

Volume 4, Issue 2, 2021

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ
ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ
FOOD SYSTEMS

An international science journal

FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS

ISSN 2618-9771 (Print)

ISSN 2618-7272 (On