусле и проведения сравнительного анализа были выбраны штаммы пивных, винных, и специализированных медовых дрожжей, данные представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1. Технологические характеристики штамма сухих дрожжей для сбраживания медового сусле

Table 1. Technological characteristics of a dry yeast strain for fermenting honey wort

Наименование	Ароматические характеристики	Технические характеристики (5-высокая, 1-низкая)	Живых дрож. клеток КОЕ/г	Рек-ный диапазон Т°С	Спирто-устойчивость
 Saflager W-34/70 Про-тель: Франция	Штамм пивных дрожжей, позволяет производить хорошо сбалансированное пиво с фруктовой и цветочной ароматикой, отличной питкостью и тонким вкусом.	Аттенюация: 4 Флокуляция: 5 Уплотняемость: 4 Норма задачи : 1г/1,5л сусле Предварительная активация: Требуется	более 5×10 ⁹ КОЕ/г	9-15 °С	средняя (до 11% ABV.)
 Lalvin 71B-1122 Про-тель: Канада	Штамм винных дрожжей смягчает кислотность вина, и вкус получается мягким, сбалансированным и приятным. В аромате отсутствуют дрожжевые ноты.	Аттенюация: 4 Флокуляция: 4 Уплотняемость: 3 Норма задачи : 1г/3л сусле Предварительная активация: Требуется	более 5×10 ⁹ КОЕ/г	15-30 °С	средняя (до 14% ABV.)
 Beervingem “Mead BVG-08 Про-тель: РФ	Штамм создает большое количество сложных эфиров, что позволяет добиться улучшенной фруктовой ароматики.	Аттенюация: 5 Флокуляция: 4 Уплотняемость: 3 Норма задачи : 1г/2,5л сусле Предварительная активация: Не требуется	более 5×10 ⁹ КОЕ/г	15-30 °С	высокая (до 18% ABV.)
 Mangrove Jack's Про-тель: Новая Зеландия	Штамм создает эфиры со свежими цветочными нотками, особенно при более низких температурах брожения.	Аттенюация: 5 Флокуляция: 4 Уплотняемость: 4 Норма задачи : 1г/2,5л сусле Предварительная активация: Не требуется	более 5×10 ⁹ КОЕ/г	15-30 °С	высокая (до 18% ABV.)

В связи с тем, что начальная концентрация сухих веществ в сусле служит одним из важнейших факторов, влияющих на процесс брожения и качество напитка, содержание в нем этилового спирта, при выборе спирто- и осмоустойчивых дрожжей изучали активность их размножения и скорость сбраживания углеводов в медовом сусле с содержанием сухих веществ 22 %. В данных условиях осмочувствительные дрожжи начнут размножаться лишь после длительной лаг-фазы, что приводит к снижению коэффициента прироста биомассы и, следовательно, отразится на скорости сбраживания сусле.

В процессе брожения, которое продолжалось в течение 10 суток (рисунок 1) при 20-22 °С, изучалась динамика изменения массовой доли сухих веществ в сусле, оценивалась физиоло-

гическое состояние дрожжей и активность их размножения. По окончании брожения сусло охлаждали при 5°C в течение суток (12 ч) для осаждения дрожжей.

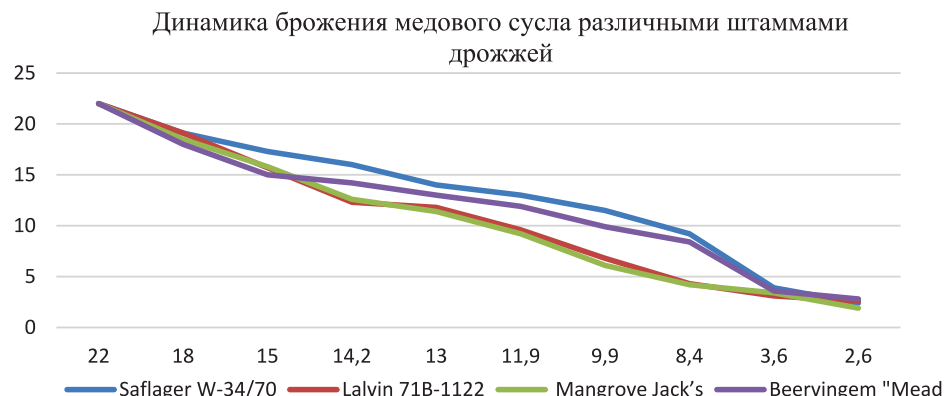


Рис. 1. Динамика брожения медового сусла различными штаммами дрожжей
Fig. 1. Dynamics of honey wort fermentation by various yeast strains

Степень осаждения определяли по количеству клеток, оставшихся в сусле во взвешенном состоянии. Данные представлены в таблице 2. Наиболее активное размножение дрожжей и сбраживание сусла отмечено при использовании пивных дрожжей низового брожения, а также специализированных медовых дрожжей. При этом самую высокую флокуляционную способность проявили штаммы специализированных дрожжей, а винные дрожжи практически не осаждались за указанный период времени, в результате чего сусло осталось мутным.

Т а б л и ц а 2. Динамика накопления биомассы в медовом сусле на стадии брожения
Table 2. Dynamics of biomass accumulation in honey wort during fermentation

Сутки основного брожения	Образец 1		Образец 2		Образец 3		Образец 4	
	Содержание дрожжей во взвешенном состоянии в млн/мл	% почкующихся клеток	Содержание дрожжей во взвешенном состоянии в млн/мл	% почкующихся клеток	Содержание дрожжей во взвешенном состоянии в млн/мл	% почкующихся клеток	Содержание дрожжей во взвешенном состоянии в млн/мл	% почкующихся клеток
3 сут.	5,8	20-25	5,6	20-25	5,9	30-25	5,8	20-25
4 сут.	5,8	50-60	5,6	60-60	5,6	50-60	5,8	50-60
5 сут.	5,6	50-60	5,6	60-45	5,4	60-45	5,6	50-60
6 сут.	5,4	60-60	5,1	60-60	5,4	60-60	5,4	60-60
7 сут.	4,9	60-60	5,1	60-60	5,0	60-50	4,9	60-60
8 сут.	4,8	30-40	5,0	20-40	4,9	20-40	4,8	30-40
9 сут.	4,8	30-25	4,6	30-25	4,6	20-25	4,8	30-25
10 сут.	4,7	16-18	4,5	20-18	4,6	14-16	4,7	16-18

После основного сбраживания напитки снимали с осадка и дображивали в течение 15 суток при анаэробных условиях при температуре 4°C, затем проводили оценку по органолептическим и физико-химическим показателям (таблица 3).

Существенных отличий по физико-химическим показателям полученных образцов напитков не наблюдалось. Содержание спирта колебалось в пределах 9,3...11,1%.

На основании полученных результатов, можно отметить, что сбраживание медового сусла специализированными медовыми дрожжами идет с достаточно высокой скоростью, что свидетельствует о полноценном составе среды для их развития. По органолептическим характеристикам были выбраны образцы напитков, сброженные дрожжами рас Beervिंगem «Mead» и Mangrove Jack's. Напитки имели более выраженный букет, хорошо сочетающийся с ярко выраженным медовым вкусом и ароматом.

Т а б л и ц а 3. Физико-химические показатели медовых напитков,
полученных с использованием разных рас дрожжей

Table 3. Physical and chemical properties of honey drinks produced using different yeast strains

Показатели	Раса дрожжей			
	Saflager W-34/70	Lalvin 71B-1122	Beervिंगem «Mead»	Mangrove Jack's
Действительный экстракт, %	2,4	2,6	2,8	1,9
Объемная доля этилового спирта, %	9,6	9,3	10,9	11,1
Действительная степень сбраживания, %	68,7	72,2	70,2	71,8
Кислотность, к. ед.	3,8	3,7	3,6	3,9
Цвет, ц. ед.	0,2	0,3	0,4	0,3

Заключение. Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о том, что при сбраживании высокоплотного медового сусла для получения алкогольного медового напитка с объемной долей этилового спирта в диапазоне 9-11,0 % рекомендуется использовать специализированные медовые дрожжи. Данные штаммы дрожжей в процессе биохимического расщепления углеводов, органических кислот, углеродсодержащих соединений создают особый вкусо-ароматический профиль готового напитка. Дрожжи Beervिंगem «Mead» и Mangrove Jack's при применении в специфичных условиях превосходят пивные или винные в среде со сниженным содержанием аминного азота, низким значением pH и повышенным уровнем этанола, что характерно для высокоплотного медового сусла.

Список используемых источников

1. О Доктрине национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 15.01.2017 г. №962
2. Пономарева О. И., Яковлева И. Н. Дрожжи для сбраживания плотного медового сусла // Индустрия напитков. – 2008. № 1. – С. 16–19.
3. Емельянова Л. К., Елисеев М. Н. Повышение биологической стойкости медового напитка // Пиво и напитки. – 2003. – № 6. – С. 28–29.
4. Филимонова Т. И., Борисенко О. А., Рыжова Т. П., Кобелев К. В. Расы дрожжей для сбраживания плотного сусла // Пиво и напитки. – 2004. – № 1. – С.31–38.
5. Яковлева, И. Мед – применение для производства напитков, свойства и характеристики. - Ч. 1. / И. Яковлева // Индустрия напитков. – 2005. – С. 66–69.
6. Ракитянская С. В., Субботина М. А. Физиологическая ценность и технологические возможности использования продуктов пчеловодства // Известия ВУЗов. Пищевая технология, 2001. – №5-6. – С.5-9.
7. Нечаев А. П., Траубенберг С. Е., Кочеткова А. А. Пищевая химия. – СПб.: Гиорд, 2001. – С. 592-596.
8. White Jr. J.W. Composition of honey // Crane E. (Ed.) Honey : Comprhensive Survey. – London : Heine-mann, 1975 – P. 180–194.
9. Roldán, A.; van Muiswinkel, G. C. J.; Lasanta, C.; Caro, I. Influence of pollen addition on mead elaboration: Physicochemical and sensory characteristics. Food Chem. 2011 – P. 574–582.
10. Pereira, A. P.; Dias, T.; Andrade, J.; Ramalhosa, E.; Estevinho, L. M. Mead production: Selection and characterization assays of *Saccharomyces cerevisiae* strains. Food Chem. Toxicol. – 2009, – P. 113-124

Информация об авторах

Моргунова Елена Михайловна, кандидат технических наук, доцент, Председатель Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь (Старовиленский тракт, 93, 220053, Минск, Республика Беларусь)

E-mail: belst@gosstandart.gov.by

Вышников Ольга Владимировна, младший научный сотрудник отдела технологий спиртовой пивобезалкогольной продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, д.29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: o.vyshnikova@tut.by

Information about the authors

Morgunova Elena Mikhailovna, Ph.D. (Technical), Associate Professor, Chairman of the State Committee for Standardization of the Republic of Belarus (93, Starovilensky Trakt, 220053 Minsk, Republic of Belarus)

E-mail: belst@gosstandart.gov.by

Vyshnikova Olga Vladimirovna, Junior Researcher at the department of technologies of the alcohol and non-alcoholic beer products of RUE «Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: o.vyshnikova@tut.by

УДК 634.737:581. 5: 581. 522.4(476)

Поступила в редакцию 22.09.2025
Received 22.09.2025

¹Ж. А. Рупасова, ¹С. Н. Авраменко, ²Т. А. Мадзиевская,
²С. В. Далидович, ²П. М. Бычковский

¹Государственное научное учреждение «Центральный ботанический сад НАН Беларуси»,
г. Минск, Республика Беларусь;

² Учебно-научно-производственное республиканское унитарное предприятие
«УНИТЕХПРОМ БГУ», г. Минск, Республика Беларусь

БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБОБУЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

Аннотация. Приведены результаты сравнительного исследования образцов созданных в «УНИТЕХПРОМ БГУ» Беларуси 4 видов биологически активных пищевых добавок (БАДов) для производства хлебобулочной продукции, способствующих нормализации углеводного обмена и различающихся набором растительных компонентов - №10, принятого за эталон сравнения, а также №№14, 16 и 17, по 24 биохимическим характеристикам, в том числе содержанию сухих, пектиновых и дубильных веществ (танинов), свободных органических и гидроксикоричных кислот, растворимых сахаров, инулина, целлюлозы, антоциановых пигментов (собственно антоцианов и лейкоантоцианов), флавонолов и катехинов, общему количеству биофлавоноидов (Р-витаминов), витаминов В₁, В₂, К₁, РР, макро- и микроэлементов — кальция, меди, цинка, общему количеству хрома и уровню антиоксидантной активности.

Установлено, что все тестируемые БАДы превосходили эталонный объект по интегральному уровню нутриентной ценности в 1,8-3,0 раза при наибольших различиях с ним образца №16, у которого данный показатель превышал таковой у образцов №№14 и 17 в 1,4-1,7 раза, что позволяло рекомендовать его как наиболее перспективный для практического использования при производстве хлебобулочной продукции.

Ключевые слова: биологические пищевые добавки, нутриентная ценность, органические кислоты, углеводы, фенольные соединения, витамины, антиоксидантная активность.

¹J. A. Rupasova, ¹S. N. Avramenko, ²T. A. Madzievskaya,
²S. V. Dalidovich, ²P. M. Bychkovsky

¹State Scientific Institution «Central Botanical Garden of the National Academy
of Sciences of Belarus», Minsk, Republic of Belarus;

² Educational, Scientific, and Production Republican Unitary Enterprise «UNITECHPROM BSU»,
Minsk, Republic of Belarus

BIOCHEMICAL COMPOSITION OF FUNCTIONAL FOOD ADDITIVES FOR BREAD PRODUCTION

Abstract. The results of a comparative study of samples of 4 types of biologically active food additives (dietary supplements) created at UNITECHPROM BSU of Belarus for the production of bakery products that contribute to the normalization of carbohydrate metabolism and differ in a set of plant components are presented - No. 10, adopted as a reference standard, as well as No. 14, 16 and 17, according to 24 biochemical characteristics, in including the content of dry, pectin and tannins (tannins), free organic and hydroxycinnamic acids, soluble sugars, inulin, cellulose, anthocyanin pigments (anthocyanins and leukoanthocyanins proper), flavonols and catechins, the total amount of bioflavonoids (P-vitamins), vitamins B₁, B₂, K₁, PP, macro- and trace elements — calcium, copper, zinc, the total amount of chromium and the level of antioxidant activity.

All the tested dietary supplements exceeded the reference object in terms of the integral level of nutritional value by 1.8-3.0 times, with the greatest differences between them in sample No. 16,

which exceeded the values of samples No. 14 and No. 17 by 1.4–1.7 times, making it the most promising for practical use in the production of bakery products.

Keywords: biologically active food supplements, biochemical composition, organic acids, carbohydrates, phenolic compounds, vitamins, antioxidant activity, nutritional.

Введение. Одним из приоритетов в развитии пищевой и перерабатывающей промышленности Республики Беларусь является создание и производство специализированных продуктов, в том числе биологически активных добавок (БАДов) с направленным функциональным действием, основанное на комплексной оценке их качества, безопасности и эффективности [1]. Анализ отечественного и зарубежного опыта в области коррекции обменных процессов в организме человека свидетельствует о высокой доступности, эффективности и экономической целесообразности использования в питании населения биологически активных добавок, способствующих нормализации процессов его жизнедеятельности [2]. В их состав непременно должны входить соединения, синтезируемые в организме либо в незначительных количествах, либо не синтезируемые вовсе, к которым следует отнести пищевые волокна, незаменимые аминокислоты, некоторые жирные кислоты, минеральные элементы и витамины [3].

В последние десятилетия широкое распространение в мире получило весьма опасное хроническое заболевание — сахарный диабет, связанное с нарушением многих обменных процессов в организме человека и, в первую очередь, углеводного метаболизма, сопровождающееся серьезным комплексом осложнений макро- и микрососудистого, а также неврологического типов [4]. В этой связи особую актуальность обретает разработка новых научно обоснованных составов биологически активных функциональных добавок (БАДов), способствующих нормализации углеводного обмена, с определением широкого спектра их качественных характеристик и оптимальных регламентов использования при производстве продуктов питания, предназначенных для профилактики и лечения сахарного диабета. С целью конструирования данных продуктов в соответствии с принципами пищевой комбинаторики, учитывающей компонентный состав, органолептические и физико-химические свойства создаваемых композиций направленного функционального действия, белорусскими учеными Республиканского унитарного предприятия «УНИТЕХПРОМ БГУ» создан ряд биологически активных добавок, представляющих собой порошкообразные смеси, изготовленные на основе растительного сырья овощных, плодовых и зерновых культур, использование которых при производстве пищевых продуктов, предположительно, будет способствовать нормализации углеводного обмена в организме человека.

Целью настоящей работы являлась комплексная сравнительная оценка биохимического состава нескольких видов биологически активных пищевых добавок подобного направленного действия для использования при производстве хлебобулочных изделий. Данные исследования выполнены при активном участии сотрудников РУП «УНИТЕХПРОМ БГУ» и Центрального ботанического сада НАН Беларуси А. В. Ушаковой и А. С. Саян, за что авторы выражают им искреннюю благодарность.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований являлись образцы 4 видов биологически активных пищевых добавок (БАДов), различающихся набором входящих в них растительных компонентов, в том числе №10, в состав которого входят куркума, яблоко, гибискус, имбирь и листья шалфея, №14, в составе которого присутствуют куркума, анис, черный перец и базилик, №16 — в состав которого входят анис, имбирь и корица, а также №17 — в составе которого присутствуют куркума, яблоко, корица и цедра апельсина.

Исследование биохимического состава обозначенных пищевых добавок осуществляли по 24 показателям с использованием общепринятых методов получения аналитической информации, предусматривавшие определение содержания:

- ♦ сухих веществ — по ГОСТ 28561-90 [5];
- ♦ свободных (титруемых) органических кислот - общей кислотности — объемным методом [6];
- ♦ гидроксикоричных кислот - спектрофотометрическим методом [7];
- ♦ растворимых сахаров — ускоренным фенол-сернокислотным полумикрометодом [8];
- ♦ пектиновых веществ - кальциево-пектатным методом [6];
- ♦ инулина (в пересчете на фруктозу) — спектрометрическим методом с использованием резорцинового реактива [9];
- ♦ целлюлозы — по методу В.И. Геннеберга и Ф.К. Штомана [10];
- ♦ дубильных веществ (танинов) — титрометрическим методом Ю.К. Левенталя [11];

- ♦ основных компонентов биофлавоноидного комплекса, в том числе, антоциановых пигментов — по методу Т. Swain, W. E. Hillis [12], с построением градуировочной кривой по кристаллическому цианидину, полученному из плодов аронии черноплодной и очищенному по методике Ю.Г. Скориковой и Э.А. Шафтан [13]; собственно антоцианов и катехинов (с использованием ванилинового реактива) — спектрофотометрическим методом [6, 14]; флавонолов (в пересчете на рутин) — спектрофотометрическим методом [6];
- ♦ витаминов В₁ и В₂ — спектрофотометрическим методом с использованием ферроцианида калия [15];
- ♦ витамина К₁ (филлохинона) — спектрофотометрическим методом с использованием 2,6-дихлорфенол-индофенолята натрия в щелочной среде [10];
- ♦ витамина РР (никотиновой кислоты) — спектрофотометрическим методом с использованием родано-бромного реактива [15];
- ♦ макро- и микроэлементов, в том числе:
- ♦ кальция — комплексонометрическим методом [16];
- ♦ меди и цинка — спектрофотометрическим методом с использованием дитизионового реактива [17];
- ♦ хрома (общее количество) — спектрофотометрическим методом [18];
- ♦ уровня антиоксидантной активности (АОА) — спектрофотометрическим методом с использованием 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила [8, 19];

В аналитической работе использованы следующие приборы: весы электронные RV214 (США, 2010 г.), спектрофотометр Е-1000 UV Peak Instruments (США, 2023 г.) и спектрофотометр ПЭ-5400 ВИ (Россия, 2018 г.). Все определения выполнены в 2-кратной биологической и 3-кратной аналитической повторностях. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel.

Т а б л и ц а 1. Диапазоны варьирования биохимических характеристик в сухой массе образцов биологически активных пищевых добавок

Table 1. Ranges of variation of biochemical characteristics in the dry mass of samples of biologically active food additives

Показатели	Диапазоны варьирования
Сухие вещества, %	89,1 – 91,6
Свободные органические кислоты, %	1,64 – 9,75
Гидроксикоричные кислоты, мг/100 г	1037,3 – 2236,4
Растворимые сахара, %	4,91 – 9,33
Сахарокислотный индекс	0,73 – 3,02
Пектиновые вещества, %	9,7 – 13,8
Инулин, мг/100 г	24,3 – 268,3
Целлюлоза, %	16,7 – 26,0
Собственно антоцианы, мг/100 г	64,0 – 1344,0
Лейкоантоцианы, мг/100 г	301,2 – 957,0
Сумма антоц. пигментов, мг/100 г	369,2 – 2301,0
Катехины, мг/100 г	85,8 – 1180,4
Флавонолы, мг/100 г	1294,3 – 4666,2
Сумма биофлавоноидов, мг/100 г	2843,9 – 6031,2
Дубильные вещества, %	0,15 – 0,48
АОА, мкмоль экв тролокса /г	74,6 – 194,2
Витамин В ₁ , мг/100 г	0,78 – 1,27
Витамин В ₂ , мг/100 г	0,09 – 0,78
Витамин РР, мг/100 г	4,4 – 28,2
Витамин К ₁ , мг/100 г	0,67 – 1,31
Кальций, мг/100 г	50,3 – 167,5
Цинк, мг/100 г	1,12 – 2,01
Медь, мг/100 г	0,20 – 0,70
Хром, мкг/100 г	0,71 – 2,00

Результаты исследований и их обсуждение. Полученная в результате выполненных исследований информация о количественном содержании определявшихся соединений в образцах

биологически активных пищевых добавок свидетельствовала о весьма высоком содержании в них органических кислот, углеводов, фенольных соединений, витаминов, макро- и микро-элементов, а также о значительном уровне антиоксидантной активности. При этом были выявлены весьма широкие диапазоны варьирования в линейке БАДов 24 характеристик их биохимического состава, указывавшие на наличие между ними существенных различий, о степени проявления которых можно судить по данным табл. 1. На основании приведенной в ней информации определены образцы с максимальными и минимальными значениями данных характеристик (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Биологически активные пищевые добавки с наибольшими (max) и наименьшими (min) значениями биохимических характеристик

Table 2. Biologically active food additives with the highest (max) and lowest (min) values of biochemical characteristics

Показатель	Биологически активные добавки			
	№ 10 (эталон)	№ 14	№ 16	№ 17
Свободные органич. кислоты	max		min	
Гидроксикоричные кислоты		max	min	
Растворимые сахара	max		min	
Сахарокислотный индекс		min	max	
Пектиновые вещества	min		max	max
Инулин			max	min
Целлюлоза		min		max
Собственно антоцианы	max		min	min
Лейкоантоцианы	max		min	min
Сумма антоц. пигментов	max		min	min
Катехины	min		max	
Флавонолы		max	min	
Сумма биофлавоноидов	max		min	
Дубильные вещества	max		min	
АОА		max	min	
Витамин В ₁		min	max	min
Витамин В ₂	min	max		
Витамин РР	max		min	
Витамин К ₁			max	min
Кальций		max	min	
Цинк	max	max		min
Медь	max			min
Хром	max	min	max	min

Так, эталонный образец №10 отмечен наиболее высоким содержанием свободных органических кислот, растворимых сахаров, дубильных веществ, витамина РР, хрома, цинка и меди, а также обоих компонентов антоцианового комплекса и их общего количества, что обусловило наибольшее среди исследуемых БАДов суммарное содержание биофлавоноидов при минимальном количестве пектиновых веществ, катехинов и витамина В₂.

Образец №14 характеризовался максимальным содержанием гидроксикоричных кислот, флавонолов, витамина В₂, кальция и столь же высоким, как у эталонного объекта, содержанием цинка при наиболее значительном уровне антиоксидантной активности, но при этом был отмечен минимальным количеством хрома, целлюлозы, витамина В₁ и самым низким показателем сахарокислотного индекса.

Образец №16 занимал лидирующие позиции в линейке БАДов по содержанию хрома, пектиновых веществ, инулина, катехинов, витаминов В₁ и К₁, а также, несмотря на наиболее низкое содержание растворимых сахаров, из-за минимального количества свободных органических кислот, характеризовался максимальным показателем сахарокислотного индекса, но при этом отличался наименьшим содержанием не только титруемых, но и гидроксикоричных кислот, а также кальция, дубильных веществ, витамина РР и обладал наиболее обедненным антоциановым комплексом при наименьшем количестве флавонолов и биофлавоноидов в целом, что в совокупности обусловило минимальный уровень его антиоксидантной активности.

Образец № 17 характеризовался столь же высоким, как у образца № 16, содержанием пектиновых веществ при наиболее высоком в линейке БАДов содержании целлюлозы, но при этом был отмечен столь же низким, как у предыдущего объекта, содержанием собственно антоцианов и лейкоантоцианов, а также наименьшим количеством инулина, цинка, меди, витамина K₁ и сопоставимым с таковым у образца № 14 минимальным содержанием хрома и витамина B₁.

Вместе с тем при несомненно высокой физиологической значимости для человеческого организма исследуемых органических соединений разной химической природы особый научный и практический интерес представлял сравнительный анализ состава биофлавоноидного комплекса пищевых добавок, обладающего значительным уровнем Р-витаминной и антиоксидантной активности. При этом в зависимости от соотношения в нем основных групп полифенолов, представленных, главным образом, флавонолами, а также катехинами и антоциановыми пигментами, в том числе, собственно антоцианами и лейкоантоцианами, оказывающими индивидуальное позитивное действие на организм человека [20, 21], будет проявляться тот или иной специфический эффект от использования данных продуктов. К примеру, антоцианы способны образовывать выводимые из организма комплексы с ионами радиоактивных элементов. Катехины обладают мощной Р-витаминной активностью и повышают устойчивость антоцианов, тогда как флавонолы оказывают стабилизирующее влияние на витамин С, что исключительно выгодно в плане продления витаминной ценности растительных продуктов.

Значительная ширина диапазонов варьирования в линейке БАДов содержания основных групп полифенолов (см. табл. 1) однозначно указывала на наличие различий между ними не только в количестве, но и в соотношении основных компонентов биофлавоноидного комплекса, что следует из табл. 3, показавшей, что в групповом составе последнего у исследуемых образцов выявлены как черты определенного сходства, так и весьма выразительные различия.

Т а б л и ц а 3. Долевое участие основных групп биофлавоноидов в составе Р-витаминного комплекса биологически активных пищевых добавок, %
Table 3. Proportion of the main groups of bioflavonoids in the P-vitamin complex of biologically active food supplements, %

Образец	Собств. антоцианы	Лейкоантоцианы	Сумма антоц. пигм.	Катехины	Флавонолы
№ 10 – эт.	22	16	38	2	60
№ 14	2	11	13	3	84
№ 16	2	11	13	42	45
№ 17	2	9	11	14	75

Так, у всех исследуемых образцов доминирующее положение в Р-витаминном комплексе принадлежало флавонолам при варьировании их долевого участия от 45 % у образца № 16 до 84 % у образца № 14. Наиболее высокой относительной долей содержания антоциановых пигментов, достигавшей 38 %, характеризовался эталонный образец № 10, для которого показано самое значительное в линейке БАДов участие в биофлавоноидном комплексе собственно антоцианов, достигавшее 22 %, благодаря, на наш взгляд, присутствию в этом объекте обогащенных данными соединениями цветков гибискуса. При этом в нем отмечено также весьма высокое доленое участие и лейкоформ антоциановых пигментов, достигавшее 16 %. Заметим, что сравниваемые с эталонным объектом образцы всех тестируемых БАДов характеризовались практически одинаковой, причем весьма незначительной относительной долей как общего количества антоциановых пигментов, не превышавшей 11–13 %, так и их индивидуальных компонентов. Что касается катехинов, то их доля в составе Р-витаминного комплекса образца № 14 была сопоставима с таковой эталонного объекта и не превышала 3 %, тогда как наиболее значительной, достигавшей 42 % и вполне сопоставимой с таковой флавонолов, она оказалась у образца № 16 при промежуточном положении по данному признаку образца № 17 (см. табл.3).

Анализ этих данных свидетельствовал о том, что в составе Р-витаминного комплекса всех тестируемых БАДов при доминирующем положении флавонолов наиболее обогащенным данными соединениями следовало признать образец № 14, антоциановыми пигментами — эталонный образец № 10, а катехинами — образец № 16.

Поскольку основной задачей настоящих исследований являлось выявление пищевой добавки с наиболее высоким интегральным уровнем нутриентной ценности по совокупности всех 24 определявшихся биохимических характеристик, то необходимым условием для этого было определение степени статистически значимых различий тестируемых образцов с эталонным объектом № 10 по каждому анализируемому показателю, результаты которого приведены в табл.4.

Т а б л и ц а 4. Относительные различия тестируемых образцов биологически активных пищевых добавок с эталонным образцом №10 по характеристикам биохимического состава, %

Table 4. Relative differences of the tested samples of biologically active food additives with the reference sample No. 10 in terms of biochemical composition characteristics, %

Показатель	Образцы		
	№ 14	№ 16	№ 17
Сухие вещества	-	-	-
Свободные органические кислоты	-27,6	-83,2	-65,7
Гидроксикоричные кислоты	+45,4	-32,6	-26,4
Растворимые сахара	-45,1	-47,4	-13,3
Сахарокислотный индекс	-24,0	+214,6	+152,1
Пектиновые вещества	+20,6	+40,2	+42,3
Инулин	-26,3	+606,1	-36,0
Целлюлоза	-8,2	-	+42,9
Собственно антоцианы	-92,9	-94,9	-95,2
Лейкоантоцианы	-36,1	-68,5	-67,6
Сумма антоциан. пигментов	-69,3	-84,0	-83,7
Катехины	+66,7	+1275,8	+460,6
Флавонолы	+28,0	-64,5	-28,5
Сумма биофлавоноидов	-8,5	-52,8	-42,6
Дубильные вещества	-25,0	-68,8	-43,8
АОА	+78,0	-31,6	+56,8
Витамин В ₁	-23,3	+23,3	-24,3
Витамин В ₂	+766,7	+177,8	+655,6
Витамин РР	-46,8	-84,4	-57,8
Витамин К ₁	-	+65,8	-15,2
Кальций	+168,4	-19,4	-
Цинк	-	-14,9	-44,3
Медь	-41,4	-50,0	-71,4
Хром	-62,8	-	-62,8

Примечание: Прочерк означает отсутствие статистически значимых по t-критерию Стьюдента различий с эталонным образцом при $p < 0,05$

Заметим, что при варьировании в линейке БАДов содержания сухих веществ в диапазоне 89,1 – 91,6 % (см. табл.1) достоверных различий между ними по данному признаку не выявлено, тогда как для остальных биохимических характеристик в подавляющем большинстве случаев установлены весьма значительные, причем разнонаправленные расхождения с таковыми у образца № 10. При этом в основном они указывали на отставание тестируемых объектов от эталонного БАДа по содержанию действующих веществ, но при разной степени его проявления. Так, все без исключения пищевые добавки достоверно уступали образцу № 10 по содержанию свободных органических кислот (на 28-83 %), растворимых сахаров (на 13-47 %), дубильных веществ (на 25-69%), витамина РР (на 47-84 %), меди (на 41-71 %), собственно антоцианов (на 93-95 %), лейкоантоцианов (на 36-69 %) и их суммарному содержанию (на 69-84 %), а также по общему количеству биофлавоноидов (на 9-53 %).

При этом в наибольшей степени обозначенные различия проявились у образца № 16, а в наименьшей – у образца № 14, для которого в ряде случаев установлено превышение эталонного уровня на фоне отставания от него образцов №№ 16 и 17. В частности, для данного объекта показано на 45 % более высокое, чем у образца № 10, содержание гидроксико-

ричных кислот при отставании от последнего по данному признаку на 26–33 % образцов №№ 16 и 17. Подобная картина наблюдалась и в различиях по содержанию флавонолов – превышение эталонного уровня в первом случае на 28 % и отставание от него на 29–65 % во втором, а также по содержанию кальция с размером превышения в первом случае на 168 % при отставании на 19 % образца № 16 и отсутствии значимых различий у образца № 17 (см. табл. 4). Вместе с тем в образцах №№ 16 и 17 установлено на 15 % и 44 % более низкое, чем у эталонного образца № 10, содержание цинка при отсутствии значимых различий с ним у образца № 14, для которого, как и для образца № 17, показано идентичное отставание от эталонного уровня на 63 % по общему содержанию хрома при отсутствии значимых различий с ним у образца № 16 (см. табл. 4).

Заметим, что в отдельных случаях в характере расхождений тестируемых БАДов с эталонным объектом обозначились и противоположные тенденции. В частности, у образца № 14 показатель сахарокислотного индекса оказался ниже, чем у него, на 24 %, тогда как у образцов №№ 16 и 17, напротив, выше на 152–215 %, а содержание целлюлозы в первом случае также уступало эталонному уровню на 8 % при его превышении на 43 % у образца № 17 и отсутствии значимых различий с ним у образца № 16.

Весьма неоднозначными оказались данные различия и по уровню антиоксидантной активности, для которого у образцов №№ 14 и 17 выявлено превышение эталонного уровня на 78 и 57% на фоне отставания от него на 32 % образца № 16. При этом для содержания инулина и витамина В₁ показана противоположная картина различий тестируемых БАДов с эталонным объектом, в которой на фоне отставания от него по данным показателям образцов №№ 14 и 17 на 26–36 % и 23–24 % соответственно, у образца № 16 установлено, напротив, превышение их значений у эталонного БАДа на 606 % и 23 %. Однако для некоторых биохимических характеристик у всех тестируемых БАДов показаны более высокие значения, нежели у эталонного образца № 10. В частности, для содержания пектиновых веществ относительные размеры данного превышения составляли 21–42 %, катехинов – 67–1276 %, витамина В₂ – 178–767 %, причем в двух первых случаях наименьшими они были опять-таки у образца № 14, а в последнем – у образца № 16 (см. табл. 4).

Заметим, что при столь разноплановой картине различий тестируемых БАДов с эталонным объектом по исследуемым характеристикам биохимического состава представлялось затруднительным выявление БАДа с наиболее высоким интегральным уровнем нутриентной ценности. С этой целью был использован авторский, защищенный патентом, методический прием, основанный на сопоставлении у тестируемых образцов относительных размеров, амплитуд и соотношений статистически достоверных положительных и отрицательных отклонений от эталонных значений исследуемых характеристик биохимического состава [23].

По величине суммарной амплитуды выявленных отклонений, независимо от их знака, можно судить о выразительности различий каждого тестируемого БАДа с эталонным образцом № 10 по совокупности 24 анализируемых признаков, что позволяло провести их ранжирование в порядке снижения степени данных различий. Соотношение же относительных размеров совокупностей положительных и отрицательных различий с эталонными значениями являлось оценочным критерием различий интегрального уровня нутриентной ценности каждого тестируемого образца с эталонным БАДом, если исходить из посыла, что все анализируемые признаки одинаково важны для оценки их качественного состава.

Представленные в табл. 5 данные, полученные на основании табл. 4 и характеризовавшие направленность и степень выразительности сдвигов в биохимическом составе тестируемых БАДов относительно эталонного образца № 10, показали наличие заметных различий в направленности и величине вышеуказанных сдвигов.

Т а б л и ц а 5. Относительные размеры, амплитуды и соотношения разноориентированных различий в биохимическом составе тестируемых образцов биологически активных пищевых добавок с эталонным образцом №10

Table 5. Relative sizes, amplitudes and ratios of differently oriented differences in the biochemical composition of the tested samples of biologically active food additives with reference sample № 10

Образец	Относительные различия, %			
	положит.	отрицат.	амплитуда	положит./ отрицат.
№ 14	1174,0	537,3	1711,3	2,2
№ 16	2404,0	797,0	3201,0	3,0
№ 17	1410,3	778,6	2188,9	1,8

При этом амплитуда разноориентированных сдвигов в биохимическом составе исследуемых образцов варьировалась от 1711,3 % до 3201,0 % при расхождении крайних позиций в 1,9 раза. Заметим, что наибольшим ее значением характеризовался образец №16, а наименьшим — образец №14, что указывало на наибольшую степень различий с эталонным объектом по совокупности исследуемых показателей в первом случае и наименьшую во втором. Вместе с тем у всех тестируемых БАДов кратный размер превышения суммарных значений положительных различий по совокупности анализируемых признаков относительно таковых отрицательных по сравнению с образцом №10, условно принятым за 1, и дающий представление о величине различий между ними по интегральному уровню нутриентной ценности, оказался выше 1 и варьировался в диапазоне 1,8–3,0, что свидетельствовало о более высокой, чем у эталонного объекта, величине этого показателя. По мере снижения данного соотношения, а, следовательно, и качества БАДов по совокупности биохимических характеристик, они были расположены в следующей последовательности: №16 > №14 > №17 > №10

Нетрудно убедиться, что лидирующее положение в приведенном ряду принадлежало образцу №16, у которого величина данного показателя оказалась выше, чем у эталонного объекта, в 3,0 раза, а по сравнению с другими БАДами — в 1,4–1,7 раза, что, принимая во внимание наиболее высокое содержание в нем инулина, позволяло рекомендовать его как наиболее перспективный для практического использования при производстве хлебобулочной продукции, способствующей нормализации углеводного обмена у больных сахарным диабетом.

Заключение. В результате сравнительного исследования образцов 4 видов биологически активных пищевых добавок для производства хлебобулочной продукции, различающихся набором растительных компонентов — №10, принятого за эталон сравнения, а также №№14, 16 и 17 по 24 биохимическим характеристикам, в том числе содержанию сухих, пектиновых и дубильных веществ (танинов), свободных органических и гидроксикоричных кислот, растворимых сахаров, инулина, целлюлозы, антоциановых пигментов (собственно антоцианов и лейкоантоцианов), флавонолов и катехинов, общему количеству биофлавоноидов (Р-витаминов), витаминов В₁, В₂, К₁, РР, макро- и микроэлементов — кальция, меди, цинка, общему количеству хрома и уровню антиоксидантной активности, установлено следующее.

В ряду исследуемых БАДов эталонный образец №10 характеризовался наиболее высоким содержанием свободных органических кислот, растворимых сахаров, дубильных веществ, витамина РР, хрома, цинка и меди, а также обоих компонентов антоцианового комплекса, а также общим количеством биофлавоноидов, но при этом отличался минимальным содержанием пектиновых веществ, катехинов и витамина В₂.

Образец №14 отмечен максимальным содержанием гидроксикоричных кислот, флавонолов, витамина В₂, кальция и столь же высоким, как у эталонного объекта, содержанием цинка и наиболее значительным уровнем антиоксидантной активности, но при этом характеризовался минимальным количеством хрома, целлюлозы, витамина В₁ и самым низким значением сахарокислотного индекса.

Образец №16 занимал лидирующие позиции в линейке БАДов в содержании хрома, пектиновых веществ, инулина, катехинов, витаминов В₁ и К₁, а также характеризовался наиболее высоким показателем сахарокислотного индекса, но при этом отличался наименьшим содержанием титруемых и гидроксикоричных кислот, кальция, дубильных веществ, витамина РР и обладал наиболее обедненным антоциановым комплексом при минимальном количестве флавонолов и биофлавоноидов в целом, что в совокупности обусловило у него наименьший уровень антиоксидантной активности.

Образец №17 характеризовался столь же высоким, как у образца №16, содержанием пектинов при наибольшем содержании целлюлозы, но при этом был отмечен столь же низким, как у предыдущего объекта, содержанием собственно антоцианов и лейкоантоцианов, а также минимальным количеством инулина, цинка, меди, витамина К₁ и сопоставимым с таковым у образца №14 наименьшим содержанием хрома и витамина В₁.

В линейке исследуемых БАДов выявлены существенные различия в составе биофлавоноидного (Р-витаминного) комплекса при доминирующем положении в нем флавонолов, наиболее высоким содержанием которых характеризовался образец №14, антоциановых пигментов — эталонный образец №10, а катехинов — образец №16.

Установлены относительные размеры разноориентированных различий тестируемых образцов БАДов с эталонным образцом №10 по всему спектру исследуемых биохимических

характеристик, варьировавшиеся в диапазоне от 8 до 1276 %. При этом наибольшей степенью различий с эталонным объектом по совокупности 24 показателей характеризовался образец № 16, а наименьшей — образец № 14. Показано, что все тестируемые образцы БАДов превосходили эталонный образец № 10 по интегральному уровню нутриентной ценности в 1,8-3,0 раза при наибольших различиях с ним образца № 16, у которого данный показатель превосходил таковой у образцов № 14 и 17 в 1,4-1,7 раза, что, учитывая наиболее высокое содержание в нем инулина и принимая во внимание основную нацеленность данных исследований, позволяло рекомендовать его как наиболее перспективный образец для производства хлебобулочной продукции, способствующей нормализации углеводного обмена у больных сахарным диабетом.

Список использованных источников

1. Оттавей П. Б. Обогащение пищевых продуктов и биологически активные добавки: технология, безопасность и нормативная база / Пер. с англ. — СПб.: Профессия, 2010. — 312 с.
2. Могильный М. П. Пищевые и биологически активные вещества в питании. — М.: ДеЛи принт, 2007. — 240 с.
3. Shimizu M. Functional food in Japan: Current status and future of gut-modulating food // *Journal of Food and Drug Analysis*. — 2012. — № 20. — С. 213–216.
4. Sagawa T.I.H., Kato I. Fucoidan as functional foodstuff: Structure and biological potency // *Japan J Phycol.* — 2003. — № 51. — С. 19–25.
5. Методы определения сухих веществ или влаги: ГОСТ 28561-90 // Введен в действие 01.07.1991. — М.: Стандартинформ, 1991. — 11 с.
6. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. — 3-е изд., перераб. и доп. — Ленинград : [Издательство], 1987. — 430 с.
7. Марсов, Н. Г. Фитохимическое изучение и биологическая активность брусники, клюквы и черники : диссертация кандидат фармацевтических наук / «Пермская государственная фармацевтическая академия». — Пермь, 2006. — С. 99–101.
8. Большой практикум «Биохимия». Лабораторные работы : учебное пособие / сост. М. Г. Кусакина, В. И. Суворов, Л. А. Чудинова; Пермский государственный национальный исследовательский университет. — Пермь : [Издательство], 2012. — 148 с.
9. Saengkanuk, Araya. Simplified spectrophotometric method for determination of inulin in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers // *Food Research Technology*. — 2011. — Т. 233. — С. 609–616.
10. Гамаюрова, В. С., Ржечицкая, Л. Э. Пищевая химия: учебник для студентов вузов: учебное пособие, электронное издание сетевого распространения / В. С. Гамаюрова, Л. Э. Ржечицкая. — М.: КДУ, Добросвет, 2018. — 496 с.
11. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье // Государственная фармакопея СССР. — М.: Медицина, 1987. — Вып. 1: Общие методы анализа. — С. 286–287.
12. Swain T., Hillis W. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. 1. The quantitative analysis of phenolic constituents // *J. Sci. Food Agric.* — 1959. — Vol. 10, № 1. — С. 63–68.
13. Скорикова Ю. Г., Шафтан Э. А. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах // Тр. 3 Всесоюз. семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод. — Свердловск, 1968. — С. 451–461.
14. Андреев В. Ю. Методика определения антоцианов в плодах аронии черноплодной // *Фармация*. — 2013. — № 3. — С. 19–21.
15. Спектрофотометрический анализ смесей витаминов с применением метода множественной линейной регрессии / И. В. Власова, А. С. Шелпакова, Е. Н. Масыкова // *Аналитика и контроль*. — 2009. — Т. 13. — № 2. — С. 86–90.
16. Основы аналитической химии / под ред. академика Ю. А. Золотова. — М.: Высшая школа, 2001. — 384 с.
17. Ринькис Г. Я., Ноллендорф В. Ф. Сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами. — Рига: Зинатне, 1982. — 301 с.
18. Агрохимия / под ред. В. Г. Минеева. — М.: «Агрохимэкокодружество», 2017. — 854 с.
19. Dung N. T., Kim J. M., Kang S. C. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and the ethanol extract of *Cleistocalyx* (Roxb.) Merr. and Perry buds // *Food and Chemical Toxicology*. 2008. Vol. 46, no. 12. P. 3632–3639.
20. Карабанов И. А. Флавоноиды в мире растений / И. А. Карабанов. — Минск: Ураджай, 1981. — 80 с.
21. Шмерко Е. П., Мазан И. Ф. Лечение и профилактика растительными средствами / Е. П. Шмерко, И. Ф. Мазан. — Баку: Азербайджан, 1992. — 316 с.

22. Домаш В. И., Иванов О. А., Шарпио Т. П. Антиоксидантная активность белков отдельных видов дикорастущих растений Беларуси и Монголии // Ботаника (исследования): сб. науч. тр. / Ин-т эксперимент. ботаники НАН Беларуси. – Минск, 2017. – Вып. 46. – С. 190–199.
23. Рупасова Ж. А., [и др.] Способ ранжирования таксонов растений / Мн.: Патент на изобретение №17648 от 08.07.2013.

Информация об авторах

Рупасова Жанна Александровна, главный научный сотрудник лаборатории биохимии и биотехнологии растений ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» (ул. Сурганова, 2в, 220072, г. Минск, Республика Беларусь)

E-mail: J.Rupasova@cbg.org.by

Авраменко Станислав Николаевич, младший научный сотрудник лаборатории биохимии и биотехнологии растений ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» (ул. Сурганова, 2в, 220072, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: avramenko@cbg.org.by

Мадзиевская Татьяна Афанасьевна, начальник центра пищевых технологий УП «Унитехпром БГУ», (ул. Академика Курчатова, 1, 220045, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: matafa@mail.ru

Далидович Сергей Владимирович, ведущий научный сотрудник центра пищевых технологий УП «Унитехпром БГУ», (ул. Академика Курчатова, 1, 220045, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: npcpt@unitehprombsu.by

Бычковский Павел Михайлович, главный специалист по научной и научно-инновационной деятельности, УП «Унитехпром БГУ», (ул. Академика Курчатова, 1, 220045, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: info@unitehprombsu.by

Information about authors

Rupasova Zhanna Aleksandrovna, Chief Researcher at the Laboratory of Plant Biochemistry and Biotechnology at the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Sarganova str., 220072, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: J.Rupasova@cbg.org.by

Avramenko Stanislav Nikolaevich, Junior Researcher at the Laboratory of Plant Biochemistry and Biotechnology at the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Sarganova str., 220072, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: avramenko@cbg.org.by

Madzievskaya Tatyana Afanasievna, Head of the Food Technology Center of the University of Technology and Management of BSU, (1, Akademika Kurchatova str., 220045, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: matafa@mail.ru

Dalidovich Sergey Vladimirovich, Leading Researcher of the Food Technology Center of the University of Technology and Management of BSU, (1, Akademika Kurchatova str., 220045, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: npcpt@unitehprombsu.by

Bychkovsky Pavel Mikhailovich, Chief Specialist for Scientific and Research and Innovation Activities, UP «Unitehprom BSU», (1, Akademika Kurchatova str., 220045, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: info@unitehprombsu.by

УДК: 664.2.094.941-02

Поступила в редакцию 14.10.2025
Received 14.10.2025¹М. С. Алексеенко, ¹И. М. Почичкая, ²В. В. Литвяк, ³С. М. Бутрим¹РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», Республика Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь;²Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья — филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», г. Москва, Российская Федерация;³Научно-исследовательский институт физико-химических проблем Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ, ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КИСЛОТНОГИДРОЛИЗОВАННЫХ КРАХМАЛОВ

Аннотация. Кислотный гидролиз представляет собой сложный многофакторный процесс, который позволяет, путем изменения его параметров, получить широкий спектр продуктов с различными физико-химическими свойствами [1, 4]. Целью работы является определение физико-химических, органолептических и микробиологических свойств картофельного и кукурузного крахмалов, полученных в результате кислотного гидролиза. В работе установлено, что имеется тенденция к снижению относительной степени кристалличности в результате кислотного гидролиза с увеличением продолжительности и температуры гидролиза, а также концентрации кислоты и суспензии. Это свидетельствует о разрыхлении кристаллических областей и увеличении доли аморфной фазы в результате кислотной обработки. Также установлено, что, несмотря на частичное разрушение их кристаллических областей, наблюдается сохранение надмолекулярной структуры гранул. В работе изучено реологическое поведение крахмальных клейстеров, представляющих собой неньютоновские жидкости, которые однозначно можно классифицировать как псевдопластики. Разработана номограмма для определения температуры гидролиза при использовании 0,5 н. серной кислоты и 0,5 н. соляной кислоты в течение 6 ч. В результате проведенного спектрального анализа доказано, что кислотный гидролиз не приводит к образованию новых функциональных групп или изменению основной структуры мономера — глюкопиранозы. Также в работе описаны микробиологические и органолептические показатели кислотного гидролизированных крахмалов.

Ключевые слова: модифицированные крахмалы, кислотный гидролиз, картофельный крахмал, кукурузный крахмал, физико-химические свойства, дифрактограмма, номограмма, микротопография, ИК-спектр.

¹M. S. Alekseenko, ¹I. M. Pochickaya, ²V. V. Litvyak, ³S. M. Butrim¹RUE «Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus», Minsk, Republic of Belarus;²All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing — Branch of Russian Potato Research Centre, Moscow, Russian Federation;³Belarusian State University, Research Institute for Physical Chemical Problems, Minsk, Republic of Belarus

PHYSICOCHEMICAL, ORGANOLEPTIC AND MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF ACID-HYDROLYZED STARCHES

Abstract. Acid hydrolysis is a complex multifactorial process which allows, by varying its parameters, to obtain a wide range of products with different physicochemical properties [1, 4]. The aim of the work is to determine the physicochemical, organoleptic and microbiological properties of potato and corn starches obtained by acid hydrolysis. The work has established that there is a tendency for the

relative degree of crystallinity to decrease as a result of acid hydrolysis with increasing duration and temperature of hydrolysis, as well as the concentration of acid and suspension. This indicates loosening of the crystalline regions and an increase in the proportion of the amorphous phase as a result of acid treatment. It has also been established that, despite the partial destruction of their crystalline regions, preservation of the supramolecular structure of the granules is observed. The work has studied the rheological behavior of starch pastes, which are non-Newtonian fluids that can be clearly classified as pseudoplastics. A nomogram has been developed for determining the hydrolysis temperature using 0.5 N sulfuric acid and 0.5 N hydrochloric acid for 6 hours. Spectral analysis demonstrated that acid hydrolysis does not result in the formation of new functional groups or changes in the basic structure of the monomer, glucopyranose. The microbiological and organoleptic properties of acid-hydrolyzed starches are also described.

Keywords: modified starches, acid hydrolysis, potato starch, corn starch, physicochemical properties, diffractogram, nomogram, micrograph, IR spectrum.

Введение. Крахмал и крахмалопродукты являются важнейшим ресурсом для национальной экономики. Сферы их применения чрезвычайно широки: от пищевой (кондитерская, хлебопекарная, молочная отрасли и др.) до текстильной, бумажной, фармацевтической и даже металлургической промышленности. Кроме того, крахмал служит сырьем в химическом производстве для получения сорбита, лаков, пленок и другой продукции. Вследствие особенностей химического строения, крахмал играет решающую роль в формировании структуры и потребительских характеристик многих продуктов, в том числе и картофелепродуктов. Мировой тренд показывает рост производства и потребления крахмала, особенно модифицированных видов, получаемых путем направленного изменения их свойств. Модифицированные крахмалы — крахмалы с измененными (улучшенными) физико-химическими свойствами под воздействием физического, химического, биологического или смешанного факторов [1-3]. Для Республики Беларусь вопрос импортозамещения в этой сфере стоит остро: годовая потребность в нативных и модифицированных крахмалах составляет около 2500 тонн. Многие местные предприятия выражают готовность поддержать разработку отечественных высокоэффективных технологий их производства. Сфера применения натуральных (нативных) крахмалов в современной промышленности довольно ограничена. В условиях постоянного роста рынка и спроса на материалы с заданными функциями, производство модифицированных крахмалов стало решением, позволяющим преодолеть эти ограничения и значительно расширить области их промышленного использования. Модифицированный крахмал, получаемый путем химической, физической, биологической или комбинированной обработки, приобретает свойства, отличные от исходного сырья. В процессе модификации крахмал наделяется такими функциями, как загущающая, влагоудерживающая, студнеобразующая, эмульгирующая и пленкообразующая способности [1, 4]. Использование модифицированного крахмала в рецептурах позволяет не только снизить его дозировку, но и улучшить ключевые характеристики продукции: консистенцию, органолептические свойства и срок годности. Кислотноголизованные крахмалы применяются при производстве консервированных изделий, соусов, в качестве загустителя или желирующего агента в молочной промышленности; в кондитерской промышленности его применяют при изготовлении жевательных конфет, желе; также они используются в качестве наполнителя при производстве пакетированных супов быстрого приготовления [1, 3].

Объекты исследования. Объектами исследования являются нативные картофельный и кукурузный крахмалы. Кислотноголизованные крахмалы (картофельный и кукурузный).

Методы исследований. Кислотный гидролиз картофельного и кукурузного крахмала проводили при $(30-50) \pm 3$ °C в течение 2–6 ч при использовании 0,1 н. и 0,5 н. водного раствора соляной (HCl) и серной кислот (H₂SO₄).

Реакцию кислотного гидролиза осуществляли следующим образом: навеску крахмала при перемешивании диспергировали в определенном объеме раствора соляной или серной кислоты (концентрация суспензии крахмала — 20 %, 30 %, 40 %), затем термостатировали при фиксированной температуре 30–50 °C, после чего через 2–6 ч суспензию кислотноголизованного крахмала нейтрализовали 0,1 н. или 0,5 н. раствором гидроокиси натрия до pH 6,0–7,0 при помощи универсальной индикаторной бумаги, затем кислотноголизованный крахмал отделяли от раствора на стеклянном пористом фильтре под вакуумом, промывали водой и сушили в сушильном шкафу при температуре 35 °C.

Морфологическую структуру оценивали на сканирующем электронном микроскопе LEO 1420 (Germany). Металлизацию препаратов осуществляли золотом в вакуумной установке EMITECH K 550X [5].

Гранулометрический анализ нативных и кислотногидролизированных крахмалов проводили путем измерения размеров крахмальных гранул на микрофотографиях, полученных при электронной микроскопии, и последующей обработки результатов измерений общепринятыми статистическими методами.

Исследования волновых чисел нативных и кислотногидролизированных крахмалов проводили с использованием ИК-спектрометра с преобразованием Фурье (фирма BRUKER модель ALPHA – Германия) с применением приставки НПВО (нарушенного полного внутреннего отражения) – ATR Di [6].

Расшифровку спектров проводили в соответствии с источниками [6–9].

Фазовую структуру исследовали методом рентгенографии [10–12]. Апробированы различные методики подготовки образцов крахмала для съемки дифрактограмм: затирка порошка в кювету-держатель и холодное прессование. Экспериментально установлено, что наиболее качественные препараты крахмала для записи рентгенограмм получаются в результате холодного прессования порошков.

Дифракционные кривые записывали на рентгеновском дифрактометре HZG 4A (Carl Zeiss, Jena, Germany) с использованием медного (CuK_α) излучения, фильтрованного никелем. Все кривые снимались в абсолютно идентичных условиях, в шаговом режиме дискретного сканирования. Шаговый режим сканирования, в отличие от непрерывного, обеспечивает высокую информативность и точность метода рентгенофазового анализа: возможность прецизионного определения положения дифракционных рефлексов. Дифракционные кривые исследуемых образцов записывали в режиме «на отражение».

Напряжение сдвига измеряли при помощи вискозиметра Брукфильда LVDV II+Pro (использовался SSA адаптер с измерительным шпинделем SC4-18 с объемом пробы 8 см³ с термостатирующей рубашкой), после чего рассчитывали динамическую вязкость [13].

Органолептические показатели определяли по ГОСТ 7698-93. Отбор и подготовку проб для микробиологических анализов проводили соответственно по ГОСТ 31904-2012 и ГОСТ 26669-85. Методы культивирования микроорганизмов осуществлялись по ГОСТ 26670-91. Определение КМАФАнМ проводили по ГОСТ 10444.15-94, БГКП – по ГОСТ 31747-2012, патогенных микроорганизмов – по ГОСТ 31659-2012. Дрожжи и плесени определяли по ГОСТ 10444.12-2013.

Результаты исследований и их обсуждение. Кислотный гидролиз представляет собой сложный многофакторный процесс, который позволяет, путем изменения его параметров, получить широкий спектр продуктов с различными физико-химическими свойствами.

Для изучения фазовых превращений, возникающих при кислотном гидролизе картофельного и кукурузного крахмала соляной и серной кислотами, был применен рентгенофазовый анализ. Исходные и модифицированные крахмалы имеют аморфно-кристаллическую структуру, которая претерпевает значительные изменения в процессе гидролиза.

Результаты анализа фазовой структуры нативных крахмалов и изменения их относительной степени кристалличности (ОСК) после гидролиза представлены на рис. 1. *a* – нативный картофельный крахмал; *b* – нативный кукурузный крахмал; *в* – картофельный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 6 часов; *г* – картофельный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором соляной кислоты при 50 °С, 6 ч; *д* – кукурузный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 6 ч; *е* – кукурузный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором соляной кислотой при 50 °С, 6 ч.

Как видно из рис.1, дифрактограмма нативного картофельного крахмала, характерная для полиморфной модификации В-типа (типичной для клубневых крахмалов), демонстрирует два четких дифракционных рефлекса. Наличие значительной доли аморфного гало указывает на рассеяние от неупорядоченной фазы. Значение ОСК для нативного картофельного крахмала составило 37,1%.

Дифрактограмма нативного кукурузного крахмала демонстрирует три дифракционных рефлекса низкой интенсивности и разрешенности, что указывает на малые размеры и высокую дефектность его кристаллитов. Наряду с дискретными пиками, на дифрактограмме фиксируется значительная доля диффузного рассеяния (аморфное гало), обусловленная наличием неупорядоченной фазы. Полученные данные позволяют идентифицировать структуру нативного кукурузного крахмала как А-тип, характерный для зерновых крахмалов. Рассчитанное значение относительной степени кристалличности составило 34,9 %.

Сравнение с дифрактограммами кислотногидролизированных образцов (рис. 1) показывает, что, несмотря на наличие дискретных максимумов, их пики становятся ниже и шире по сравнению с более острыми пиками нативных крахмалов. Это свидетельствует о разрыхлении кристаллических областей и увеличении доли аморфной фазы в результате кислотной обработки.

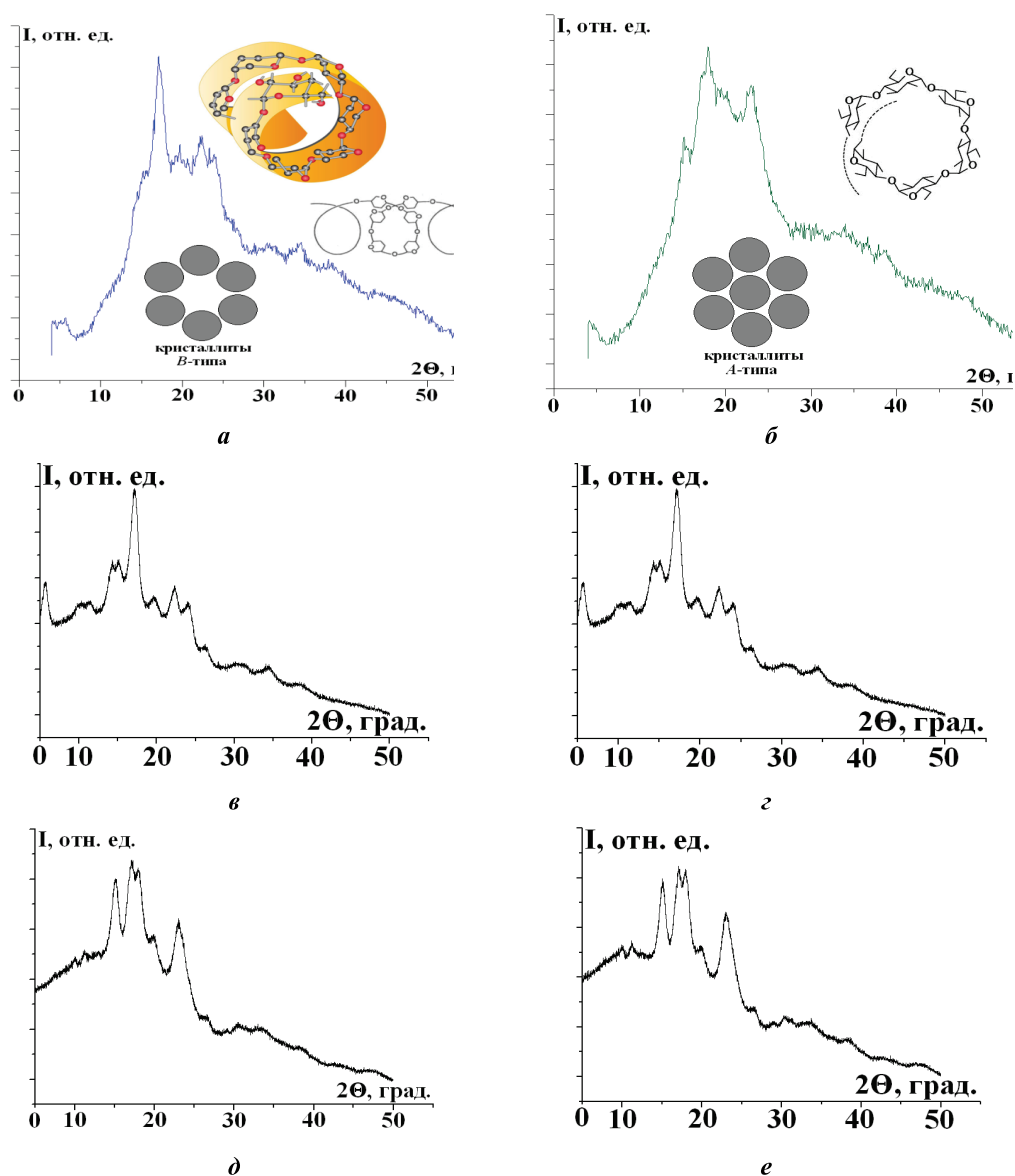


Рис. 1. Дифрактограммы нативных и кислотногидролизovaných крахмалов
Fig. 1. Diffraction patterns of native and acid-hydrolyzed starches

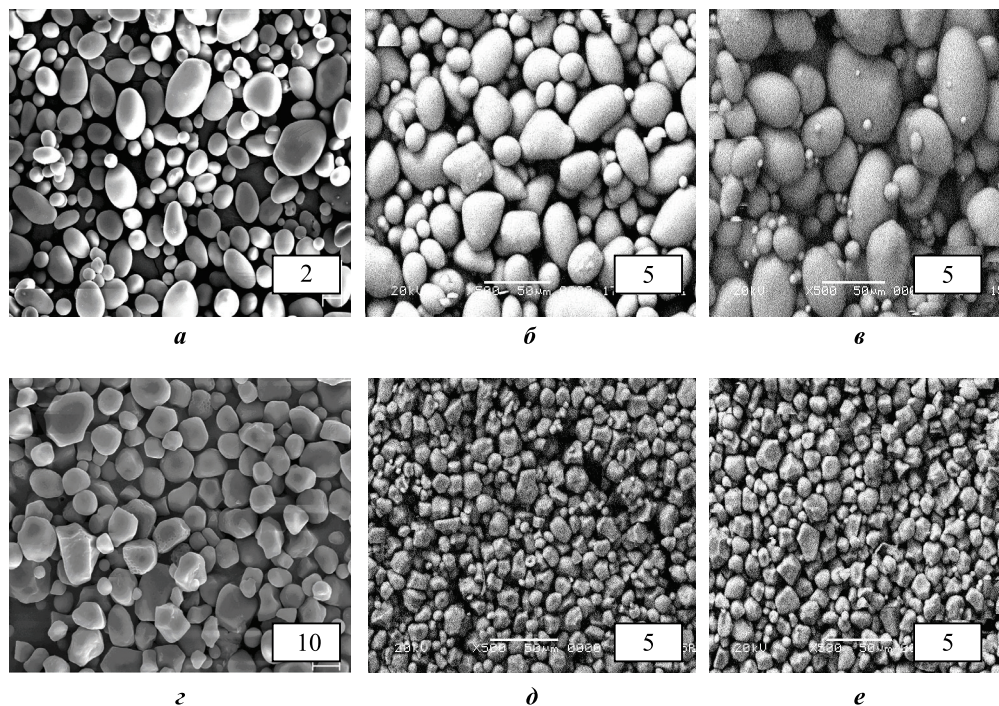
Рассчитана относительная степень кристалличности картофельных и кукурузных крахмалов, гидролизovaných при температуре от 30 до 50 °С, при использовании серной и соляной кислот с концентрацией 0,1 н. и 0,5 н., при этом продолжительность обработки варьировалась от 2 до 6 часов, концентрация крахмальной суспензии при этом составляла 20 %, 30 % и 40 %.

Анализ полученных данных выявил общую тенденцию к снижению относительной степени кристалличности (ОСК) в результате кислотного гидролиза. Установлено, что значение ОСК уменьшается при повышении температуры процесса с 30 до 50 °С. Кроме того, гидролиз соляной кислотой приводит к более низким показателям кристалличности по сравнению с серной кислотой, а увеличение продолжительности обработки с 2 до 6 часов также способствует деградации кристаллической структуры.

Сохранение аморфно-кристаллического строения после обработки подтверждает, что холодный гидролиз неорганическими кислотами не разрушает гранулу целиком, что согласуется с данными сканирующей электронной микроскопии (рис. 2).

Как видно из рис. 2, форма гранул, характерная для нативных крахмалов, у кислотногидролизovaných крахмалов сохраняется. Форма гранул нативного картофельного крахмала круглая и овальная, а для нативного кукурузного крахмала присуща многогранная и неправильная форма. Сохранение крахмальных гранул (недопущение их клейстеризации) при

химической модификации крахмала в суспензии очень важно в технологическом плане. Обезвоживание и сушка крахмала с целыми гранулами осуществляется значительно легче, чем с клейстеризованными (разрушенными). Наблюдается сохранение надмолекулярной структуры гранул, несмотря на частичное разрушение их кристаллических областей. Устойчивость гранул объясняется, вероятно, образованием вторичных поперечных сшивок между $\alpha(1\rightarrow4)$ - и $\alpha(1\rightarrow6)$ -глюкозидными связями. Процесс разрыхления кристаллических участков интенсифицируется с ростом температуры.



а – нативный картофельный крахмал; *б* – гидролизированный картофельный крахмал (0,5 н. H_2SO_4 , 50 °С, 6 ч, концентрация крахмальной суспензии - 40%); *в* – гидролизированный картофельный крахмал (0,1 н. HCl , 50 °С, 2 ч, концентрация крахмальной суспензии - 40 %); *г* – нативный кукурузный крахмал; *д* – гидролизированный кукурузный крахмал (0,5 н. HCl , 50 °С, 6 ч, концентрация крахмальной суспензии - 40 %); *е* – гидролизированный кукурузный крахмал (0,5 н. HCl , 50 °С, 6 ч, концентрация крахмальной суспензии - 40%)

Рис. 2. Сканирующие электронные микрофотографии нативных и кислотного гидролизированных крахмалов
Fig. 2. Scanning electron micrographs of native and acid-hydrolyzed starches

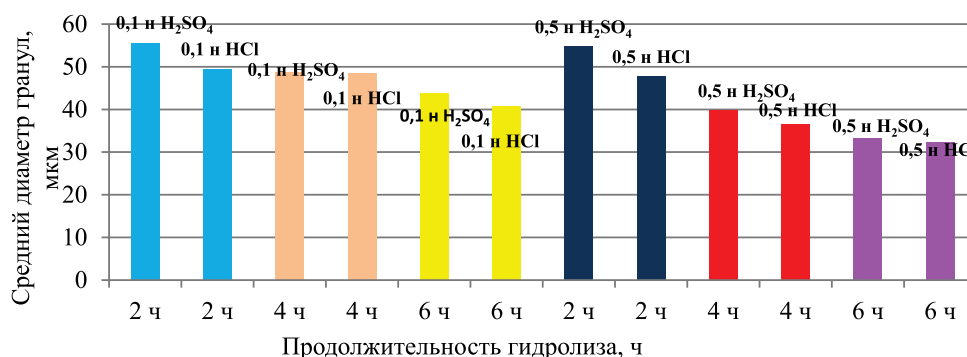


Рис. 3. Влияние продолжительности гидролиза, вида и концентрации кислоты на средний диаметр гранул картофельного крахмала (температура гидролиза 50 °С, концентрация крахмальной суспензии 40 %)
Fig. 3. The effect of hydrolysis duration, type and concentration of acid on the average granule diameter of potato starch (hydrolysis temperature 50 °С, starch suspension concentration 40%)

В процессе гидролиза происходит уменьшение среднего диаметра гранул кислотного гидролизованного картофельного и кукурузного крахмала при увеличении продолжительности гидролиза, увеличении концентрации неорганической кислоты, увеличении температуры гидролиза, а также концентрации крахмальной суспензии (рис.3-6).

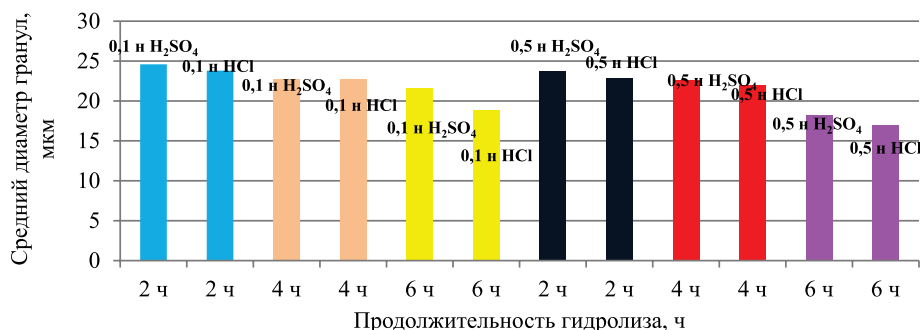


Рис. 4. Влияние продолжительности гидролиза, вида и концентрации кислоты на средний диаметр гранул кукурузного крахмала (температура гидролиза 50 °С, концентрация крахмальной суспензии 40 %)

Fig. 4 The effect of hydrolysis time, acid type and concentration on the average granule diameter of corn starch (hydrolysis temperature 50 °C, starch suspension concentration 40%)

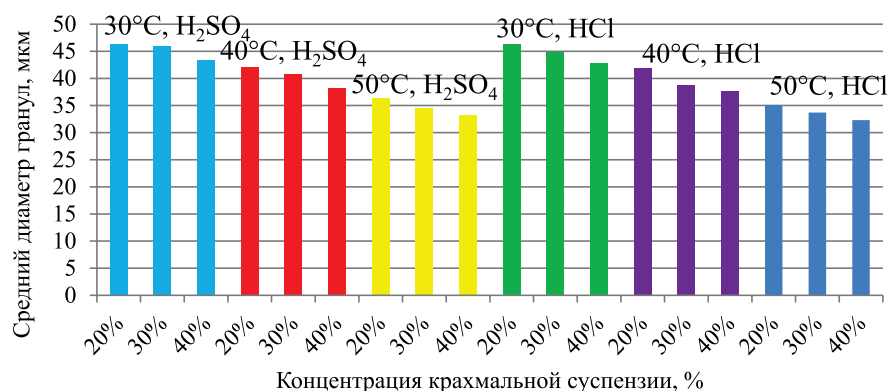


Рис. 5. Влияние концентрации крахмальной суспензии на средний диаметр гранул картофельного крахмала и температуры гидролиза (концентрация кислоты 0,5 н., продолжительность гидролиза – 6 ч)

Fig. 5. The effect of starch suspension concentration on the average granule diameter of potato starch and hydrolysis temperature (acid concentration 0.5 N, hydrolysis time – 6 h)

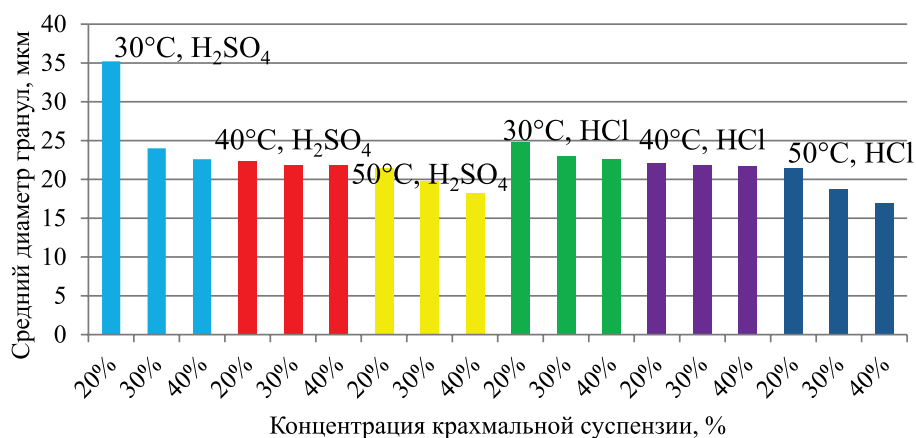


Рис. 6. Влияние концентрации крахмальной суспензии на средний диаметр гранул кукурузного крахмала и температуры гидролиза (концентрация кислоты 0,5 н., продолжительность гидролиза – 6 ч)

Fig. 6. The effect of starch suspension concentration on the average granule diameter of corn starch and hydrolysis temperature (acid concentration 0.5 N, hydrolysis time 6 h)

В данном случае модифицированный картофельный крахмал, характеризующийся наименьшим средним диаметром гранул (32,3 мкм), был получен при следующих технологических параметрах гидролиза: продолжительность – 6 ч, концентрация крахмальной суспензии – 40 %, температура – 50 °С, вид и концентрация неорганической кислоты – 0,5 н. раствор соляной кислоты. Для кислотногидролизованного картофельного крахмала, полученного в аналогичных условиях, но с использованием 0,5 н. серной кислоты, средний диаметр крахмальных гранул составил 33,3 мкм.

При этом для кукурузного крахмала наименьший средний диаметр гранул был отмечен у образца, полученного путем кислотного гидролиза в течение 6 ч в 40 %-ой суспензии при температуре 50 °С при использовании 0,5 н. соляной кислоты, и составил 17,0 мкм. При использовании 0,5 н. серной кислоты при прочих равных условиях был получен крахмал с диаметром гранул 18,2 мкм.

На следующем этапе работы было изучено реологическое поведение крахмальных клейстеров, которые преимущественно представляют собой неньютоновские жидкости. Неньютоновская жидкость – это жидкость, при течении которой ее вязкость зависит от градиента скорости [13]. Это означает, что их вязкость не является постоянной, а изменяется в зависимости от скорости сдвига. Такое поведение объясняется наличием в жидкости крупных молекул, формирующих сложные пространственные структуры и обуславливающих ее неоднородность. Чем интенсивнее внешнее воздействие на эти макромолекулы, тем выше проявляется вязкость, при этом продолжительность воздействия не влияет на параметры течения.

Эксперименты проводились в диапазоне скоростей сдвига от 0,084 до 132 с⁻¹, который соответствует реальным условиям технологических процессов с использованием таких клейстеров. Результаты показали, что независимо от условий кислотного гидролиза реологическое поведение всех образцов хорошо описывается степенным законом Оствальда-де-Ваале. Согласно данному закону, жидкости можно разделить на три типа в зависимости от индекса течения n : (при $n < 1$ – псевдопластики, т.е. при медленных движениях вязкость велика, затем убывает; при $n > 1$ – дилатантная жидкость, т.е. вязкость растет с увеличением скорости, при $n = 1$ – ньютоновская жидкость) [13]. Во всех исследованных случаях значения индекса течения оказались меньше единицы, что позволяет однозначно классифицировать клейстеры, приготовленные из кислотногидролизованных крахмалов как псевдопластики.

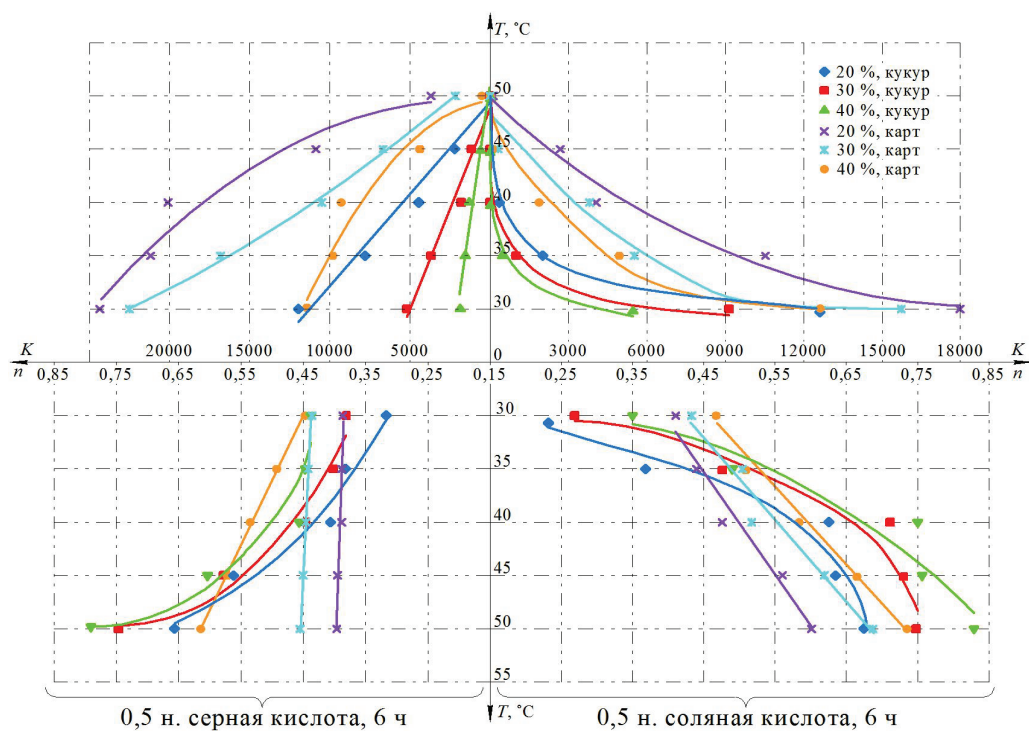
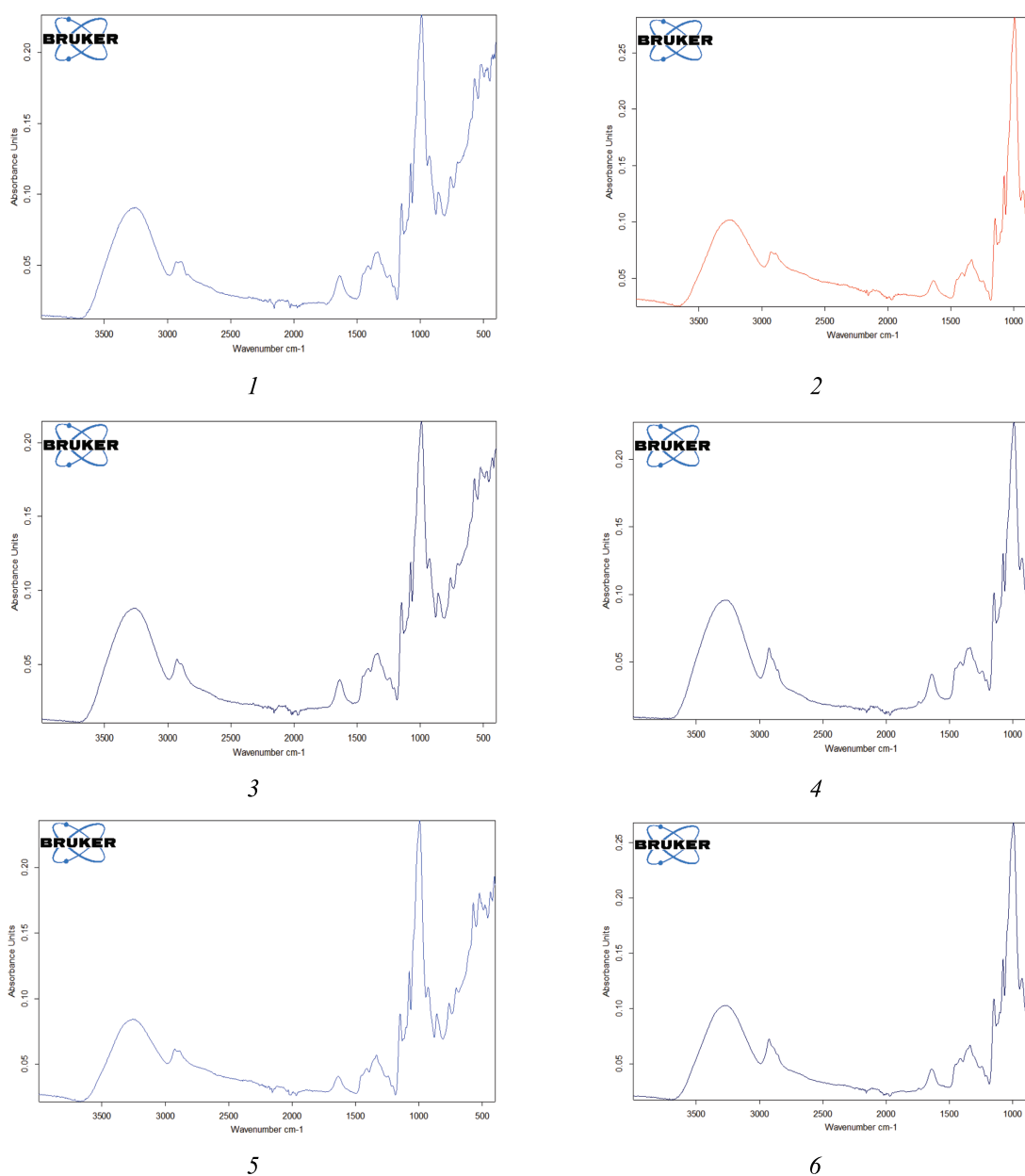


Рис. 7. Номограмма для определения температуры гидролиза при использовании 0,5 н. серной кислоты и 0,5 н. соляной кислоты в течение 6 ч
Fig. 7. Nomogram for determining the hydrolysis temperature using 0.5 N sulfuric acid and 0.5 N hydrochloric acid for 6 hours

На основе установленных закономерностей был разработан практический алгоритм подбора технологических параметров кислотного гидролиза для получения крахмала с заданными реологическими свойствами. Сначала определяются коэффициенты K и n уравнения Оствальда-де-Ваале для целевого крахмала, затем по построенным зависимостям $n = f(X_1)$ и $K = f(X_1)$ устанавливаются необходимые технологические параметры, включая продолжительность гидролиза, концентрацию и тип кислоты, концентрацию крахмальной суспензии. На рис. 7 представлена номограмма для определения температуры гидролиза при использовании 0,5 н. серной кислоты и 0,5 н. соляной кислоты в течение 6 ч для различных концентраций суспензий картофельных и кукурузных крахмалов.



нативные: 1 – картофельный, 2 – кукурузный; кислотноголизованные: 3 –картофельный крахмал, гидролизованный 0,5 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 6 ч, 4 –картофельный крахмал, гидролизованный 0,5 н. раствором соляной кислоты при 50 °С, 6 ч; 5 – кукурузный крахмал крахмал, гидролизованный 0,5 н. раствором соляной кислоты при 50 °С, 6 ч, 6 –кукурузный крахмал, гидролизованный 0,5 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 6 ч

Рис. 8. ИК-спектры крахмала
Fig. 8. IR spectra of starch

С целью изучения влияния кислотного гидролиза на химические связи и группы крахмальных полимеров проведен спектральный анализ. На рис. 8 представлены ИК-спектры нативных и кислотногогидролизированных картофельного и кукурузного крахмалов, полученных при самых жестких условиях в соответствии с матрицей эксперимента.

Анализ спектров (рис.8) продемонстрировал следующее:

1. Сохранение химической структуры: ИК-спектры нативных и модифицированных крахмалов практически идентичны, особенно в так называемой области «отпечатков пальцев» ($750\text{--}1350\text{ см}^{-1}$), которая уникальна для каждого вещества. Это доказывает, что кислотный гидролиз не приводит к образованию новых функциональных групп или изменению основной структуры мономера – глюкопиранозы.

2. Наличие ключевых связей: В спектрах всех образцов наблюдается характерное поглощение при $927\text{--}930\text{ см}^{-1}$, указывающее на наличие $\alpha(1\rightarrow4)$ -глюкозидных связей.

3. Суть процесса гидролиза: процесс гидролиза приводит лишь к разрыву глюкозидных связей ($\alpha(1\rightarrow4)$ и $\alpha(1\rightarrow6)$), что уменьшает длину полимерных цепей (молекулярную массу), но не затрагивает химическое строение самих звеньев глюкозы.

Таким образом ИК-спектроскопия подтвердила, что кислотный гидролиз является безопасным видом модификации, так как не вызывает химических превращений в молекуле крахмала, а лишь укорачивает ее цепи. Полученные крахмалы пригодны для применения в пищевой промышленности.

Органолептические показатели нативных и кислотногогидролизированных картофельных и кукурузных крахмалов представлены в табл.1.

Т а б л и ц а 1. Органолептические показатели нативных и кислотногогидролизированных картофельных и кукурузных крахмалов

Table 1. Organoleptic properties of native and acid-hydrolyzed potato and corn starches

Вид крахмала	Органолептические показатели			
	Внешний вид	Цвет	Запах	Вкус
<i>картофельный крахмал</i>				
Нативный (ГОСТ 7699-78)	Однородный порошок	От белого с кристаллическим блеском до белого с сероватым оттенком	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	Свойственный крахмалу, без постороннего привкуса
Гидролизированный:				
картофельный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 6 ч	Однородный порошок	Белый	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	Свойственный крахмалу, без постороннего привкуса
картофельный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором соляной кислоты при 50 °С, 6 ч	Однородный порошок	Белый	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	Свойственный крахмалу, без постороннего привкуса
картофельный крахмал, гидролизированный 0,1 н. раствором соляной кислоты при 50 °С, 2 ч	Однородный порошок	Белый	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	Свойственный крахмалу, без постороннего привкуса
картофельный крахмал, гидролизированный 0,1 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 2 ч	Однородный порошок	Белый	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	Свойственный крахмалу, без постороннего привкуса

Окончание табл. 1

Вид крахмала	Органолептические показатели			
	Внешний вид	Цвет	Запах	Вкус
<i>кукурузный крахмал</i>				
Нативный (ГОСТ 32159-2013)	Однородный порошок	Белый. Допускается желтоватый оттенок	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	-
Гидролизированный:				
кукурузный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором соляной кислоты при 50 °С, 6 ч	Однородный порошок	Белый с кремовым оттенком	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	Свойственный крахмалу, без постороннего привкуса
кукурузный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 6 ч	Однородный порошок	Белый с кремовым оттенком	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	Свойственный крахмалу, без постороннего привкуса
кукурузный крахмал, гидролизированный 0,1 н. раствором соляной кислоты при 50 °С, 2 ч	Однородный порошок	Белый с кремовым оттенком	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	Свойственный крахмалу, без постороннего привкуса
кукурузный крахмал, гидролизированный 0,1 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 2 ч	Однородный порошок	Белый с кремовым оттенком	Свойственный крахмалу, без постороннего запаха	Свойственный крахмалу, без постороннего привкуса

На рис. 9. Представлен внешний вид нативного и кислотногидролизованного картофельных и кукурузных крахмалов.

Проведены сравнительные исследования органолептических характеристик нативного и кислотногидролизованного крахмалов. Внешний вид, цвет и запах кислотногидролизованных картофельных и кукурузных крахмалов в незначительной степени отличаются от нативных картофельных и кукурузных.

Также в результате проведенных исследований установлено, что микробиологические показатели исходного сырья (нативного картофельного и кукурузного крахмала) соответствовали нормам п.9.9.1 СанНПиГН 52-2013.

Данные микробиологических исследований, представленные в таблице 2, подтвердили соответствие образцов кислотногидролизованных крахмалов по микробиологическим показателям СанНПиГН 52-2013 и могут быть рекомендованы для использования в пищевой промышленности.

Анализ данных таблицы 2 позволил установить, что количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, бактерий группы кишечных палочек (колиформные бактерии), патогенных микроорганизмов (в т.ч. сальмонелл), дрожжей и плесени в кислотногидролизованных картофельном и кукурузном крахмале соответствует нормам п.9.9.1 СанНПиГН 52-2013.

Вследствие детального изучения органолептических и физико-химических, а также микробиологических показателей можно сделать вывод, что данные кислотногидролизованные крахмалы могут применяться в пищевой промышленности для улучшения качества готовой пищевой продукции, а также технических целях.



нативные: 1 – картофельный, 2 – кукурузный; кислотногидролизированные: 3 –картофельный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 6 ч, 4 –картофельный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором соляной кислоты при 50 °С, 6 ч; 5 – кукурузный крахмал крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором соляной кислоты при 50 °С, 6 ч, 6 – кукурузный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором серной кислоты при 50 °С, 6 ч

Рис. 9. Внешний вид крахмала
Fig. 9. Physical appearance of starch

Т а б л и ц а 2. Микробиологические показатели нативных и кислотногидролизированных картофельного и кукурузного крахмалов
Table 2. Microbiological parameters of native and acid-hydrolyzed potato and corn starches

Показатели	КМАФАнМ, КОЕ/г	БГКП (колиформы) в 0,01 г продукта	Патогенные м/о, в т.ч. сальмонеллы в 25 г продукта	Дрожжи, КОЕ/г	Плесени, КОЕ/г
Согласно требованиям СанНПиГН 52-2013					
п.9.9.1	не более 1×10^5	не допускаются	не допускаются	не более $5,0 \times 10^2$	не более $5,0 \times 10^2$
Картофельный крахмал					
Нативный	$3,0 \times 10^2$	не обнаружено	не обнаружено	$3,0 \times 10$	$4,0 \times 10$
Гидролизированный:					

Окончание табл. 2

Показатели	КМАФАнМ, КОЕ/г	БГКП (колиформы) в 0,01 г продукта	Патогенные м/о, в т.ч. сальмонеллы в 25 г продукта	Дрожжи, КОЕ/г	Плесени, КОЕ/г
картофельный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором серной кисло- ты при 50 °С, 6 ч	2,5×10 ²	не обнаружено	не обнаружено	2,0×10	3,0×10
картофельный крахмал, гидролизированный 0,5 н. раствором соляной кис- лоты при 50 °С, 6 ч	2,5×10 ²	не обнаружено	не обнаружено	2,0×10	2,0×10
картофельный крахмал, гидролизированный 0,1 н. раствором серной кисло- ты при 50 °С, 2 ч	3,0×10 ²	не обнаружено	не обнаружено	3,0×10	4,0×10
картофельный крахмал, гидролизированный 0,1 н. раствором соляной кис- лоты при 50 °С, 2 ч	3,0×10 ²	не обнаружено	не обнаружено	4,0×10	4,0×10
Кукурузный крахмал					
Нативный	4,5×10 ²	не обнаружено	не обнаружено	3×10	4×10
Гидролизированный:					
кукурузный крахмал, ги- дролитованный 0,5 н. раствором серной кисло- ты при 50 °С, 6 ч	3,5×10 ²	не обнаружено	не обнаружено	3,0×10	3,0×10
кукурузный крахмал, ги- дролитованный 0,5 н. раствором соляной кис- лотой при 50 °С, 6 ч	3,5×10 ²	не обнаружено	не обнаружено	2,0×10	3,0×10
кукурузный крахмал, ги- дролитованный 0,1 н. раствором серной кисло- ты при 50 °С, 2 ч	4,0×10 ²	не обнаружено	не обнаружено	2,0×10	3,0×10
кукурузный крахмал, ги- дролитованный 0,1 н. раствором соляной кис- лоты при 50 °С, 2 ч	4,0×10 ²	не обнаружено	не обнаружено	3,0×10	4,0×10

Список использованных источников

1. Жушман, А. И. Модифицированные крахмалы / А. И. Жушман. – М. : Пищепромиздат, 2007. – 235 с.
2. Углеводы в пищевых продуктах / М. О. Полумбрик [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2016. – 591 с.
3. Соломин, Д. А. Инновации в производстве и применении модифицированных крахмалов / Д. А. Соломин, Л. С. Соломина // Хранение и перераб. сельхозсырья. – 2014. – № 3. – С. 19–22.
4. Ловкис, З. В. Технология крахмала и крахмалопродуктов : учеб. пособие / З. В. Ловкис, В. В. Литвяк, Н. Н. Петюшев. – Минск : Асобны, 2007. – 176 с.
5. Sawyer, L. C. Polymer microscopy / L. C. Sawyer, D. T. Grubb, G. F. Meyers. – New York : Springer, 2008. – 540 p.
6. Куренков, В. Ф. Практикум по химии и физике высокомолекулярных соединений : учеб. пособие / В. Ф. Куренков, Л. А. Бударина, А. Е. Заикин. – М. : КолосС, 2008. – 394 с.
7. Авраменко, В. Н. Инфракрасные спектры пищевых продуктов : справ. пособие / В. Н. Авраменко, М. П. Ельсон, А. А. Заика ; под общ. ред. В. Д. Попова. – М. : Пищевая пром-сть, 1974. – 175 с.
8. Жбанков, Р. Г. Инфракрасные спектры и структура углеводов / Р. Г. Жбанков. – Минск : Наука и техника, 1972. – 260 с.
9. Neely, W. B. Infrared spectra of carbohydrates / W. B. Neely // Advances in Carbohydrate Chemistry. – 1957. – Vol. 12. – P. 13–33.

10. Ковба, Л. М. Рентгенофазовый анализ / Л. М. Ковба, В. К. Трунов. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1976. – 232 с.
11. Ашихмина, Т. Я. Рентгенофазовый анализ соединений / Т. Я. Ашихмина. – Киров : КГПИ, 1994. – 72 с.
12. Wang, Q. Carbohydrates: physical properties / Q. Wang, P. J. Wood // Handbook of science, technology, and engineering / ed.: Y. H. Hui [et al.]. – Boca Raton ; London ; New York, 2006. – Vol. 1. – P. 2-1–2-18.
13. Максимов, А. С. Реология пищевых продуктов : лаб. практикум : учебник / А. С. Максимов, В. Я. Черных. – СПб. : ГИОРД, 2006. – 176 с.

Информация об авторах

Алексеевко Маргарита Сергеевна, старший научный сотрудник лаборатории хроматографических исследований Республиканского контрольно-испытательного комплекса РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, д. 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь)

E-mail: info@belproduct.com

Почицкая Ирина Михайловна, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник – заведующий научно-исследовательским сектором Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Литвяк Владимир Владимирович, ведущий научный сотрудник лаборатории по испытаниям и внедрению модифицированных крахмалов Всероссийского научно-исследовательского института крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха» (ул. Некрасова, 11, 140051, мкр. Коренево, г.о. Люберцы, Московская обл., Российская Федерация).

E-mail: besserk1974@mail.ru

Бутрим Сергей Михайлович, ведущий научный сотрудник лаборатории химии полисахаридов Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем» (ул. Ленинградская 14, 220030, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: butryms@bsu.by

Information about authors

Alekseenko Margarita Sergeevna, Senior Researcher at the Chromatographic Research Laboratory Republican Test Complex, RUE «Scientific-Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova St., Minsk, 220037, Republic of Belarus).

E-mail: info@belproduct.com

Pochitskaya Irina Mikhailovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher – Head of Research Sector of the Republican Control and Testing Complex for Food Quality and Safety of the Republican Unitary Enterprise “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food”. (29, Kozlova St., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Litvyak Vladimir Vladimirovich, Leading Researcher, Laboratory for Testing and Implementation of Modified Starches, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre (11 Nekrasov St., 140051, Korenevo Microdistrict, Lyubertsy, Moscow Region, Russian Federation).

E-mail: besserk1974@mail.ru

Butrym Sergei Mikhailovich, Leading Researcher, Laboratory of Polysaccharide Chemistry, Belarusian State University, Research Institute for Physical Chemical Problems (14 Leningradskaya St., 220030, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: butryms@bsu.by

УДК 613.281-021.271

Поступила в редакцию 14.10.2025
Received 14.10.2025**А. А. Сулковская, Н. В. Комарова***РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь***РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛОГА
РЫБНЫХ ПРОДУКТОВ НА МЯСОРАСТИТЕЛЬНОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ
ПИТАНИЯ ДЕТЕЙ В ОРГАНИЗОВАННЫХ КОЛЛЕКТИВАХ**

Аннотация: В статье рассмотрена одна из важнейших проблем современной науки и практики, касающаяся питания детей в организованных коллективах, а также качества продуктов питания и их роль в структуре потребительской продукции. Проанализирован международный опыт разработки и производства альтернативных продуктов питания. Изучены принципы пищевой комбинаторики при проектировании продуктов питания заданного состава.

В статье представлена оптимизация рецептурного состава полуфабриката на мясорастительной основе для создания функционального аналога рыбных продуктов, предназначенного для школьного питания. Изучен нутриентный профиль, пищевая и биологическая ценность продукта, а также проведен органолептический анализ с использованием дескрипторно-профильного метода. Продукт разработан на основе куриного мяса с добавлением растительных ингредиентов и рыбьего жира. Результаты показали высокое содержание белка (20,3%), сбалансированный жирнокислотный профиль с наличием ЭПК и ДГК, а также гармоничные органолептические свойства. Продукт рекомендуется для внедрения в школьное питание как альтернатива рыбе, способствующая улучшению здоровья детей.

Ключевые слова: функциональные продукты питания, альтернативные продукты питания, аналог рыбных продуктов, школьное питание, нутриентный профиль, пищевая ценность, органолептический анализ.

A. A. Sulkovskaya, N. V. Komarova*RUE “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food”,
Minsk, Republic of Belarus***DEVELOPMENT AND QUALITY ASSESSMENT OF A FUNCTIONAL
ANALOGUE OF FISH PRODUCTS BASED ON MEAT AND VEGETABLES
FOR CHILDREN’S NUTRITION IN ORGANIZED COLLECTIVES**

Abstract. This article examines one of the most important issues in modern science and practice, concerning children’s nutrition in organized groups, as well as food quality and its role in the structure of consumer products. International experience in the development and production of alternative food products is analyzed. The principles of food combinatorics in the design of food products with a given composition are studied.

This article presents the optimization of the recipe for a semi-finished meat-and-plant-based product to create a functional analogue of fish products intended for school meals. The nutrient profile, nutritional and biological value of the product were studied, and an organoleptic analysis was conducted using the descriptor-profile method. The product was developed using chicken meat with the addition of plant-based ingredients and fish oil. The results showed a high protein content (20.3%), a balanced fatty acid profile with EPA and DHA, and harmonious organoleptic properties. The product is recommended for inclusion in school meals as an alternative to fish, contributing to improved children’s health.

Keywords: functional food products, alternative food products, analogue of fish products, school nutrition, nutrient profile, nutritional value, organoleptic analysis.

Введение. В исследовании проведен анализ создания и производства альтернативных пищевых продуктов [1-7]. В Беларуси рынок таких изделий активно развивается, но пока ограничивается преимущественно растительными аналогами. Значительные достижения отмечаются в их насыщении витаминами, минеральными веществами, синбиотиками (включая антиоксиданты), пищевыми волокнами, полиненасыщенными жирными кислотами, пребиотиками и пробиотиками.

Ключевые цели питания детей и подростков в организованных группах - предоставление рационов, адаптированных к возрастным и физиологическим нуждам в питательных веществах и энергии, с соблюдением баланса и рациональности, гарантированным качеством и безопасностью, а также профилактикой инфекционных и неинфекционных болезней, связанных с питанием. Достаточное снабжение качественными продуктами с оптимальным нутриентным профилем (витаминами, микро- и макроэлементами) критически важно для роста и всестороннего развития детей [11].

По нормам организации питания в образовательных учреждениях, в школьные рационы должна включаться рыба [8-10,12]. Часто применяемое филе минтая из-за характерного аромата, вкуса, методов готовки и предпочтений детей оно не находит отклика у школьников, приводя к значительным отходам (до 70%) в дни рыбных блюд.

Поэтому разработка технологий продуктов-аналогов для дошкольников и школьников, соответствующих санитарным нормам и научным рекомендациям, с учетом новейших достижений в диетологии, представляет собой крайне востребованную задачу высокой социальной актуальности, особенно в текущих сложных социально-экономических условиях.

Цель исследований – разработка и оптимизация рецептурного состава полуфабриката на мясорастительной основе аналогичного по нутриентному профилю рыбной продукции. Исследование пищевой и биологической ценности полученного полуфабриката-аналога рыбной продукции и готового продукта-аналога, определение его нутриентного профиля.

Задачи:

1. исследовать аминокислотный и жирнокислотный состав рыбы, в т.ч. используемой в питании детских организованных коллективах;
2. подобрать сырьевые компоненты животного, растительного происхождения, а также потенциальные минеральные и витаминные добавки, позволяющие создать продукт аналогичный рыбному, соотнести норму потребления и физиологическую суточную потребность организма;
3. разработать модельные параметры продуктов-аналогов рыбы. Подготовить лабораторные образцы альтернативных продуктов, провести исследования по показателям качества, безопасности и витаминно-минерального состава, определить аминокислотный, жирнокислотный и минеральный состав;
4. провести органолептический анализ полученного продукта с использованием дескрипторно-профильного метода.

Материалы методы исследования. Исследования проводились в Республиканском контрольно-испытательном комплексе по качеству и безопасности продуктов питания. Объектами исследований выбраны общедоступные в торговой сети и пользующиеся спросом среди потребителей, в том числе широко используемые при приготовлении блюд в организованных коллективах виды рыбы: минтай и скумбрия (как жирный и нежирный вид рыбы); карп (как наиболее доступная пресноводная рыба), и составлен ее нутриентный профиль (содержание аминокислот, жирных кислот, минеральных веществ, витаминов, пищевая ценность). На основе полученных данных нутриентного профиля рыбы был разработан экспериментальный образец полуфабриката-аналога рыбной продукции из ингредиентов широко используемых при приготовлении блюд. Основные компоненты, используемые при создании аналога-рыбы: куриное филе, творог, яйцо, овощи, растительные и животные масла.

В исследовании использовались стандартные методы исследований показателей качества пищевых продуктов, методы определения пищевой и биологической ценности сырья и готовых продуктов.

Для проведения органолептического анализа с использованием дескрипторно-профильного метода была разработана панель дескрипторов и согласована с группой испытателей (табл. 1), подготовлено 3 образца котлет: куриная, из минтая и продукт-аналог. Котлеты запекались в духовке при температуре 180 °С в течении 20-25 минут до готовности (рис. 1).

Т а б л и ц а 1. Панель дескрипторов, составленная с помощью ISO 11035:1994, ГОСТ 33609-2015, ГОСТ 34160-2017

Table 1. Descriptor panel compiled using ISO 11035:1994, GOST 33609-2015, GOST 34160-2017

Аромат	Консистенция	Внешний вид	Вкус
Интенсивность аромата; Аромат тины/ водорослей; Аромат пряностей; Йодистый запах; Запах рыбьего жира; Гармоничность аромата	Плотность продукта; Упругость; Адгезионная способность (прилипание к зубам)	Чистая поверхность; Интенсивность серого цвета; Морщинистость, наличие трещин; Сухая поверхность; Влажная поверхность; Бледная поверхность; Степень измельчения; Наличие костных частиц	Мучнистость (крахмалистость); Сочность; Сладость; Соленость; Вкус пряностей, добавок; Вкус растительных добавок (овощей); Рыбный вкус; Мясной вкус; Наличие послевкусия; Стойкость послевкусия; Гармоничность вкуса



Рис. 1. Внешний вид экспериментальных образцов:

а - куриная котлета; б - котлета из минтая; в – продукт-аналог

Fig. 1. Appearance of experimental samples: a - chicken cutlet; b - pollack cutlet; c - product-analog.

Органолептическая оценка проведена специалистами - дегустаторами, имеющими опыт работы по оценке качества пищевой продукции в составе дегустационной комиссии. Дегустационная комиссия на базе РКИК создана на основе отбора дегустаторов с учетом их индивидуальной чувствительности и способности устанавливать специфические различия в цвете, вкусе, запахе (аромате) и консистенции проб пищевых продуктов в соответствии с ГОСТ ISO 8586-2015, ГОСТ 33609-2015, ГОСТ ISO 3972-2014, ГОСТ ISO 5496-2014, ГОСТ ISO 13302-2017. Это необходимо для корректного использования терминологии и обеспечения воспроизводимости результатов. Дегустаторы прошли обучение по специальным программам, включающим теоретическое и практическое изучение методов органолептического анализа и факторов, оказывающих влияние на восприятие стимулов при органолептическом анализе. Компетентность дегустаторов подтверждена соответствующими документами (свидетельством или сертификатом). Помещение для проведения органолептической оценки качества разрабатываемых рыбных продуктов соответствует требованиям ГОСТ ISO 8589. Температура воздуха в помещении составила $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, относительная влажность - $(70 \pm 5)\%$. Используется метод согласованности экспертов путем открытой дегустации. Для работы по созданию профиля композиций рыбных продуктов дегустационная комиссия состояла из 14 дегустаторов.

Результаты и их обсуждение. Анализ образцов мышечной ткани различных видов рыбы выявил содержание белка в диапазоне от 15,9% до 19,1%, при этом полуфабрикат-аналог демонстрирует близкий показатель - 20,2%. Уровень жира существенно варьируется в зависимости от вида рыбы: от 2,0% (у минтая) до 19,4% (у скумбрии). В процессе разработки полуфабриката мы ориентировались на среднее значение жира (6,1%) (рис. 2).

Содержание золы в полуфабрикате выше за счет использования фосфоросорбляющей пищевой добавки E450. Эта добавка не только корректирует уровень фосфора до среднего значе-

ния, характерного для рыбы, но и выполняет роль регулятора кислотности, эмульгатора, влагоудерживающего агента, а также ингибитора окисления продукта.

Энергетическая ценность рыбы (146,8 ккал) и продукта-аналога (151,2 ккал) очень близки, с разницей всего около 3%, что свидетельствует о хорошей имитации питательных свойств рыбного продукта.

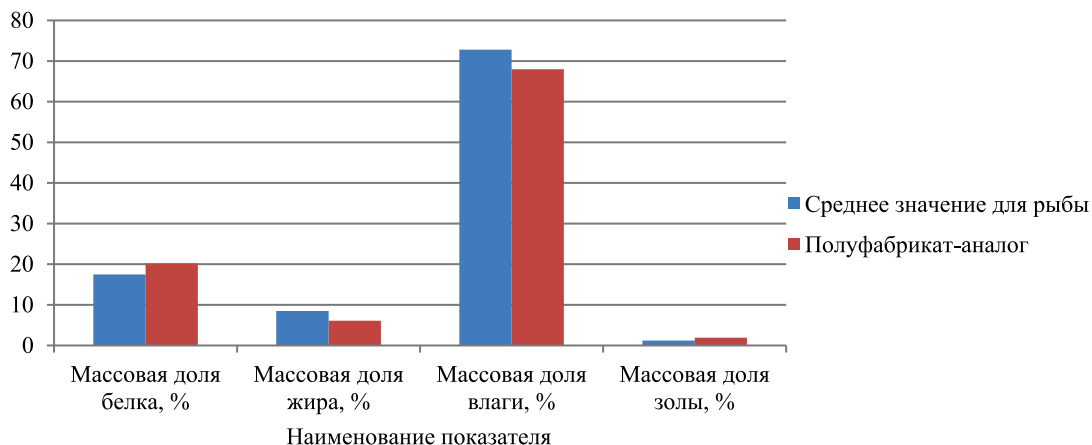


Рис. 2. Сравнение химического состава рыбы и полуфабриката-аналога
Fig. 2. Comparison of the chemical composition of fish and a semi-finished similar product

При сопоставлении минерального состава (табл. 2) полученного полуфабриката и средних показателей для рыбы обнаружено, что за счет использования в рецептуре творога в полуфабрикате содержится в 5,1 раз больше кальция. Использование фосфоросодержащей добавки позволило приблизить у полуфабриката содержание фосфора к средним значениям по рыбе, однако использование этой добавки увеличило содержание натрия в 2,7 раза. Остальные микро- и макроэлементы имеют близкие значения.

Таблица 2. Витаминно-минеральный состав полуфабриката-аналога рыбной продукции в сравнении со средними значениями показателей пресноводной и морской рыбы
Table 2. Vitamin and mineral composition of a semi-finished product analogous to fish products in comparison with the average values of freshwater and sea fish

Наименование продукта	Содержание витаминов в 100 г		Минеральный состав								
	А, мкг	Е, мг	Макроэлементы, мг/100 г					Микроэлементы, мкг/100г			
			Кальций	Магний	Фосфор	Натрий	Калий	Железо	Марганец	Медь	Цинк
Полуфабрикат-аналог	< 50,0	2,3	98,9	34,6	346	282,0	305,4	1730	179	159	1170
Среднее содержание для рыбы	< 50,0	0,30	19,1	32,8	364	103,3	350,4	1547	203	114	926

Для наглядности сравнения аминокислотного профиля полуфабриката-аналога с аминокислотным профилем рыбы данные представлены в виде диаграммы на рисунке 3. Анализ диаграммы позволяет сделать вывод, что аминокислотный профиль полуфабриката приближен к аминокислотному профилю рыбы.

Обобщающий коэффициент утилитарности ($U_{об}$) для полуфабриката-аналога составляет 0,78. У минтая и скумбрии 0,75 и 0,79 соответственно. Наихудший показатель имеет карп — 0,49. Коэффициент сопоставимой избыточности имеет схожую тенденцию: полуфабрикат-аналог и скумбрия — 0,08; минтай — 0,10; карп — 0,30.

Сравнение результатов жирнокислотной сбалансированности (табл. 3) полуфабриката-аналога и средних показателей по рыбе показал, что в полученном полуфабрикате преобладают насыщенные жирные кислоты, преимущественно полученные из сливочного масла, что требует в дальнейшем корректировки в рецептуре.

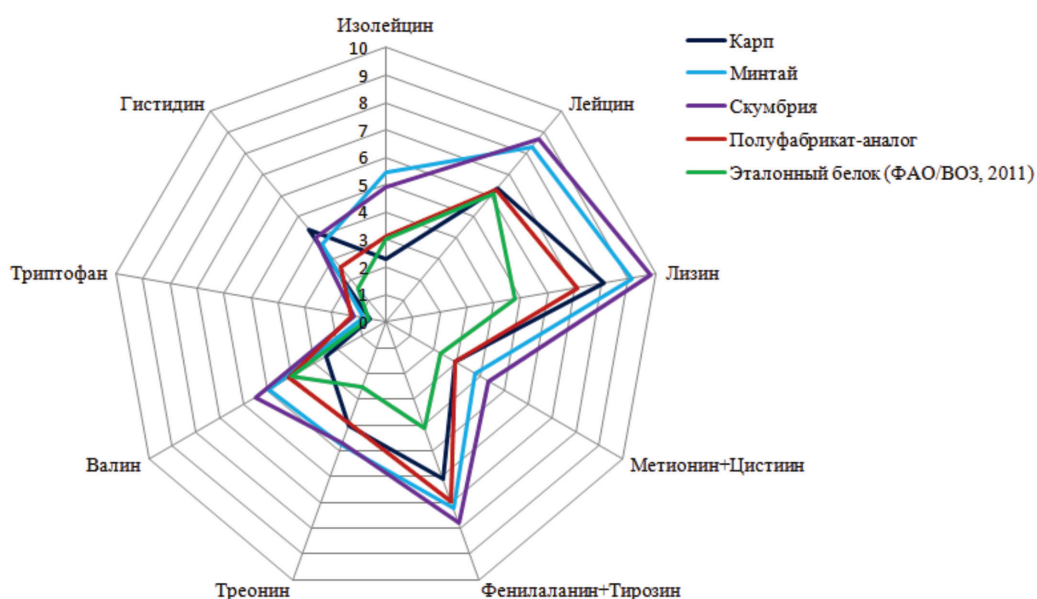


Рис. 3. Сравнение аминокислотного профиля исследуемых продуктов

Fig. 3. Comparison of the amino acid profile of the studied products

Таблица 3. Показатели жирнокислотного соотношения

Table 3. Indicators of fatty acid components

Жирные кислоты	Массовая доля жирных кислот, % от суммы жирных кислот		
	Эталон, рекомендуемый ФАО/ВОЗ для взрослых	Полуфабрикат-аналог	Среднее содержание для рыбы
Насыщенные жирные кислоты (НЖК)	30,0	53,8	29,7
Мононенасыщенные жирные кислоты (МНЖК)	60,0	29,9	36,5
Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК)	10,0	16,3	33,8
ПНЖК: МНЖК: НЖК	1:6:3	1,0:1,83:3,30	1,0:1,08:0,88
(ПНЖК + МНЖК) : НЖК	2,33	0,86	2,36

Несмотря на добавление в рецептурный состав сухого молочного напитка, обогащенного эйкозапентаеновой и докозагексаеновой жирными кислотами, их содержание в полученном полуфабрикате было ниже уровня обнаружения, что потребовало дальнейшего поиска источника этих жирных кислот и корректировки рецептурного состава продукта. Для выполнения этой задачи было принято решение использовать жидкий рыбий жир из рыб океанических пород.

Проведено исследование образца рыбьего жира на предмет окислительной порчи продукта при термической обработке и изменение содержания жирных кислот в нем.

Образец рыбьего жира подвергли термической обработке при температуре 180°C в течение 1 часа. По результатам исследований (табл. 4) перекисное число при термической обработке возрастает на 1,4 мэкв активного кислорода/кг; кислотное число возрастает на 0,03 мг КОН/кг. Количество эйкозапентаеновой жирной кислоты снижается на 0,6%; количество докозагексаеновой жирной кислоты снижается на 0,8%, в пределах погрешности метода. Исходя из полученных данных сделан вывод, что образец рыбьего жира выдерживает термическую обработку и может быть использован в качестве обогащающего сырья.

Для проведения дальнейших исследований полуфабрикат со скорректированной рецептурой был подвергнут кулинарной обработке (запеканию в духовке при температуре 180°C в течение 20–25 минут до готовности). В качестве контрольного образца была использована котлета из минтая.

Для оценки пищевой и биологической ценности продукта аналога, разработанного на основе полученных ранее результатов исследования нутриентного профиля рыбы различных

видов и происхождения, были проведены лабораторные исследования по определению физико-химических показателей, минерального состава и жирнокислотного состава, а также энергетическая ценность. Результаты исследований представлены в таблицах 5-8.

Т а б л и ц а 4. Исследование термической стойкости рыбьего жира
T a b l e 4. Study of thermal stability of fish oil

Наименование показателя:	Рыбий жир без термической обработки	Рыбий жир с термической обработкой
Перекисное число, мэкв активно-го кислорода/кг	1,6	3,0 [↑1,4]
Кислотное число, мг КОН/кг	0,74	0,77 [↑0,03]
Насыщенные ЖК, в т.ч.	17,2	18,2
Миристиновая	2,8	3,0
Пальмитиновая	10,3	10,9
Маргариновая	0,2	0,2
Стеариновая	3,0	3,2
Арахидовая	0,3	0,3
Мононенасыщенные ЖК, в т.ч.	38,8	40,2
Пальмитолеиновая	3,2	3,4
Олеиновая	30,9	32,0
Гондоиновая	3,3	3,4
Полиненасыщенные ЖК, в т.ч.	44,0	41,3
Линолевая	32,4	31,4
Линоленовая	4,8	4,6
Эйкозатриеновая	-	-
Эйкозопентаеновая	3,1	2,5
Докозагексаеновая	3,2	2,4

Т а б л и ц а 5. Химический состав и энергетическая ценность аналога рыбной продукции
T a b l e 5. Chemical composition and energy value of fish product analogue

Наименование показателя	Среднее значение для рыбы	Котлета из минтая	Продукт-аналог
Массовая доля белка, %	17,5	17,8	20,3
Массовая доля жира, %	8,5	2,6	8,9
Массовая доля влаги, %	72,8	55,7	62,4
Массовая доля золы, %	1,2	1,09	1,74
Энергетическая ценность на 100г ккал	146,8	185,8	187,9

По результатам сравнительного анализа массовой доли основных компонентов установлено, что продукт-аналог характеризуется близким значением содержания белка (20,3%), незначительно превышающим показатели как исходной рыбы (17,5%), так и котлеты из минтая (17,8%). Массовая доля жира в продукте-аналоге (8,9%) сопоставима с содержанием жира в рыбе (8,5%) и значительно превышает показатель котлеты из минтая (2,6%), что свидетельствует о сохранении липидного профиля, близкого к натуральному сырью. Влажность продукта-аналога (62,4%) находится на промежуточном уровне между рыбой (72,8%) и котлетой (55,7%), обеспечивая оптимальные физико-химические свойства и текстурные характеристики. Данные показатели подтверждают эффективность примененной рецептуры и технологического процесса в формировании высококачественного продукта с улучшенными питательными свойствами.

Содержание витаминов и минеральных веществ в мышечной ткани исследуемых объектов представлено в таблице 6.

На основе данных таблицы 6, продукт-аналог демонстрирует улучшенный минеральный профиль по сравнению с котлетой из минтая и средними значениями для рыбы. Он значительно превосходит по содержанию кальция (83,7 мг/100 г в сравнении с 56,5 мг/100 г в котлете из минтая), магния (38,7 мг/100 г в сравнении с 34,4 мг/100 г), калия (444,9 мг/100 г в сравнении с 352,8 мг/100 г). Содержание фосфора выше (253мг/100г), чем в котлете из минтая

(166 мг/100г), однако ниже чем в среднем в среднем в рыбе (364 мг/100г). Количество железа в продукте аналоге значительно превышает результат в котлете из минтая и средний результат для рыбы. Однако его усвояемость зависит от его формы: гемовое железо (из продуктов животного происхождения, мясо, рыба, птица) усваивается на 15-35 %; негемовое железо (из растительных источников, яиц, молочных и обогащенных продуктов) усваивается в среднем на 5-10%. Количество марганца у анализируемых образцов имеет близкие значения. Количество меди в продукте аналоге незначительно выше (173 мкг/100г и 120 мкг/100г). Содержание цинка незначительно выше чем в среднем в рыбе и в 1,9 раза выше, чем в котлете из минтая.

Т а б л и ц а 6. Витаминно-минеральный состав продукта-аналога в сравнении со средними значениями показателей пресноводной и морской рыбы и котлеты из минтая
Table 6. Vitamin and mineral composition of the similar product in comparison with the average values of freshwater and sea fish and pollock cutlets

Наименование рыбы	Содержание витаминов в 100 г		Минеральный состав								
	А, мкг	Е, мг	Макроэлементы, мг/100 г					Микроэлементы, мкг/100г			
			Кальций	Магний	Фосфор	Натрий	Калий	Железо	Марганец	Медь	Цинк
Среднее содержание для рыбы	< 50,0	0,30	19,1	32,8	364	103,3	350,4	717	203	114	926
Котлета из минтая	< 50,0	1,75	56,5	34,4	166	324,9	352,8	781	177	120	631
Продукт-аналог	< 50,0	0,19	83,7	38,7	253	448,6	444,9	1620	172	173	1170

Анализ жирнокислотного состава (табл. 7-8) подчеркивает ключевые плюсы продукта-аналога. Он содержит ценные ЭПК (0,1%) и ДГК (1,0%), которых практически нет в котлете из минтая (ЭПК 0,3%, ДГК отсутствует), что делает его эффективным источником омега-3 жирных кислот, полезных для сердечно-сосудистой системы, мозга и иммунитета. Продукт-аналог имеет более здоровый профиль: меньшую долю насыщенных жирных кислот (22,5% в продукте-аналоге и 29,1% в котлете из минтая), повышенное содержание мононенасыщенных (45,9% и 31,9%) и полиненасыщенных (31,3% и 38,7%). По сбалансированности липидов (по рекомендациям ФАО/ВОЗ) продукт-аналог близок к эталонным значениям.

Т а б л и ц а 7. Содержание жирных кислот и показатели сбалансированности липидов продукта-аналога рыбной продукции
Table 7. The content of fatty acids and lipid balance indicators of a fish product analogue

Массовая доля жирных кислот, %	Котлета из минтая	Продукт-аналог
Насыщенные ЖК, в т.ч.	29,1	22,5
Миристиновая	1,9	2,4
Пальмитиновая	17,2	11,6
Маргариновая	0,1	0,2
Стеариновая	5,9	3,9
Арахидовая	-	0,2
Мононенасыщенные ЖК, в т.ч.	31,9	45,9
Пальмитолеиновая	0,6	1,5
Олеиновая	30,7	41,8
Гондоиновая	0,2	1,6
Полиненасыщенные ЖК, в т.ч.	38,7	31,3
Линолевая	37,9	21,6
Линоленовая	0,3	8,2
Эйкозатриеновая	-	-
Эйкозопентаеновая	0,3	0,1
Докозагексаеновая	-	1,0

Т а б л и ц а 8. Показатели жирнокислотного соотношения продукта-аналога
T a b l e 8. Fatty acid composition of the analog product

Жирные кислоты	Массовая доля жирных кислот, % от суммы жирных кислот			
	Эталон, рекомендуемый ФАО/ВОЗ для взрослых	Среднее содержание для рыбы	Котлета из минтая	Продукт-аналог
Насыщенные жирные кислоты (НЖК)	30,0	29,7	29,1	22,5
Мононенасыщенные жирные кислоты (МНЖК)	60,0	36,5	31,9	45,9
Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК)	10,0	33,8	38,7	31,3
ПНЖК: МНЖК: НЖК	1:6:3	1,0:1,08:0,88	1,0:0,82:0,75	1,0:1,47:0,72
(ПНЖК + МНЖК) : НЖК	2,33	2,36	2,43	3,43

По результатам органолептической оценки (рис. 4–6) установлено, что продукт-аналог обладает сбалансированным и гармоничным вкусом и ароматом с минимальными нежелательными запахами. Консистенция плотная и однородная, вкус умеренно насыщенный с легкими пряными и растительными нотами, слабым рыбным оттенком и умеренной сочностью. Общий сенсорный профиль подтверждает высокое качество и эффективность технологического процесса.

В исследуемом продукте-аналоге йодистый запах и запах рыбьего жира проявляются незначительно, что подтверждается соответствующими оценками, равными 2,3 и 2,4 балла. Эти показатели свидетельствуют о минимальном присутствии данных ароматов, что связано с особенностями технологического процесса и составом продукта. Аромат пряностей в данном продукте выражен умеренно, что указывает на сбалансированное сочетание ароматических компонентов без чрезмерной насыщенности. В то же время, аромат тины и водорослей полностью отсутствует (рис. 4).

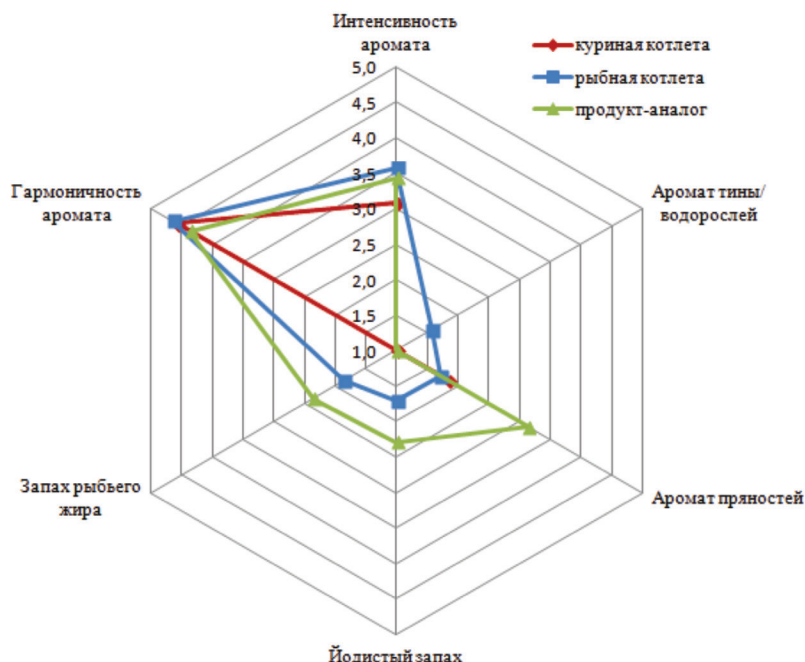


Рис. 4. Сравнительный профиль аромата экспериментальных образцов
Fig. 4. Comparative aroma profile of experimental samples

Плотность продукта-аналога выше среднего, что является результатом измельчения и перемешивания ингредиентов при помощи блендера. Упругость данного продукта характеризуется как умеренная, что указывает на наличие эластичности при механическом воздей-

ствии. Адгезионная способность проявляется в незначительной степени, что говорит о слабой склонности продукта к прилипанию к зубам во время пережевывания. Степень морщинистости находится на умеренном уровне, что отражает наличие деформации при остывании продукта после запекания, но без выраженных складок. Высокий уровень измельчения указывает на однородность и мелкую структуру продукта, а сухая поверхность свидетельствует об отсутствии излишней влаги на поверхности. Такой комплекс характеристик внешнего вида и консистенции определяет сенсорные и физические свойства продукта-аналога, важные для его дальнейшей оценки и использования (рис. 5).

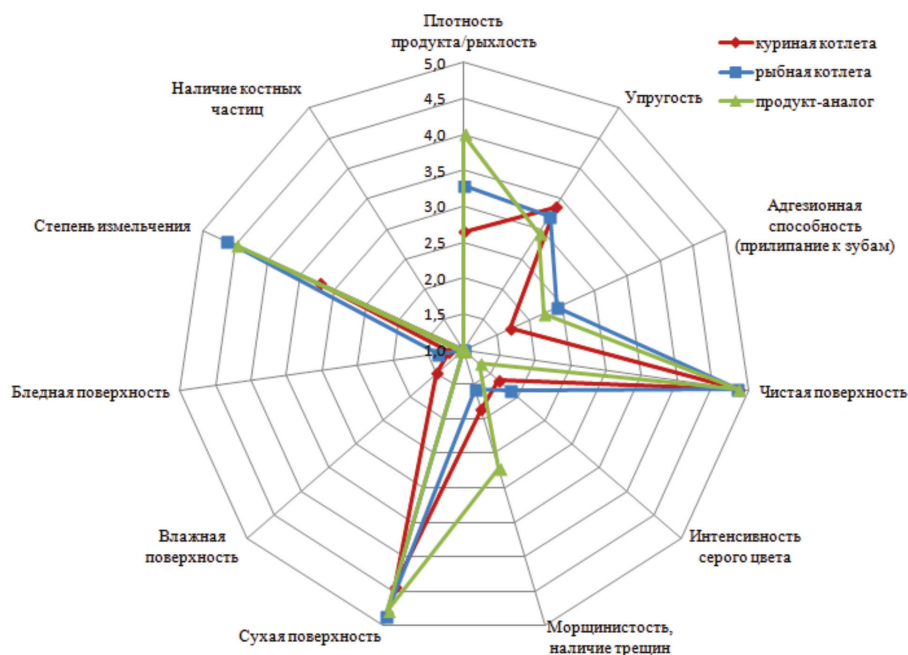


Рис. 5. Сравнительный профиль консистенции и внешнего вида экспериментальных образцов
Fig. 5. Comparative consistency and appearance profile of experimental samples

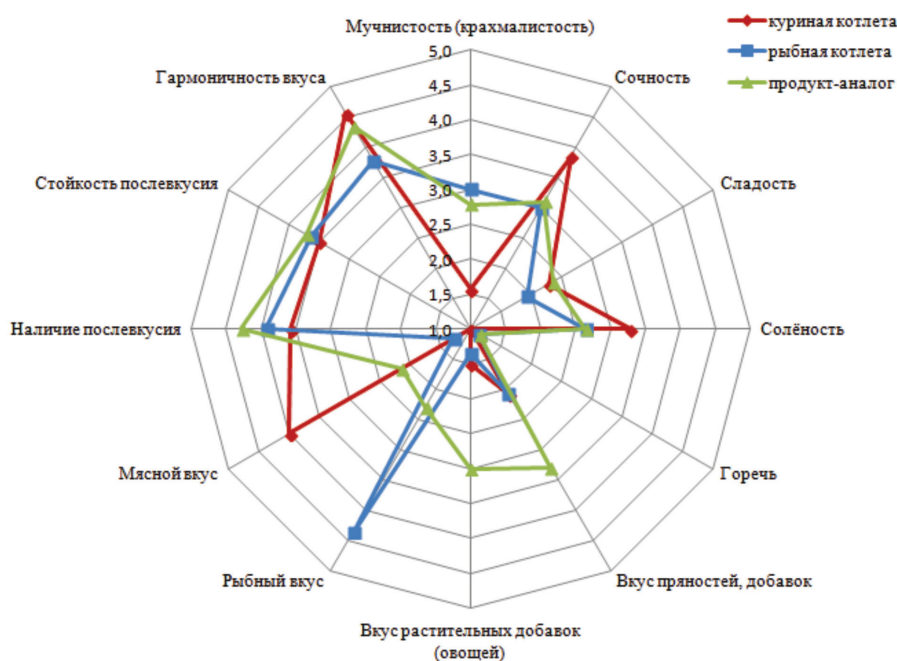


Рис. 6. Сравнительный профиль вкуса экспериментальных образцов
Fig. 6. Comparative taste profile of experimental samples

Вкус растительных добавок и пряностей в исследуемом продукте-аналоге проявляется с умеренной интенсивностью, что свидетельствует о сбалансированном сочетании ароматических компонентов без чрезмерной насыщенности. Горькие ноты во вкусе выражены слабо, что указывает на незначительный уровень окисления жиров в процессе приготовления. Органолептический анализ демонстрирует слабую выраженность рыбного вкуса в исследуемом продукте, что свидетельствует о дозировке рыбьего жира, не оказывающей негативного влияния на сенсорные характеристики и потенциально нейтрализуемой исходными растительными ингредиентами. Уровень сочности считается умеренным, что свидетельствует о наличии достаточного количества влаги, обеспечивающей приятное ощущение во рту, без излишней влажности. Мучнистость характеризуется как средняя, что указывает на наличие легкой текстурной зернистости, не вызывающей дискомфорта. Стойкость послевкусия оценивается как умеренная, что означает, что после проглатывания вкус сохраняется в течение определенного времени, но не обладает чрезмерной продолжительностью. Такой профиль вкусовых характеристик позволяет судить о гармоничном сочетании компонентов и их влиянии на общее восприятие продукта (рис. 6).

Заключение. Таким образом, разработанный продукт-аналог характеризуется высокой пищевой и биологической ценностью, эффективной технологической рецептурой и удовлетворительными органолептическими свойствами, что обосновывает его перспективность как качественной альтернативы традиционной рыбной продукции.

Физико-химический анализ подтвердил улучшенный нутриентный профиль продукта: массовая доля белка (20,3%) превышает показатели исходной рыбы (17,5%) и котлеты из минтая (17,8%), содержание жира (8,9%) сохраняет уровень натурального сырья, значительно превосходя котлету (2,6%), а влажность (62,4%) обеспечивает оптимальные текстурные свойства и стабильность продукта. Продукт-аналог обладает улучшенным минеральным составом с повышенным содержанием кальция, магния, калия, железа и цинка по сравнению с котлетой из минтая и средними значениями для рыбы, что способствует лучшему питательному профилю. Он содержит ценные омега-3 жирные кислоты ЭПК (0,1%) и ДГК (1,0%), присутствующие в котлете из минтая в минимальных количествах, а также имеет более здоровый липидный профиль с меньшим содержанием насыщенных и большим - моно- и полиненасыщенных жирных кислот.

Органолептический анализ с применением панели дескрипторов показал, что продукт-аналог обладает сбалансированным и гармоничным сенсорным профилем: умеренно выраженный аромат пряностей и растительных добавок, слабый йодистый и рыбный запахи, отсутствие нежелательных ароматов тины и водорослей, плотная и однородная консистенция с оптимальной упругостью и низкой адгезией. Вкусовые характеристики характеризуются умеренной сочностью, легкой мучнистостью, сбалансированным сочетанием пряностей и растительных нот, слабой горечью и стойким, но не навязчивым послевкусием*.

Список использованных источников

1. Степиц О. В. Анализ тенденций мирового рынка продовольствия и его новых развивающихся сегментов // *Аграрная экономика*. — 2023 — №5(336). — С.81–93.
2. Беляков С. А., Эйрих В. Е., Степина И. О. Изменение потребительского поведения и тренды маркетинга, перемены после пандемии Covid-19 // *ЦИТИСЭ*. — 2020. — №3. — С.363-373.
3. Жакова К. И., Миронова Н. П. Современные тенденции развития технологий пищевых производств // *Пищевая промышленность: наука и технологии*. — 2022. — №3. — С. 6-12.
4. Рудченко Г.А. Формирование сектора альтернативных продуктов питания: передовой зарубежный опыт и возможности энергоэффективного производства продовольствия // *Аграрная экономика*. — 2024 — №9. — С.79–94.
5. Соловьева Ю.В. Медико-социальные проблемы оптимизации питания детей и подростков в современных условиях // *Российский вестник гигиены*. — 2022 — №4. — С.30–36.
6. Кобилова Г.И., Шингисов А.У. Анализ потенциала использования альтернативных источников белка в пищевой промышленности, таких как растительные и микробные белки, для уменьшения зависимости от животного сырья // *Univsum: технические науки : электрон. научн. журн.* — 2024. — 4(121). URL: <https://univsum.com/ru/tech/archive/item/17280> (дата обращения: 04.11.2025).

* Работа выполнена в рамках задания 5.18 "Научное сопровождение технологических решений, направленных на повышение эффективности использования сельскохозяйственного сырья при производстве продуктов питания ГПНИ "Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность на 2021-2025 годы".

7. Малова И. В., Васюкова А. Т., Любецкая Т. Р., Москаленко А. С., Латышев Е. Ю. Обоснование применения и нормативное регулирование качества рыбных блюд и продуктов, как элемента здорового питания. // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. — 2023 — №2. — С. 72-79.
8. Методические рекомендации по организации питания в учреждениях образования в 2023/2024 учебном году // Методические рекомендации Министерства образования РБ. — Минск. — 2023. — С. 54-55.
9. Методические рекомендации по организации питания в учреждениях образования в 2024/2025 учебном году // Методические рекомендации Министерства образования РБ. -Минск. — 2024. — С. 53-56.
10. Методические рекомендации по организации питания в учреждениях образования в 2025/2026 учебном году // Методические рекомендации Министерства образования РБ. — Минск. — 2025. — С. 53-56.
11. Эрл М., Эрл Р. Примеры разработки пищевой продуктов. Анализ кейсов — Пер. с англ. — СПб.: Профессия, 2010. — 464 с.
12. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 23 августа 2023 г. № 555 «Об изменении постановления Совета Министров Республики Беларусь от 27 апреля 2013 г. № 317» (Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 26.08.2023, 5/52037).

Информация об авторах

Сулковская Анастасия Александровна, младший научный сотрудник Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания, РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: anastasiasulkovskaya@mail.ru

Комарова Наталья Викторовна, кандидат технических наук, заместитель генерального директора по научной работе и стандартизации, РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: aleko-2006@tut.by

Information about the authors

Sulkovskaya Anastasia Alexandrovna, Junior Researcher of the Republican Control and Testing Complex for Food Quality and Safety, RUE «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food», (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: anastasiasulkovskaya@mail.ru

Komarova Natalia Viktorovna, Ph.D (Technical), Deputy Director General for Research and Standardization, RUE «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food», (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: aleko-2006@tut.by

УДК 664.85

Поступила в редакцию 10.11.2025
Received 10.11.2025**Т. Ю. Окунева, Л. М. Павловская, Н. В. Комарова***РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь***МЕРЫ ПО ОПТИМИЗАЦИИ РОСТА И ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ
ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИМЕТИЛФУРФУРОЛА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ
ВЫСОКОСАХАРИТЫХ КОНСЕРВИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ**

Аннотация: В большинстве стран мира оксиметилфурфурол относят в группу потенциально опасных канцерогенных веществ, оказывающих негативное воздействие на здоровье человека. В этой связи возникает необходимость контроля данного показателя в пищевой продукции. В текущий момент в Республике Беларусь отсутствуют контролируемые нормы содержания оксиметилфурфурола в консервированной продукции (за исключением соковой для детского питания и специализированной), в том числе и высокосахаристой. В данной статье рассмотрено и проанализировано возможное влияние технических и технологических факторов производства, а также физико-химических свойств сырья на уровень накопления оксиметилфурфурола в таких высокосахаристых консервах как повидло, джемы, конфитюры и десерты.

Ключевые слова: оксиметилфурфурол, высокосахаристые консервированные продукты, промежуточные продукты.

T. J. Okuneva, L. M. Paulouskaya, N. V. Komarova*Scientific-practical center for foodstuffs of the National academy of sciences of Belarus,
RUE, Minsk, Belarus***MEASURES TO OPTIMIZE GROWTH LEVEL AND PREVENT THE
FORMATION OF OXYMETHYL FURFURAL IN THE PRODUCTION OF HIGH
SUGAR CANNED PRODUCTS**

Abstract: In most countries of the world, hydroxymethylfurfural is classified as a potentially dangerous carcinogenic substance that has a negative impact on human health. In this regard, there is a need to control this indicator in food. Currently in the Republic of Belarus there are no controlled standards for the content of hydroxymethylfurfural in canned products (with the exception of juice for baby food and specialized products), including high-sugar products. This article examines and analyzes the possible influence of technical and technological factors of production, as well as the physicochemical properties of raw materials on the level of accumulation of hydroxymethylfurfural in such high-sugar canned food as marmalade, jams, confitures and desserts.

Keywords: hydroxymethylfurfural, high-sugar canned products, intermediate products.

Введение. Самая устойчивая в природе связь — это связь между жизнью биологических объектов, в первую очередь человека, и питанием. Это сложный процесс взаимодействия живого организма и поступающими в него с едой пищевыми компонентами, необходимыми для выполнения его основных функций. Превращение исходного сырья в пищевой продукт происходит в результате технологической обработки, в ходе которой компоненты пищевой системы претерпевают ряд преобразований. В результате этих изменений появляются химические соединения, которые могут представлять опасность для человека.

Критериями потребительских предпочтений высокосахаристых консервов (повидла, джемов, конфитюров, десертов) является их приближенность к исходному сырью по органолептическим свойствам, а также — высокий уровень сладости и калорийности за счет сахара, как природного, так и внесенного.

Процесс уваривания фруктового сырья для изготовления высокосахаристых консервов всегда связан с накоплением продуктов высокотемпературного распада сахаров. Температурные режимы запускают различные виды химических реакций, которые являются причиной снижения ценных в биологическом отношении компонентов, а также способствуют накоплению веществ не свойственных исходному сырью и отрицательно влияющих на органолептические и физико-химические характеристики готовой продукции.

К группе потенциально опасных канцерогенных веществ относят оксиметилфурфурол (далее – ОМФ) [1], который образуется при высокотемпературной переработке фруктов, при производстве и длительном хранении соковой продукции, а также высокосахаристых консервов.

Тепловая обработка, предусмотренная технологическим процессом изготовления высокосахаристых консервов, последующая их стерилизация (пастеризация) неизбежно вызывает ухудшение качества готовой продукции. Для исключения попадания к потребителю низкокачественных, подвергшихся чрезмерному тепловому воздействию высокосахаристых консервов, необходимо нормирование допустимых отклонений качества готового продукта. Нормативы этих отклонений должны быть ориентированы на наиболее перспективные технологии переработки и, тем самым, способствовать их внедрению в производственную практику организациями-производителями пищевой продукции.

Благодаря внедрению современных аналитических методов контроля, позволивших существенно продвинуться в идентификации и исследовании промежуточных продуктов на разных стадиях процесса производства консервов, появилась возможность определения и контроля уровня ОМФ.

Целью работы являлось установление наиболее значимых производственных факторов, способствующих накоплению ОМФ при производстве высокосахаристой консервированной продукции (повидла, джемов, конфитюров и десертов), разработка рекомендаций корректирующих действий по снижению токсической нагрузки в части накопления ОМФ за счет оптимизации производственных процессов и режимных параметров.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования являлись образцы высокосахаристой консервированной продукции промышленного производства, сырьевые компоненты, а также промежуточные продукты на различных технологических операциях. Физико-химические показатели качества готовой продукции, промежуточных продуктов и сырья определяли в соответствии с методами контроля, регламентированными ГОСТ 26188, ГОСТ ISO 2173, ГОСТ ISO 750, ГОСТ 31644, [6], а также физико-химические методы оценки и анализа продукции, регламентированные техническими нормативными правовыми актами в области технического нормирования и стандартизации (далее – ТНПА).

Результаты исследований и их обсуждение. Такую пищевую среду, как высокосахаристые консервы, ввиду сложного состава, большой нестабильности промежуточных продуктов химических реакций и их зависимости от внешних факторов технологического воздействия, можно рассматривать только в динамике процессов изготовления. Из практики известно, что распад сахарозы под действием температуры в кислой среде может идти одновременно по нескольким направлениям с образованием различных промежуточных нестабильных продуктов. Процесс образования ОМФ в продуктах имеет многофакторную природу [7]. Факторы, влияющие на скорость образования ОМФ, включают температуру и время ее воздействия на продукт, pH, тип сахаров, кислотность среды. Следовательно, прогнозировать, контролировать и оптимизировать уровень образования ОМФ является достаточно сложной задачей, не имеющей однозначного решения. Можно только приблизиться к желаемому определенному уровню накопления (образования) ОМФ.

Оценка национальных документов показала, что в республике содержание ОМФ регламентировано только для специализированной соковой продукции, меда и БАДов. Так, согласно техническому регламенту Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» допустимое содержание ОМФ в специализированных соках не должно превышать значение 20 мг/л, для меда и БАДов установлено значение – 25 мг/кг.

Технический регламент Таможенного союза 023/2011 «Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей» также устанавливает следующее допустимое содержание ОМФ в соковой продукции для детского питания: для соков из citrusовых фруктов допустимое содержание 10 мг/л, в соковой продукции из остальных фруктов и (или) овощей 20 мг/л. В плодоовощной консервированной продукции, в том числе высокосахаристых консервах, количество ОМФ не нормируется.

В странах Европейского союза требования, предъявляемые к уровням ОМФ регламентируются Сводом правил для оценки качества фруктовых и овощных соков, принятых Ассо-

циацией производителей соков и нектаров из фруктов и овощей Европейского союза (AIFN Code of practice, 1996), где установлена предельно допустимая концентрация ОМФ на соковую продукцию вне зависимости от способа ее получения и назначения: соки из цитрусовых — не более 10 мг/л, остальные — не более 20 мг/л.

Как видим, нормирование количества ОМФ в плодоовощной консервированной продукции, кроме соковой, как в отечественном, так и европейском законодательстве, не предусмотрено.

Вместе с тем, в виду того, что механизм образования ОМФ связан с процессом разложения сахаров под воздействием температуры в присутствии органических кислот, можно предположить, что высокосахаристые консервированные продукты могут накапливать значительное количество ОМФ. Отказаться от термической обработки высокосахаристой консервированной продукции невозможно не только из-за технологической необходимости, но и для обеспечения микробиологической безопасности.

В настоящее время перерабатывающими организациями республики освоен и выпускается широкий ассортимент высокосахаристых консервов, в том числе повидло, джемы, конфитюры, десерты. Наибольший объем выпуска высокосахаристых консервов составляет повидло (около 60%).

Возможность комплектации производственных линий перерабатывающих предприятий оборудованием различных производителей ведет к техническому разнообразию используемых машин и агрегатов, что способствует созданию индивидуальных технологических особенностей ведения производственного процесса.

Основной объем производимых в республике высокосахаристых консервов осуществляется на поточно-механизированных с элементами автоматизации специализированных линиях, укомплектованных варочным оборудованием, работающим при низких температурах под вакуумом.

Основным оборудованием, определяющим качество производимой продукции является варочное оборудование, включающее один либо 2-3 варочных аппарата (батарею). На предприятиях республики используется варочное оборудование горизонтального и вертикального исполнения с паровой рубашкой и с движущейся поверхностью нагрева периодического действия. В подавляющем большинстве случаев — это аппараты, работающие под вакуумом для уменьшения температурной нагрузки на продукт в процессе уваривания. Незначительные объемы высокосахаристых консервов (варенья), ввиду небольших объемов сырья, производятся в аппаратах открытого типа — котлах с паровой рубашкой.

Температурные параметры варки продукции варьируют в пределах 60–100°C, в зависимости от уровня вакуума в аппарате или его отсутствия. Время варки зависит от содержания растворимых сухих веществ в сырье, рецептурной закладки компонентов и целевого показателя сухих веществ готового продукта. Среднее время варки повидла 1,5–2 часа, джема, конфитюра, десерта — 30–40 мин.

В целях определения наиболее значимых факторов, способствующих накоплению ОМФ, были проанализированы фактические уровни ОМФ в разрезе технологических операций при выпуске следующих консервов:

- ♦ повидла яблочного нестерилизованного (из пюре полуфабриката, консервированного асептическим способом и свежего сырья);
- ♦ джемов фруктовых пастеризованных в ассортименте (из свежих фруктов и полуфабрикатов фруктов подготовленных замороженных);
- ♦ конфитюров фруктовых пастеризованных (из свежего сырья и полуфабрикатов фруктов подготовленных замороженных);
- ♦ десертов фруктовых пастеризованных (из свежего сырья и полуфабрикатов фруктов подготовленных замороженных, пюре полуфабрикатов фруктовых).

В качестве контроля было использовано пюре фруктовое стерилизованное (из пюре полуфабрикатов фруктовых, консервированных асептическим способом).

При производстве нестерилизованного повидла исследовался уровень накопленного ОМФ в плодово-сахарной смеси, отобранной на операции смешивания; в промежуточном продукте в конце операции варки; в продукте после охлаждения.

На основе фактических данных построены графики (рисунок 1-2) зависимости накопления ОМФ на определяющих технологических операциях, который интерпретирует влияние технологических особенностей производства с учетом технической возможности используемого оборудования.

Графики, изображенные на рисунках 1-2, наглядно демонстрируют преимущество используемой технологии варки повидла яблочного нестерилизованного на специализированной

линии с применением вакуум-аппаратов горизонтального типа с движущейся поверхностью нагрева (1). Уровень накопления ОМФ на операции варки составил 7,4 мг/кг в то время, когда при варке без применения вакуума в аппаратах открытого типа (4) накопление ОМФ составляет 90,5 мг/кг.

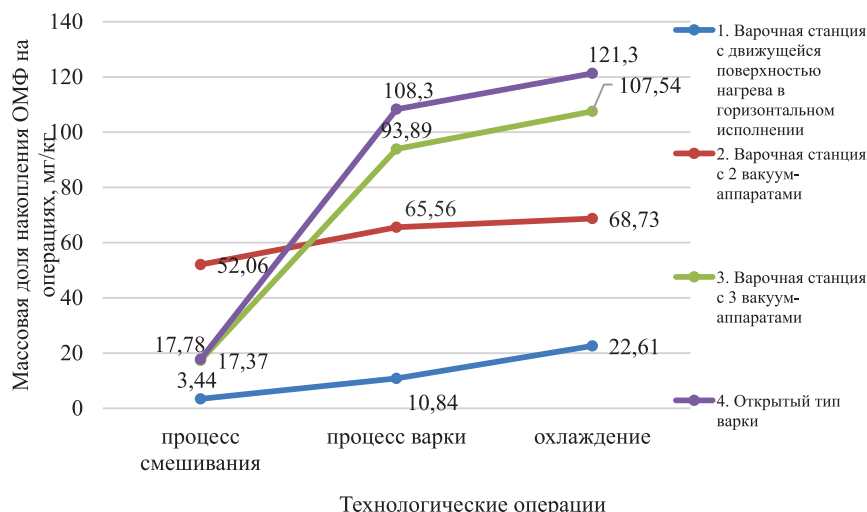


Рис. 1. Массовая доля накопления ОМФ в продукте в разрезе технологических операций при производстве повидла яблочного нестерилизованного из пюре полуфабриката с применением различных технологий изготовления

Fig. 1. Mass fraction of OMF in the product in terms of technological operations during the production of unsterilized apple jam from semi-finished puree using various manufacturing technologies

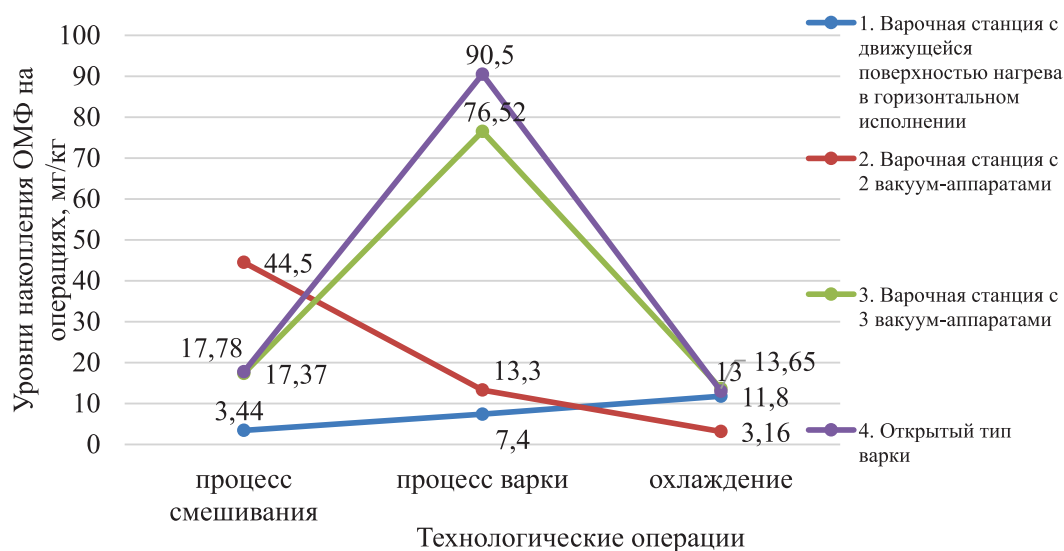


Рис. 2. Уровни накопления продуктом ОМФ на технологических операциях при производстве повидла яблочного нестерилизованного из пюре полуфабриката с применением различных технологий изготовления

Fig. 2. Levels of accumulation of OMF by the product during technological operations in the production of unsterilized apple jam from semi-finished mashed potatoes using various manufacturing technologies

Этому способствует использование в линии варочных вакуум-аппаратов горизонтального исполнения с движущейся поверхностью нагрева. Интенсивное перемешивание увариваемой массы рабочим обогреваемым шнеком в горизонтальном исполнении позволяет интенсифицировать процесс теплопередачи и обеспечить минимальную тепловую нагрузку на продукт.

Варочные станции с двумя (2) и тремя (3) аппаратами в батарее представляют технологические линии одного изготовителя оборудования и выполнены по одному принципу.

Отличием является используемый технологический прием предварительного уваривания фруктовой массы без сахара до содержания растворимых сухих веществ 20-22 % на двухкорпусной батарее, а затем загрузка в аппарат рецептурного количества сахара и дальнейшее уваривание продукта до необходимого содержания растворимых сухих веществ. На варочную станцию с трехкорпусной батареей сахар подается в начале процесса варки. Прием предварительного уваривания фруктовой массы позволил значительно снизить уровень накопленного на операции варки ОМФ 13,3 мг/кг против 76,52 мг/кг в трехкорпусной батарее.

Несмотря на то, что уровень накопления ОМФ на операции смешивания, который включает предварительный нагрев продукта и концентрирование фруктовой массы до 20-22 % РСВ прирост ОМФ самый большой при использовании приема предварительного уваривания 44,5 мг/кг (рис. 2), общий уровень накопления ОМФ продуктом значительно ниже 68,73 мг/кг в сравнении с технологией варки продукта при одновременной загрузке фруктовой массы и сахара 107,54 мг/кг (рис. 1).

Охлаждение продукта только в одном случае (2) осуществлялось в специальном помещении с принудительной вентиляцией, что отразилось на уровне накопления ОМФ продуктом на этой стадии процесса 3,16 мг/кг против 11,8-13,65 мг/кг.

Для установления тенденции накопления ОМФ при производстве повидла яблочного нестерилизованного в зависимости от вида используемого сырья был поставлен эксперимент с использованием в качестве основного сырья пюре полуфабриката, консервированного асептическим способом и яблок свежих. Результаты эксперимента представлены в графическом виде на рисунке 3. Графики наглядно демонстрируют, что независимо от технологии приготовления повидла и комплектации технологических линий, минимальное количество ОМФ образуется в продуктах с использованием свежих яблок (от 9 мг/кг до 37 мг/кг). При использовании в производстве повидла полуфабриката асептического консервирования уровень ОМФ возрастает в 7-10 раз.

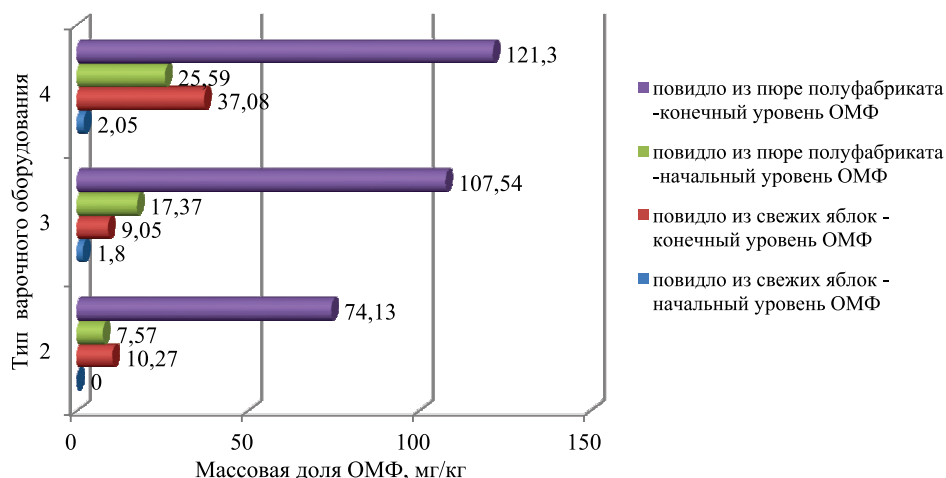


Рис. 3. Динамика роста уровня накопления массовой доли ОМФ на начальном и конечном этапах технологического процесса изготовления повидла яблочного с использованием свежего сырья и пюре полуфабриката, консервированного асептическим способом, в разрезе используемого варочного оборудования

Fig. 3. Dynamics of the growth of the mass fraction of OM at the beginning and end of the technological process of making apple jam using fresh raw materials and semi-finished mashed potatoes preserved by the aseptic method, in terms of the used cooking equipment

На всех технологических операциях по производству конфитюров, джемов и десертов фруктовых прирост уровня образовавшегося ОМФ оказался незначительным независимо от вида продукта (рис. 4-6).

Этому способствует использование в линии варочных аппаратов горизонтального исполнения с движущейся поверхностью нагрева. Интенсивное перемешивание увариваемой массы рабочим обогреваемым шнеком в горизонтальном исполнении позволяет интенсифицировать процесс теплопередачи и обеспечить минимальную тепловую нагрузку на продукт. Использование индивидуального вакуумного насоса на каждом аппарате позволяет обеспечить постоянный уровень вакуума в процессе варки и низкую температуру кипения продукта.

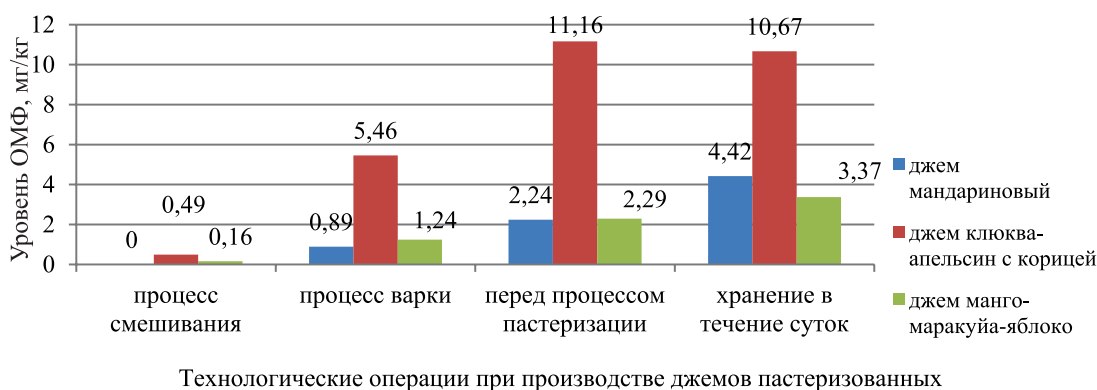


Рис. 4. Массовая доля образующегося ОМФ в продукте на технологических операциях при производстве джемов пастеризованных

Fig. 4. Mass fraction of the resulting OMF in the product during technological operations in the production of pasteurized jams

Эта тенденция сохраняется и при варке конфитюров и десертов, что подтверждается данными диаграмм (рисунки 5-6).

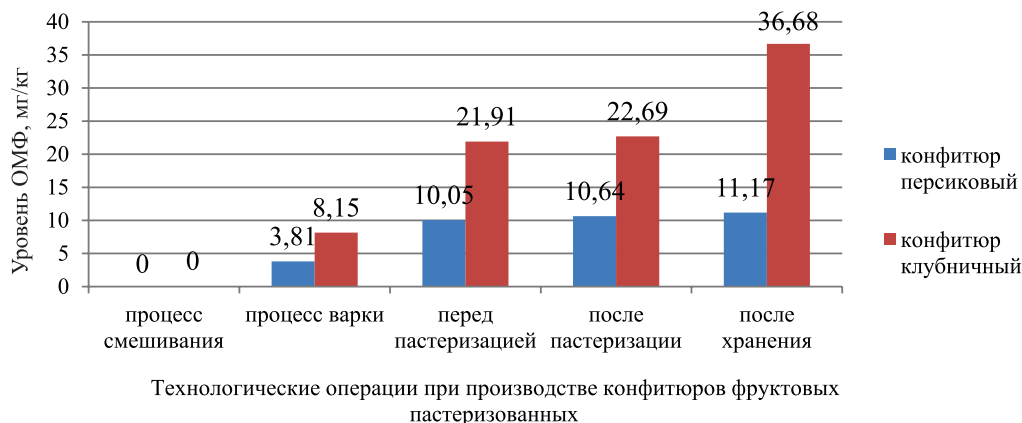


Рис. 5. Массовая доля ОМФ в продукте на технологических операциях при производстве конфитюров пастеризованных

Fig. 5. Mass fraction of OM in the product during technological operations in the production of pasteurized jams

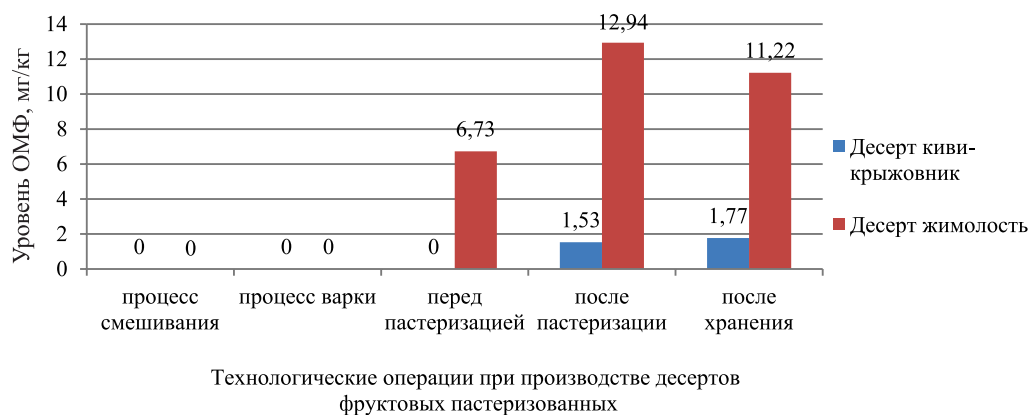


Рис. 6. Массовая доля ОМФ в продукте на технологических операциях при производстве конфитюров пастеризованных

Fig. 6. Mass fraction of OM in the product during technological operations in the production of pasteurized jams

Технологией производства десертов фруктовых предусмотрено использование загустителей, таких как пектин, ксантановая камедь и пищевое цитрусовое волокно. Эти вещества преобразуют продукт, выполняя функции желеобразователей и стабилизаторов коллоидных систем. Применение загустителей позволяет выпускать высокосахаристую продукцию по ускоренному методу, применяя щадящие режимы температурного воздействия. И за счет значительного сокращения процесса уваривания и снижения температурной нагрузки на продукт удалось предотвратить уровень роста ОМФ. Это четко видно на рисунке 6. Сокращение времени варки десерта позволило предотвратить запуск механизма образования ОМФ.

Наиболее критической точкой образования ОМФ для десертов стал процесс пастеризации продукта. Уровень ОМФ в десерте «Жимолость» после термического воздействия достиг значения 12,94 мг/кг, что 1,9 раза превысило предыдущий показатель. Рост ОМФ в десерте «Киви-крыжовник» составил 1,53 мг/кг.

При выпуске экспериментальной партии пюре яблочно-грушевого стерилизованного использовали: яблочное пюре-полуфабрикат асептического консервирования холодной экстракции и пюре грушевое (концентрированное). Продукция изготавливалась без внесения дополнительного сахара. Результаты накопления ОМФ отражены на рисунке 7.

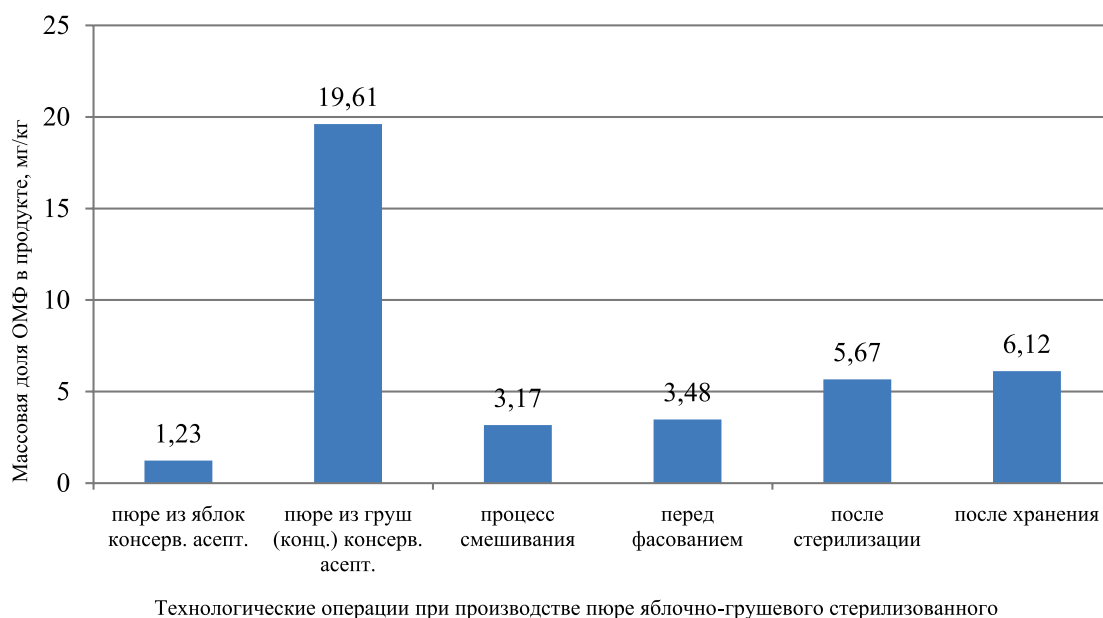


Рис. 7. Динамика накопления массовой доли ОМФ в продукте на технологических операциях при производстве пюре яблочно-грушевого

Fig. 7. Dynamics of accumulation of mass fraction of OMF in the product on technological operations in the production of apple-pear puree

Результаты исследований показали:

- ♦ содержание ОМФ в пюре яблочном, произведенном методом «холодного» протираания, ниже в 6 – 14 раз в сравнении с полуфабрикатами, изготавливаемых «горячим» способом протираания, используемых на линиях асептического консервирования, установленных на предприятиях республики.

Массовая доля ОМФ в пюре-полуфабрикатах, полученных на линиях «холодной» экстракции, сравнима со значением ОМФ в свежем сырье;

- ♦ процессы нагрева и пастеризации продукции не оказали существенного влияния на накопление ОМФ, что подтверждает положение о большом значении для процесса накопления ОМФ не только высоких значений нативных сахаров в продукте, но и добавленного сахара.

Заключение.

- ♦ по результатам анализа применяемых в республике технологий изготовления сахаросодержащих консервов, проведенных исследований в условиях реально действующих промыш-

ленных предприятий, сравнения литературных данных и результатов исследований промышленных образцов продукции разработаны Рекомендации по способам снижения или ограничения роста уровня ОМФ при промышленном изготовлении высокосахаристых консервов;

- ♦ экспериментально доказано преимущество использования выпуска высокосахаристой консервированной продукции на специализированных поточно-механизированных линиях с элементами автоматизации, оснащенных аппаратами варки продукта под вакуумом. Это позволяет осуществлять уваривание фруктовой массы с сахаром при температурах значительно ниже 100°C, порядка 60–70°C в зависимости от уровня вакуума;

- ♦ установлено преимущество технологического приема предварительного уваривания фруктовой массы до РСВ 22–25% и затем добавление к уваренной массе рецептурного количества сахара. Этот прием можно рекомендовать для снижения уровня накопления ОМФ при варке повидла;

- ♦ определены основные принципы выбора сырья для выпуска высокосахаристых консервов. Уровень накопления ОМФ в значительной степени зависит от его начального уровня в сырьевых компонентах. В свежих и замороженных фруктах ОМФ отсутствует, в пюре-полуфабрикатах уровень ОМФ зависит от технологии его изготовления. По возможности стоит отдавать предпочтение использованию свежего или свежемороженого фруктового сырья, а пюре-полуфабрикатов – изготовленных путем «холодной экстракции».

Моделирование рецептурного состава за счет комбинирования сырьевых компонентов через подбор фруктов с высоким содержанием природных сахаров обеспечит естественную сладость готового продукта без внесения дополнительных сахаров, что является сдерживающим фактором в образовании ОМФ при технологических операциях;

- ♦ применение загустителей (пектины, камеди, растворимые пищевые волокна) позволяет выпускать консервированную продукцию по ускоренному методу, применяя щадящие режимы температурного воздействия на этапе варки (уваривания). Значительное сокращение времени уваривания и снижения температурной нагрузки на продукт способствует снижению скорости роста концентрации ОМФ.

- ♦ установлено, что при стерилизации высокосахаристых консервов обязательным условием является соблюдение температуры расфасовки продукта вследствие низкого коэффициента теплопередачи, а также обеспечение быстрого и эффективного охлаждения. Эти приемы позволяют оптимизировать процессы накопления ОМФ на этапе стерилизации;

- ♦ доказано, что охлаждения является критической точкой, влияющей на уровень накопления ОМФ в высокосахаристых не стерилизуемых продуктах, в частности, повидла для промышленного использования. Использование приема охлаждения продукта в специализированных темных прохладных складских помещениях с оптимальным температурным диапазоном 5–15 °C с принудительной вентиляцией, позволяет уменьшить уровень накопления ОМФ в 3–4 раза по сравнению с охлаждением в условиях производственного цеха.

Список использованных источников

1. Нечаев А. П., Траубенберг С. Е., Кочеткова А. А. Пищевая химия. С-Пб.: Гиорд, 2001. – 592 с.
2. ГОСТ 26188-2016 Продукты переработки фруктов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Метод определения pH: – Минск: БелГИСС, 2016. – 14 с.
3. ГОСТ ISO 2173-2013 Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ: – Минск: БелГИСС, 2016. – 12 с.
4. ГОСТ ISO 750-2013 Продукты переработки фруктов и овощей. Определение титруемой кислотности: – Минск: БелГИСС, 2016. – 8 с.
5. ГОСТ 31644-2012 Продукция соковая. Определение 5-гидроксиметилфурфурола методом высокоэффективной жидкостной хроматографии: – Минск: БелГИСС, 2020. – 20 с.
6. МВИ МН 4475-2012 Определение содержания сахаров (глюкоза, фруктоза, сахароза, лактоза, мальтоза и мальтодекстрины) в специализированных продуктах питания, биологически активных и пищевых добавках: – Минск: БелГИСС. – 22 с.
7. Ленинжер А. Биохимия. М.: Мир. – 1976. – 957 с.
8. ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции. – Минск: БелГИСС, 2013. – 172 с.

9. ТР ТС 023/2011 Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей. – Минск: БелГИСС, 2013. – 32 с.
10. A.I.J.N. (Association of the Industry of Juices and Nectars from FRUITS AND Vegetables of the European Economic Community). Code of practice for evaluation of fruit and vegetable juices. 1996/ Publ. by AIJN, Brussels

Информация об авторах

Окунева Татьяна Юрьевна, главный специалист отдела технологий консервирования пищевых продуктов РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: 203sok@tut.by

Павловская Людмила Михайловна, начальник отдела технологий консервирования пищевых продуктов РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: conserve-npc@tut.by

Комарова Наталья Викторовна, кандидат технических наук, доцент, заместитель генерального директора по научной работе и стандартизации РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: aleko-2006@tut.by

The information about authors

Okuneva Tatyana Yuryevna, the chief specialist of department of technologies of conservation of foodstuff Scientific-practical center for foodstuffs of the National academy of sciences of Belarus, RUE; (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: 203sok@tut.by

Paulouskaya Liudmila Mikhailovna, head of the department of food preservation technologies of the Republican Unitary Enterprise “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: conserve-npc@tut.by

Komarova Natalia Viktorovna, Ph.D (Technical), Deputy Director General for Research and Standardization, RUE «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food», (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: aleko-2006@tut.by

УДК 664.019

Поступила в редакцию 28.11.2025
Received 28.11.2025

**И. М. Почицкая, К. С. Рябова, А. А. Журня, М. С. Алексеенко,
Т. В. Окулова, В. Л. Рослик**

*РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию»,
г. Минск, Республика Беларусь*

ПРОБЛЕМА НАКОПЛЕНИЯ БЕНЗ(А)ПИРЕНА В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ

Аннотация. В статье представлен обзор содержания токсичного соединения бенз(а)пирен в пищевых продуктах, который образуется в процессе термической обработки продуктов, его влияние на организм человека и методы контроля.

Ключевые слова: пищевые продукты, термическая обработка, показатели безопасности, бенз(а)пирен.

**I. M. Pochitskaia, K. S. Riabova, A. A. Zhurnia, M. S. Alekseenko,
T. V. Okulova, V. L. Roslik**

*RUE «The scientific and practical centre for foodstuffs of the National Academy of Sciences
of Belarus», Minsk, Belarus.*

THE PROBLEM OF BENZ(A)PYRENE ACCUMULATION IN FOOD PRODUCTS

Abstract. The article presents an overview of the content of the toxic compound benz(a)pyrene in food products, which is formed during the thermal processing of products, its effect on the human body and control methods.

Keywords: food products, thermal processing, safety indicators, benz(a)pyrene.

Введение. Важной проблемой безопасности пищевых продуктов является обнаружение, определение содержания и нормирование допустимых уровней канцерогенных веществ. Показателем наличия и воздействия канцерогенных полициклических ароматических углеводородов в пищевых продуктах можно использовать содержание в них бенз(а)пирена, относящегося к числу наиболее распространенных канцерогенных веществ в окружающей человека среде [1, 2]. Целью данной работы является обобщение и анализ современных научных данных о токсикологических свойствах бенз(а)пирена, его содержания в пищевых продуктах и механизмах негативного воздействия на организм человека для оценки рисков и обоснования строгого контроля.

Результаты исследований и их обсуждение. Бенз(а)пирен (БаП), как и все полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) — главным образом результат технического прогресса, следствие деятельности человека. Бенз(а)пирен — один из самых мощных и при этом широко распространенный канцероген, отнесен к веществам первого класса опасности, т.е. вещества с чрезвычайно высоким опасным воздействием на окружающую среду, при этом изменения, вызываемые ими, необратимы и восстановлению не подлежат. Будучи химически и термически устойчивым, обладая свойствами биоаккумуляции, попав и накапливаясь в организме, БаП действует постоянно [3]. Он попадает в организм человека не только из внешней среды, но и с такими пищевыми продуктами, в которых существование углеводородов до настоящего времени не предполагалось. Это хлеб, зерно, овощи, фрукты, растительные масла, копчености и мясные продукты, поджаренные на древесном угле. В подгоревшей корке хлеба содержание БаП повышается до 0,5 мкг/кг, в подгоревшем бисквите — до

0,75 мкг/кг. При сушке зерна топочными газами, образуемыми при сгорании мазута, содержание БаП увеличивается в 2-3 раза, при использовании природного газа – в 1,2 раза по сравнению с его первоначальным содержанием [4].

Исследования по диетической оценке воздействия БаП в пищевой продукции и оценки степени риска показали его большое количество в жареном мясе (до 4 мкг/кг), так же в жареной курице (до 5,5 мкг/кг) [5,6]. Аналогичные исследования по другим пищевым продуктам легли в основу Регламента Комиссии ЕС № 1881/2006 по содержанию БаП. Определено, что в копченых продуктах должно содержаться до 5 мкг/кг БаП, в растительных маслах и жирах менее 2 мкг/кг, в зерновых, в том числе в детском питании, до 1 мкг/кг⁷. ВОЗ рекомендует поступление БаП с пищей на уровне не более 0,36 мкг в день, при среднем уровне в 0,05 мкг в день [7]. Рассматривая процессы копчения, специалисты отмечают, что в копченых продуктах содержание БаП составляет до 500 мкг/кг.

После поступления в организм большая часть БаП накапливается в желудочно-кишечном тракте, придаточной клетчатке, легких, печени, головном мозге и почках [8]. БаП обладает высокой липофильностью и легко всасывается в клетки через плазматическую мембрану. БаП может метаболизироваться в десятки метаболитов посредством ферментов, метаболизирующих ароматические углеводороды [9,10], таких как 1,2-дигидрокси-1,2-дигидробензпирен, бензпирендикетон и бензопирена 7,8-диол-9,10-эпоксида (БПДЕ). Превращение в гидроксильные соединения или кетоны представляет собой реакцию детоксикации, а превращение в эпоксид – реакцию активации. Около 10% БаП превращается в организме в БПДЕ, который обладает сильной окислительной способностью, которая может вызывать окислительное повреждение ДНК, влиять на репликацию ДНК и вызывать апоптоз и мутацию генов [11].

БаП хорошо известен своей канцерогенной активностью еще в начале 1930-х годов, а многочисленные исследования, начиная с 1970-х годов, документально подтвердили связь между потреблением БаП и раком [12, 13]. Международное агентство по исследованию рака классифицировало его как канцероген I класса. Воздействие БаП приводит к обширному и избирательному образованию БПДЕ, который обладает высокой активностью взаимодействия с ДНК и образует аддукт ДНК, основной мутаген в табачном дыме [14]. Собственно говоря, БаП является проканцерогеном. Его канцерогенные эффекты зависят от активности ферментов детоксикации цитохрома P450 1A1 (CYP1A1) и CYP1B1, которые ферментативно превращают БаП в БПДЕ. Кроме того, БаП индуцирует экспрессию гена CYP1A1, активируя сигнальный путь ядерной транслокации AhR [15,16]. Более того, большинство аддуктов БПДЕ-ДНК можно удалить из ДНК с помощью механизма эксцизионной репарации нуклеотидов внутри клетки. Следовательно, постоянный или высокий прием БаП неизбежно вызовет ошибки во время репликации ДНК, приводящие к канцерогенным мутациям. Кроме того, появляется все больше доказательств того, что БаП оказывает сильное токсическое воздействие на нервную систему, иммунную систему и репродуктивную систему [16,17].

Помимо канцерогенных эффектов БаП также участвует в развитии и прогрессировании сердечно-сосудистых заболеваний. Влияние БаП играет жизненно важную роль в этиологии атеросклероза. Эндотелий представляет собой внутренний клеточный слой кровеносных сосудов и поддерживается гладкомышечными клетками и перицитами, которые формируют структуру сосудов [18]. Из-за прямого контакта с кровью эндотелий кровеносных сосудов неизбежно подвергается воздействию генотоксических веществ, которые системно поглощаются организмом, включая БаП [19]. Одним из ключевых этапов развития атеросклероза является дисфункция эндотелия сосудов, за которой следует гибель клеток и местная воспалительная реакция [20]. Кроме того, имеются убедительные доказательства того, что окислительный стресс является одним из наиболее мощных индукторов воспаления сосудов при атерогенезе. ядерный фактор-κВ (NF-κB) может напрямую реагировать на окислительный стресс, вызванный BaP, а активация NF-κB является ключевым окислительно-восстановительным событием, связанным с сосудистой дисфункцией [21].

Бенз(а)пирен может оказывать влияние на систолическое артериальное давление. Исследования показали, что систолическое артериальное давление значительно повышается, а реакция аорты на фенилэфрин усиливается у крыс, подвергшихся воздействию БаП. Обработка БаП крыс линии Спрэг-Дули не оказывала влияние на частоту сердечных сокращений, однако отмечалось потеря веса и заметно повышалось кровяное давление у экспериментальных животных [9]

Жюль и др. [22] установили, что воздействие БаП приводит к функциональным нарушениям сердечно-сосудистой системы у молодых особей, что может привести к сердечно-сосудистой дисфункции в более позднем возрасте. Воздействие БаП изменило циркадный характер артериального давления с уменьшением нормального режима падения во время сна. Это было связано с повышенным рекрутированием нейтрофилов в легких крыс, подвергшихся воздействию БаП. Внутривенная инъекция БаП повышала экспрессию CYP1A, CYP1B1, CYP1C1, CYP1C2 и COX1 в брыжеечных артериях рыбок даanio, что позволяет предположить, что БаП связан с изменением сердечно-сосудистой функцией [23].

Показано, что бенз(а)пирен, благодаря своей липофильной природе легко преодолевает гематоэнцефалический барьер и затем накапливается и метаболизируется в головном мозге [24]. Проведенные исследования установили нейротоксические эффекты бенз(а)пирена *in vivo*. Из-за высокого содержания липидов, быстрого метаболизма и снижения уровня антиоксидантных ферментов в нервной системе было высказано предположение, что нервная система может быть очень восприимчива к повреждению БаП, хотя точный механизм, который приводит к повреждению нейронов центральной нервной системы (ЦНС) еще предстоит выяснить. Авторами установлено, что с поведенческого аспекта БаП влияет на нервно-мышечные, вегетативные, сенсомоторные и физиологические функции, а также влияет на развитие и пластичность ЦНС [24–26]. Помимо прямого повреждения, нейроны также подвержены воспалительным повреждениям, возникающим в результате активации глиальных клеток в головном мозге. Однако опубликовано мало информации, связывающей БаП с модуляцией активации глиальных клеток. В исследовании Weng et al., проведенном в 2004 году, сообщалось о повышении уровня циклооксигеназы-2 в астроцитах после лечения метаболитом БаП, опосредованном ядерным фактором каппа В (NFκB) [27], что предполагает модуляцию воспалительного ответа внутри клетки.

Определение содержания БаП в Республике Беларусь регламентируется СТБ ГОСТ Р 51650-2001 Продукты пищевые. Методы определения массовой доли бенз(а)пирена [28]. Настоящий стандарт распространяется на продовольственное сырье, пищевые продукты, пищевые и вкусовые добавки и устанавливает методы определения массовой доли БаП с применением спектрофлуориметрии при низкой и комнатной температуре и высокоэффективной жидкостной хроматографии. Данный стандарт входит в перечень стандартов, содержащих правила и методы исследований и измерений, необходимые для применения и исполнения требований технического регламента Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» ТР ТС 021/2011 [29]. Предельно допустимое содержание (ПДС) бенз(а)пирена на территории Таможенного союза в соответствии с данным регламентом установлено на уровне не более 0,001 мг/кг для большинства продуктов, 0,002 мг/кг в растительном масле и молоке и молочной продукции, 0,005 мг/кг для копченой рыбной продукции, не допускается (менее 0,0002 мг/кг) в кашах для беременных и кормящих и детском питании.

Таким образом, бенз(а)пирен (БаП) является ярким представителем полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), обусловленных, прежде всего, антропогенными источниками и техническим прогрессом. Его уникальная химическая и термическая устойчивость, а также выраженная липофильность способствуют биоаккумуляции в организме, что приводит к постоянному канцерогенному воздействию даже при низком уровне внешнего воздействия. Подвергшись метаболической активации посредством цитохромов P450 (CYP1A1, CYP1B1), БаП превращается в высокореактивный метаболит – бензпирен-7,8-диол-9,10-эпоксид (БПДЕ). Этот активный интермедиат вступает в реакцию с нуклеиновыми кислотами, формируя ДНК-аддукты, которые представляют собой критический начальный этап канцерогенеза и могут вызывать ошибочную репликацию генетического материала, способствуя мутагенезу и развитию опухолевых процессов.

Пищевые продукты представляют собой один из основных источников попадания БаП в организм человека. Содержание этого канцерогена существенно увеличивается при использовании высокотемпературных процессов обработки продуктов – от копчения до поджаривания хлеба и жарки мяса. Диетическая оценка риска, осуществленная на базе проведенных исследований, подтверждает зависимость от уровня потребления: даже минимальное превышение нормативов (установленных на уровне микрограмм на килограмм) формирует риск возникновения генетических повреждений, приводящих к канцерогенезу. В случае копченых про-

дуктов и жареного мяса концентрация БаП может достигать критических значений, что подчеркивает необходимость строгого контроля за технологическими процессами приготовления продуктов.

Помимо прямой канцерогенности, БаП оказывает мультисистемное токсическое воздействие, затрагивая сердечно-сосудистую систему через дисфункцию эндотелия, инициируя окислительный стресс, активируя сигнальные пути (например, NF-κB) и изменяя циркадный ритм артериального давления. Нейротоксичность этого соединения, обусловленная его способностью преодолевать гематоэнцефалический барьер, приводит к функциональным нарушениям ЦНС, что проявляется в изменениях нейрональной активности, воспалительных процессах в глиальных клетках и потенциале для развития когнитивных нарушений.

Современные исследования подчеркивают, что воздействие бенз(а)пирена является комплексным и многоплановым: оно влияет не только на генетическую стабильность клеток, но также инициирует системные нарушения, затрагивающие функции сердечно-сосудистой, нервной и иммунной систем. Для снижения риска заболевания необходимо не только совершенствование технологических процессов пищевого производства, минимизирующих образование БаП, но и углубленные исследования его биотоксикологических механизмов, что позволит разработать эффективные меры по защите здоровья населения и охране окружающей среды.

Таким образом, бенз(а)пирен представляет собой серьезную угрозу безопасности пищевых продуктов, являясь мощным канцерогеном первого класса опасности. Его устойчивость, способность к биоаккумуляции и многообразие путей поступления в организм (с копчеными, жареными и даже подвергнутыми неправильной обработке продуктами) делают его повсеместным и опасным загрязнителем.

Проблема содержания в пищевых продуктах бенз(а)пирена требует комплексного подхода, включающего как постоянный мониторинг и соблюдение нормативов, так и совершенствование технологий пищевого производства для минимизации его образования. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на углубленном изучении механизмов системной токсичности БаП и разработке эффективных способов снижения его содержания в пищевой цепи для обеспечения здоровья настоящих и будущих поколений.

Список использованных источников

1. Альпакова, Г. Д. Показатели безопасности пищевых продуктов по содержанию бенз(а)пирена – проблемы и перспективы / Г. Д. Альпакова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Пищевые добавки и биотехнологии. – 2017. – Т.5, №2. – С. 5-10.
2. Шевченко, Е. А. Гигиеническая оценка содержания бенз(а)пирена в пищевых продуктах / Е. А. Шевченко, К. О. Алабина // Актуальные исследования». – 2022. – № 50 (129).
3. Беркетова, Л. В. Канцерогенные соединения, образующиеся в пищевых продуктах под действием тепловой обработки / Л. В. Беркетова, А. Д. Захарова // Бюллетень науки и практики. – 2017. – №2(15). – С. 115-120
4. Джангирова, Г. З. Определение бенз(а)пирена методом ВЭЖХ в местном сорте пшеницы / Г. З. Джангирова, Б. Толибов, Ш. Кузибоев, Д. Макхамов. // Журнал аналитической химии и контроля качества пищевых продуктов. – 2010. – № 4. – С. 45–50.
5. Lee B. M, Shim G. A. Dietary exposure estimation of benzo[a]pyrene and cancer risk assessment. / B. M Lee, G. A. Shim // Journal of Toxicology and Environmental Health Part A. – 2007 Aug. – 70 (15- 16):1391-4.
6. Aygün S. F., Kabadayi F. Determination of benzo[a]pyrene in charcoal grilled meat samples by HPLC with fluorescence detection. / S. F. Aygün, F. Kabadayi // International Journal of Food Sciences and Nutrition. – 2005. Dec; 56(8):581-5.
7. Polynuclear Aromatic Hydrocarbons // Guidelines for Drinking-water Quality. 2nd ed. Vol. 2. Health Criteria and other Supporting Information. – Pfannhauser, 1991. – 32 p.
8. Jin X, Hua Q, Liu Y, Wu Z, Xu D, Ren Q, et al. Organ and tissue-specific distribution of selected polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in ApoE-KO mouse. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scihub.st/10.1016/j.envpol.2021.117219>. – Дата доступа: 18.02.2025.
9. Gan T. E, Xiao S. P, Jiang Y, Hu H, Wu YH, Duerksen-Hughes PJ, et al. Effects of benzo(a)pyrene on the contractile function of the thoracic aorta of Sprague-Dawley rats. / T. E. Gan, S. P. Xiao, Y. Jiang, H. Hu, Y. H. Wu, et al. // Biomed Environ Sci. – (2012). – 25:549–56.

10. Bolton J. L., Trush M. A., Penning T. M., Dryhurst G., Monks T. J. Role of quinones in toxicology. / J. L. Bolton, M. A. Trush, T. M. Penning, G. Dryhurst, T. G. Monks. // *Chem Res Toxicol.* – (2000) – 13:135–60.
11. Phillips D. H. Fifty years of benzo(a)pyrene. / D. H. Phillips. // *Nature.* – (1983) – 303:468–72.
12. Myers J. N., Harris K. L., Rekhadevi P. V., Pratap S., Ramesh A. Benzo(a)pyrene-induced cytotoxicity, cell proliferation, DNA damage, and altered gene expression profiles in HT-29 human colon cancer cells. / J. N. Myers, K. L. Harris, P. V. Rekhadevi, S. Pratap, A. Ramesh. // *Cell Biol Toxicol.* – (2021). – 37:891–913.
13. Xue J., Zhao Q., Sharma V., Nguyen L. P., Lee Y. N., Pham K. L., et al. Aryl hydrocarbon receptor ligands in cigarette smoke induce production of interleukin-22 to promote pancreatic fibrosis in models of chronic pancreatitis. // *Gastroenterology.* – (2016). – 151:1206–17.
14. Tzeng H. P., Yang T. H., Wu C. T., Chiu H. C., Liu S. H., Lan K. C. Benzo[a]pyrene alters vascular function in rat aortas ex vivo and in vivo. / J. Xue, Q. Zhao, V. Sharma, L. P. Nguyen, Y. N. Lee, K. L. Pham, et al. // *Vascul Pharmacol.* – (2019). – 121:106578.
15. Abbass M., Chen Y., Arlt V.M., Stürzenbaum S. R. Benzo[a]pyrene and *Caenorhabditis elegans*: defining the genotoxic potential in an organism lacking the classical CYP1A1 pathway. / M. Abbass, Y. Chen, V. M. Arlt, S. R. Stürzenbaum. // *Arch Toxicol.* – (2021). – 95:1055–69.
16. Jee S. C., Kim M., Kim K. S., Kim H. S., Sung J. S. Protective effects of myricetin on benzo[a]pyrene-induced 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine and BPDE-DNA Adduct. / S. C. Jee, M. Kim, K. S. Kim, H. S. Kim, J. S. Sung. // *Antioxidants.* – (2020). – 9:446.
17. Cella M., Colonna M. Aryl hydrocarbon receptor: linking environment to immunity. / M. Cella, M. Colonna. // *Semin Immunol.* – (2015). – 27:310–4.
18. Ji K., Xing C., Jiang F., Wang X., Guo H., Nan J., et al. Benzo[a]pyrene induces oxidative stress and endothelial progenitor cell dysfunction via the activation of the NF-κB pathway. / K. Ji, C. Xing, F. Jiang, X. Wang, H. Guo, J. Nan et al. // *Int J Mol Med.* – (2013). – 31:922–30.
19. Kress J. M., Dio L. D., Heck L., Pulliero A., Izzotti A., Laarmann K., et al. Human primary endothelial cells are impaired in nucleotide excision repair and sensitive to benzo[a]pyrene compared with smooth muscle cells and pericytes. / J. M. Kress, L. D. Dio, L. Heck, A. Pulliero, A. Izzotti, K. Laarmann, et al. // *Sci Rep.* – (2019). – 9:13800.
20. Knaapen A. M., Curfs D. M., Pachén D. M., Gottschalk R. W., Winther M. P., de Daemen M. J., et al. The environmental carcinogen benzo[a]pyrene induces expression of monocyte-chemoattractant protein-1 in vascular tissue: a possible role in atherogenesis. / A. M. Knaapen, D. M. Curfs, D. M. Pachén, R. W. Gottschalk, M. P. Winther, M. J. de Daemen, et al. // *Mutat Res.* – (2007). – 621:31–41.
21. Ji K., Xing C., Jiang F., Wang X., Guo H., Nan J., et al. Benzo[a]pyrene induces oxidative stress and endothelial progenitor cell dysfunction via the activation of the NF-κB pathway. / K. Ji, C. Xing, F. Jiang, X. Wang, H. Guo, J. Nan et al. // *Int J Mol Med.* – (2013). – 31:922–30.
22. Jules G. E., Pratap S., Ramesh A., Hood D. B. In utero exposure to benzo(a)pyrene predisposes offspring to cardiovascular dysfunction in later-life. / G. E. Jules, S. Pratap, A. Ramesh, D. B. Hood. // *Toxicology.* – (2012). – 295:56–67.
23. Bugiak B., Weber L. P. Hepatic and vascular mRNA expression in adult zebrafish (*Danio rerio*) following exposure to benzo-a-pyrene and 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin. / B. Bugiak, L. P. Weber. // *Aquat Toxicol.* – (2009). – 95:299–306.
24. Rouet P., Alexandrov K., Markovits P., Frayssinet C., Dansette P. M. Metabolism of benzo[a]pyrene by brain microsomes of fetal and adult rats and mice. Induction by 5,6 benzoflavone, comparison with liver and lung microsomal activities. / P. Rouet, K. Alexandrov, P. Markovits, C. Frayssinet, P. M. Dansette. // *Carcinogenesis.* – (1981). – 2: 919–926.
25. Tu B., Cheng S., Hu X. Effects on the survival rates and damage on DNA of benzo[a]pyrene or lead alone or in combination in rat neurons in vivo. / B. Tu, S. Cheng, X. Hu. // *Wei Sheng Yan Jiu.* – (2004). – 33: 660–662.
26. Tu B., Wu T., He H. Study on the neurotoxicity and brain tissue HSPs level in benzo[a]pyrene exposed mice. / B. Tu, T. Wu, H. He. // *Wei Sheng Yan Jiu.* – (2004). – 33: 15–17.
27. Saunders C. R., Shockley D. C., Knuckles M. E. Behavioral effects induced by acute exposure to benzo(a)pyrene in F-344 rats. / C. R. Saunders, D. C. Shockley, M. E. Knuckles // *Neurotox Res.* – (2001). – 3: 557–579.
28. О безопасности пищевой продукции: ТР ТС 021/2011 : принят 09.12.2011 : вступ. в силу 01.07.2013 / Евраз. экон.комис. – Минск : Госстандарт, 2012. – 196 с.
29. ГОСТ Р 51650-2000 Продукты пищевые. Методы определения массовой доли бенз(а)пирена (Food stuffs. Methods for determination of benz(a)pyren fraction of total mass). Принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 3 октября 2000 г. №247-ст.

Информация об авторах

Почицкая Ирина Михайловна, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник — заведующий научно-исследовательским сектором Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Рябова Кристина Святославна, кандидат технических наук, начальник Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: rkik-npc@mail.ru

Журня Анна Александровна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник сектора комплексных научных исследований питания республиканского контрольно — испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: otpit@tut.by

Алексеевко Маргарита Сергеевна, старший научный сотрудник лаборатории хроматографических исследований Республиканского контрольно-испытательного комплекса РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, д. 29, 220037,

г. Минск, Республика Беларусь)

E-mail: info@belproduct.com

Окулова Татьяна Витальевна, научный сотрудник сектора комплексных научных исследований питания республиканского контрольно — испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: otpit@tut.by

Рослик Валентина Лолиевна, Заведующий лабораторией хроматографических исследований РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: rkik-npc@mail.ru

Information about authors

Pochitskaya Irina Mikhailovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher — Head of Research Sector of the Republican Control and Testing Complex for Food Quality and Safety of the Republican Unitary Enterprise “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food”. (29, Kozlova St., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Ryabova Kristina Svyatoslavna, Ph.D (Technical), the head of the Republican control and testing complex for foodstuffs quality and safety of RUE «Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: rkik-npc@mail.ru

Zhurnia Hanna Alexandrovna, Ph.D (Technical), Leading Research Scientist of the Sector for Comprehensive Scientific Research on Nutrition at the Republican Control and Testing Complex for Food Product Quality and Safety, RUE “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: otpit@tut.by

Alekseenko Margarita Sergeevna, Senior Researcher at the Chromatographic Research Laboratory Republican Test Complex, RUE «Scientific-Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29, Kozlova street, Minsk, 220037, Republic of Belarus).

E-mail: info@belproduct.com

Akulava Tatsiana Vitalievna, Research Scientist of the Sector for Comprehensive Scientific Research on Nutrition at the Republican Control and Testing Complex for Food Product Quality and Safety, RUE “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: otpit@tut.by

Roslik Valentina Lolyevna, Head of the Chromatographic Research Laboratory RUE “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: rkik-npc@mail.ru

¹А. М. Синявская, ¹С. Н. Вислоухова, ²И. И. Кондратова¹РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь²Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

ПРИМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТНОГО ПРЕПАРАТА β-ФРУКТОФУРАНОЗИДАЗЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ САХАРИСТЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация: В статье рассмотрена проблема черствения сахаристых кондитерских изделий в процессе хранения, вызванного кристаллизацией сахарозы и потерей влаги. Показано, что перспективным направлением решения данной проблемы является использование ферментного препарата β-фруктофуранозидазы, который выступает в роли биологического антикристаллизатора. Проанализировано влияние ключевых факторов (температура, pH, активность воды, массовая доля сухих веществ) на эффективность работы фермента. Обобщен успешный опыт применения инвертазы в Республике Беларусь для производства зефира, позволивший значительно улучшить потребительские качества продукции, и необходимость разработки отечественного ферментного препарата для обеспечения импортозамещения и укрепления продовольственной безопасности.

Ключевые слова: ферментный препарат β-фруктофуранозидазы, антикристаллизатор, сахаристые кондитерские изделия, кристаллизация сахарозы, срок годности, черствение, потребительские качества.

¹Н. М. Siniauskaya, ¹S. N. Vislavukhava, ²I. I. Kandratava¹RUE «Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus»,
Minsk, Republic of Belarus²Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

APPLICATION OF THE ENZYME PREPARATION β-FRUCTOFURANOSIDASE IN THE PRODUCTION OF SUGAR-BASED CONFECTIONERY

Abstract. The article discusses the problem of hardening of sugary confectionery products during storage, which is caused by the crystallization of sucrose and the loss of moisture. It is shown that a promising approach to solving this problem is the use of the enzyme β-fructofuranosidase, which acts as a biological anti-crystallizer. The article analyzes the influence of key factors (temperature, pH, water activity, and mass fraction of dry matter) on the effectiveness of the enzyme. The article summarizes the successful experience of using invertase in the Republic of Belarus for the production of marshmallows, which has significantly improved the product's consumer qualities, and the need to develop a domestic enzyme preparation to ensure import substitution and strengthen food security.

Keywords: enzyme preparation of β-fructofuranosidase, anti-crystallizer, sugary confectionery products, crystallization of sucrose, expiration date, hardening, consumer qualities.

Введение. Сахар является основным видом сырья кондитерского производства, оказывающий влияние на процессы структурообразования и хранения сахаристых кондитерских изделий. Одной из проблем при хранении сахаристых кондитерских изделий (зефира, пастилы, нуги, помадных и молочных конфет, ириса, мармелада), является черствение, которое происходит в результате кристаллизации сахарозы, которая в итоге приводит к потере влаги продукта. Рост кристаллов сахара приводит к ухудшению структуры, консистенции и потере потребительских качеств кондитерских изделий [1–3]. Для решения этой проблемы приме-

няются различные способы: от использования рецептурных ингредиентов, обладающих свойствами антикристаллизатора (инвертный сироп, патока, сорбитовый сироп, олигофруктоза, инулин и др.), до специализированной упаковки, позволяющей минимизировать потерю влаги из продукта.

На наш взгляд одним из перспективных направлений в решении проблемы черствения сахаристых кондитерских изделий является использование ферментного препарата β -фруктофуранозидазы (сахаразы или инвертазы), относящегося к группе ферментов-гидролаз. Этот ферментный препарат в процессе хранения продукта расщепляет дисахарид сахарозу на моносахариды – глюкозу и фруктозу, проявляя при этом свойства биологического антикристаллизатора [2]. Антикристаллизатор обычно содержит простые сахара (глюкозу, мальтозу, фруктозу) [1]. Благодаря своим функциональным свойствам ферментный препарат β -фруктофуранозидазы широко применяется в мировой и отечественной практике не только для получения инвертного заменителя сахара, но и в технологии производства хлебобулочных изделий, сгущенных молочных продуктов, алкогольных и безалкогольных напитков, а также различных кондитерских изделий [4–6].

Цель работы: рассмотреть возможности расширения применения технологии производства сахаристых кондитерских изделий с улучшенными потребительскими характеристиками за счет использования ферментного препарата β -фруктофуранозидазы, замедляющего процесса черствения. Объектами исследования являются ферментный препарат β -фруктофуранозидазы, полуфабрикаты кондитерского производства (кондитерские массы, сиропы), процессы, влияющие на сохранение потребительских качеств сахаристых кондитерских изделий.

Результаты исследований и их обсуждение. В сахаристых кондитерских изделиях сахар может находиться в различных состояниях: аморфном (леденцовая карамель), в виде мелких кристаллов, распределенных в насыщенном растворе (помада), а также в виде раствора со студнеобразователем, способным переходить в студень (желейный мармелад), или образующего дисперсную среду пенообразной массы (пастила, зефир, суфле, нуга). [1].

Физико-химические свойства водных растворов сахаров влияют не только на технологические параметры кондитерских масс, но и на качественные показатели готовых кондитерских изделий. Растворимость сахарозы, гидратация молекул, способность образовывать относительно устойчивые пересыщенные растворы, кристаллизация из пересыщенных растворов и переохлажденных расплавов, играют важную роль при получении и уваривании сахарных, сахаро-паточных и иных сиропов, кондитерских масс с кристаллической или аморфной структурой, в процессах структурообразования при формировании помадных и молочных масс, ириса с кристаллической структурой. Физико-химические свойства сахарозы оказывают существенное влияние на процессы сушки пастило-мармеладных изделий, образования на их поверхности кристаллической корочки, а также намокания или высыхания кондитерских изделий при их хранении, следовательно, и на сроки их хранения [2].

Зная физико-химические свойства растворов сахаров, можно управлять многими технологическими процессами при изготовлении сахаристых кондитерских изделий, а следовательно, гарантировать их качество. Например, изменяя химический состав растворов, можно предвидеть скорость высыхания или намокания пастило-мармеладных кондитерских изделий при хранении. Управляя процессом кристаллизации сахарозы из пересыщенных растворов, можно достигнуть высокого качества помадных, ликерных и молочных масс. Процесс кристаллизации сахарозы продолжается при формировании конфетных масс, а также при хранении конфет, карамели, ириса и других кондитерских изделий. В кондитерских изделиях, в которых сахароза находится в кристаллическом состоянии, а ее кристаллики окружены тонким слоем насыщенного раствора, происходит процесс высыхания. В таких изделиях при хранении непрерывно протекает процесс кристаллизации сахарозы. Межкристалльный раствор (жидкая фаза) постепенно обедняется влагой, что приводит к росту кристаллов сахарозы. В результате этого изделия теряют свою первоначальную консистенцию, твердеют, изменяется их структура и форма [2]. Это отрицательно сказывается на потребительских качествах сахаристых кондитерских изделий.

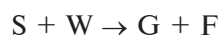
Так, например, помадные начинки и конфеты (особенно неглазированные корпуса конфет) достаточно быстро теряют свои потребительские качества из-за черствения. В результате испарения влаги из жидкой фазы помады она переходит в пересыщенный раствор сахарозы, и черствение конфет происходит в результате медленно протекающего процесса кристаллизации. Черствение помады происходит даже при относительной влажности воздуха больше 82,5 % [2]. В таких случаях возможно и целесообразно применение в технологии изготовления сахаристых кондитерских изделий ферментного препарата β -фруктофуранозидазы, который действует непосредственно на сахарозу в процессе хранения продукции.

Практика применения ферментного препарата β -фруктофуранозидазы для предотвращения быстрого черствения помадных конфет в странах бывшего Советского Союза существует давно: еще в ГОСТ 4570-93 «Конфеты. Общие технические условия» установлено требование к массовой доле влаги корпусов, слоев, начинок конфет, изготовленных с добавлением указанного биокатализатора [7].

В настоящее время использование фермента в производстве пищевой продукции регламентировано Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» [8]. В Приложении 26 указанного регламента перечислены микроорганизмы, которые могут выступать в качестве штаммов-продуцентов инвертазы пищевого назначения.

В мировой практике применение ферментного препарата β -фруктофуранозидазы регламентируется стандартом Кодекса Алиментариуса CODEX STAN 192-1995 [9], на территории Евросоюза — Регламентом Европейского парламента и Совета по пищевым добавкам № 1333/2008/ЕС от 16.12.2008 [10]. В соответствии с международными документами [9, 10] инвертаза позиционируется как пищевая добавка E1103, что обусловлено сохранением ее активности в процессе хранения продукции.

Действие ферментного препарата β -фруктофуранозидазы основано на гидролизе сахарозы (S) водой (W) с образованием глюкозы (G) и фруктозы (F) по следующей схематической формуле химической реакции [11]:



Как и в случаях с любыми другими ферментами, на активность инвертазы оказывают заметное влияние условия окружающей среды. При производстве кондитерских изделий важными факторами являются pH, температура и процентное содержание растворимых сухих веществ, а также постоянное количество инвертазы. Скорость действия может также зависеть от количества используемого концентрата инвертазы. Если концентрация растворимых сухих веществ слишком высока, то активность ферментного препарата значительно замедляется, и сахароза инвертируется не полностью. Так если помадные корпуса, извлеченные из крахмальных форм, имеют низкую влажность, то в дальнейшем может произойти незначительное изменение консистенции.

Лучше всего инвертаза действует в слабо кислой среде (оптимальной является pH 4,5 – 5). Если pH будет выше этого уровня, то действие инвертазы будет замедляться, а при превышении pH 7 оно прекращается [12]. При pH ниже 3,0 инвертаза инактивируется [11].

На активность ферментного препарата β -фруктофуранозидазы влияет температура. В таблице 1 приведены данные о влиянии температуры на активность инвертазы в помаде.

Т а б л и ц а 1. Снижение активности инвертазы при различных температурах
Table 1. Decreased invertase activity at various temperatures

Температура, °C	Снижение активности (%) в течение:	
	20 мин	30 мин
60,0	4	6
65,6	8	12
71,1	15	20
76,7	20	30

При температуре 82,2 °C и выше теряется как минимум 70% активности инвертазы. Следует отметить, что даже при обычной температуре терпирования (60 – 65°C) происходит значительное снижение активности.

При этом ингредиенты, добавляемые в помадную массу (сахар, яичный альбумин, молочные продукты, дробленые орехи, желатин, агар-агар, жир и модифицированный крахмал), оказывают на активность инвертазы незначительное влияние. Негативное воздействие могут оказать ароматизаторы и красители при смешивании с неразбавленным концентратом инвертазы. Для того чтобы снизить это негативное влияние необходимо добавление всех ингредиентов в помадную массу и доведение ее до температуры плавления осуществлять до того, как будет добавлен ферментный препарат. В этом случае фермент успевает лишь равномерно распределиться в составе массы до этапа формирования [13].

Активность ферментного препарата β -фруктофуранозидазы критически зависит от содержания влаги (активности воды) в жидкой фазе. Для нормальной работы фермента необходима достаточная концентрация доступной воды. Однако при сильном увеличении содержа-

ния растворенных сухих веществ и, как следствие, снижению активности воды ниже 0,65, активность фермента прекращается [14, 15]. В работе [14] было показано, что при значительном снижении значения активности воды активность инвертазы прекращается, однако при добавлении воды к системе этот фермент восстанавливает свою активность [13]. Таким образом, для поддержания необходимого уровня гидролиза необходим баланс влажности. Эта особенность ферментного препарата β -фруктофуранозидазы должна быть учтена и при ведении технологического процесса в случае добавления в кондитерскую массу санитарно-доброкачественных отходов (перерабатываемого полуфабриката), содержащих в составе инвертазу.

Динамика активности воды в помадной массе (с инвертазой) с соотношением 80:20 сахарозы и глюкозного сиропа с ДЭ 42 при комнатной температуре в зависимости от разного начального содержания влаги представлена на рис.1.

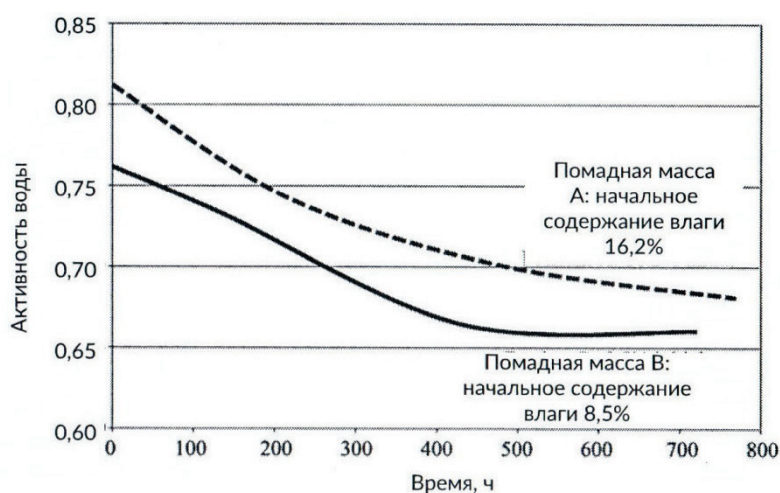


Рис. 1. Динамика активности воды в помадной массе (с инвертазой)
Fig. 1. Dynamics of water activity in the fondant mass (with invertase)

Необходимо отметить, что максимальная степень действия ферментного препарата β -фруктофуранозидазы ингибируется естественным образом, а это означает, что для каждой рецептуры требуется определение дозировки инвертазы для получения продукции с пролонгированной сохранностью потребительских качеств. Результат реакции зависит от содержания растворенных веществ, значения активности воды и содержания глюкозы [13].

Среди сахаристых кондитерских изделий, выпускаемых в Республике Беларусь, в широком ассортименте представлены изделия, в которых сахароза находится в виде раствора со студнеобразователем, образующего дисперсную среду пенообразной массы (зефир). Процесс черствения зефира при хранении происходит вследствие десорбции значительной части влаги, что обусловлено старением геля, закрепляющего воздушные пузырьки пены. Потеря даже небольшого количества влаги неизбежно приводит к изменению структуры и консистенции продукта. То есть, процесс постепенного пересыщения дисперсионной среды инициирует процесс кристаллизации сахарозы. Рост кристаллов сахара в зефире начинается с поверхности и приводит к ухудшению органолептических и структурно-механических характеристик. Зефир становится более плотным, затяжистым, при разжевывании ощущаются твердые кристаллы сахарозы.

Специалистами РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» проведены исследования по определению дозировок и режимов введения импортных ферментных препаратов в зефир. В результате изучения кинетики роста кристаллов сахарозы, а также динамики органолептических показателей, содержания редуцирующих веществ, пластической прочности были установлены оптимальные дозировки ферментного препарата инвертазы.

Также была исследована кинетика процесса кристаллизации сахарозы и динамика органолептических, физико-химических и реологических показателей качества в течение 180 суток хранения промышленных образцов зефира с добавлением ферментного препарата «Бионверт 200» («Kerry Food Ingredient Ltd», Ирландия) и «Invertase» («Novozymes», Дания) [16].

На основании полученных результатов в РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» разработана и внедрена технология, позволяющая предотвратить кристаллизацию сахарозы в зефире, изготовленном по классической технологии, в течение 200–300 суток (при продолжительности индукционного периода 30–70 суток у контрольных образцов зефира), снизить интенсивность потери влаги и улучшить потребительские характеристики зефира [16].

Мировой рынок ферментных препаратов инвертазы представлен продуктами американских, европейских, российских и восточноазиатских производителей. В Республике Беларусь нет собственного производства ферментов для инверсии сахарозы, которые востребованы как крупными, так и небольшими производителями кондитерских изделий. На белорусском рынке ферментный препарат β -фруктофуранозидазы представлен исключительно продуктами зарубежных производителей, что в условиях санкционного давления создает значительные риски для производителей кондитерских изделий. Поиск новых штаммов микроорганизмов, разрешенных к использованию в качестве продуцентов β -фруктофуранозидазы, и разработка технологии производства импортозамещающего биокатализатора для пищевой промышленности, в частности, для использования в технологии изготовления кондитерских сахаристых изделий с улучшенными текстурными и вкусовыми качествами, является актуальной для Республики Беларусь задачей.

В настоящее время в Институте микробиологии Национальной академии наук Беларуси реализуется проект по созданию отечественной биотехнологии производства ферментного препарата β -фруктофуранозидазы. В отделе технологий кондитерской и масложировой продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» началась и активно ведется работа по исследованию отечественного ферментного препарата β -фруктофуранозидазы и применению его при производстве сахаристых кондитерских изделий.

Заключение. В Республике Беларусь технологии с использованием β -фруктофуранозидазы успешно освоены при производстве зефира, глазированных помадных конфет и шоколада с помадными начинками. Гидролиз сахарозы в процессе хранения позволяет регулировать процессы десорбции влаги и кристаллизации, замедлить процессы черствения кондитерских изделий, что обеспечивает сохранение мягкости и высоких потребительских характеристик продукции. Учитывая положительный опыт применения инвертазы в производстве зефира, помадных начинок и конфет, разработка технологии производства кондитерских изделий, в которых сахароза находится в виде мелких кристаллов, распределенных в насыщенном сахарном растворе, в виде раствора со студнеобразователем, способного переходить в студень или образующего дисперсную среду пенообразной массы, с использованием ферментного препарата β -фруктофуранозидазы представляется научно и практически обоснованной. При этом при дальнейшей разработке технологий производства сахаристых кондитерских изделий необходимо учитывать, что на эффективность работы фермента (инвертазную активность) будут влиять несколько факторов: температура кондитерской массы, в которую вносится ферментный препарат, массовая доля сухих веществ, pH кондитерской массы.

Внедрение разработок с применением ферментного препарата β -фруктофуранозидазы позволит не только улучшить потребительские свойства кондитерских изделий на основе сбивных масс и кондитерских масс с кристаллическим агрегатным состоянием сахарозы, расширить возможность применения ферментного препарата β -фруктофуранозидазы при использовании в ассортименте пастило-мармеладных изделий, но и продлить их срок годности, что будет способствовать повышению конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках и расширению внешней торговли. Все это положительно сказывается на продовольственной безопасности нашей страны, а также способствует сохранению и подтверждению за Республикой Беларусь статуса производителя пищевой продукции стабильно высокого качества.

Список использованных источников

1. Маршалкин, Г. А. Производство кондитерских изделий. – М.: Колос, 1994. – 272 с.
2. Зубченко, А. В. Физико-химические основы технологии кондитерских изделий. – Воронеж: Воронеж. гос. технолог. акад., 2001. – 389 с.
3. Новожилова, Е. С. Технология производства кондитерских изделий. Конспект лекций по дисциплине «Технология производства хлебопекарных, макаронных, кондитерских изделий и пищевых концентратов» / Е. С. Новожилова, И. А. Машкова, И. И. Кондратова. – Могилевский государственный университет продовольствия, 2009. – 80 с.

4. Microbial invertases: a review on kinetics, thermodynamics, physiochemical properties / H. Nadeem [et al.] // Process Biochemistry. – 2015. – Vol. 50, № 8. – P. 1202–1210.
5. Toledo, L. E. Fructosyltransferases and Invertases: Useful Enzymes in the Food and Feed Industries / L. E. Toledo [et al.] // Enzymes in Food Biotechnology. – Elsevier Inc., 2019. – Chapter 26. – P. 451–469.
6. Pang, W. C. Structural properties, production, and commercialisation of invertase / W. C. Pang, A. N. M. Ramli, N. D. Johari // Sains Malaysiana. – 2019. – Vol. 48, № 3. – P. 523–531.
7. Конфеты. Общие технические условия: ГОСТ 4570-93. – Введ. 01.01.1997. Переизд. (февраль 2011 г.) – Минск: Госстандарт: Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации, 1997. – 14 с.
8. Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств. Технический регламент Таможенного союза: ТР ТС 029/2012. – Введ. 01.07.13. Переизд. (октябрь 2023 г.) – Минск: Госстандарт: Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации, 2012. – 654 с.
9. CODEX STAN 192-1995, Rev.18-2017 General Standard for Food Additives.
10. Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union list of food additives.
11. Сахарные кондитерские изделия / Гартел Р. У., фон Эльбе Й. Г., Хофбергер Р. – перев. с англ. под науч. ред. Канд. техн. наук Л. И. Рысевой. – СПб.: ИД «Профессия», 2019. – 784 с, ил., табл. – (Серия: Научные основы и технологии).
12. Шоколад, конфеты, карамель и другие кондитерские изделия / Б.У. Минифай; перевод с англ. под общ. науч. ред. Т. В. Савенковой. – СПб.: Профессия, 2005. – 808 с., ил. – (Серия: Научные основы и технологии).
13. Сахарные кондитерские изделия / Гартел Р. У., фон Эльбе Й. Г., Хофбергер Р. – перев. с англ. под науч. ред. Канд. техн. наук Л. И. Рысевой. – СПб.: ИД «Профессия», 2019. – 784 с, ил., табл. – (Серия: Научные основы и технологии).
14. Silver M., Karel M. The behavior of invertase in model systems at low moisture contents // J. Food Biochem., 1981, 5, p. 283–311.
15. Wu J. Invertase activity in fondant: M. S. Thesis. – University of Wisconsin-Madison, 2006.
16. Разработать и внедрить на ОАО «Красный пищевик» технологию производства зефира с улучшенными потребительскими характеристиками с использованием биологического антикристаллизатора: отчет о НИОТР (заключит.): РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»; рук. С.Е. Томашевич; исполн. А.А. Шевчук, С.Н. Вислоухова, Т.В. Бандюк [и др.]. – Минск, 2015. – 266 с. – № ГР 20141585.

Информация об авторах

Синяевская Анна Михайловна, ведущий инженер-технолог отдела технологий кондитерской и масложировой продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь).

E-mail: candy@belproduct.com

Вислоухова Светлана Николаевна, заведующий сектором кондитерской отрасли отдела технологий кондитерской и масложировой продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, Минск, Республика Беларусь).

E-mail: candy@belproduct.com

Кондратова Ирина Ивановна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Информационные технологии в управлении» Белорусского национального технического университета (пр-т Независимости, 65, 220013, г. Минск. Республика Беларусь).

E-mail: irenakondratova@tut.by

Information about the authors

Siniauskaya Hanna Mikhailovna, leading process engineer of the sector of the confectionery branch department of technologies of confectionery and fat-and-oil products The Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: candy@belproduct.com

Vislavukhava Sviatlana Nikolaevna, head of the sector of the confectionery branch department of technologies of confectionery and fat-and-oil products The Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: candy@belproduct.com

Kandratava Iryna Ivanauna, Ph.D. (Technical), Associate Professor, head of the Department of Information Technologies in Management at the Belarusian National Technical University (Prospekt Nezavisimosti, 65, 220013, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: irenakondratova@tut.by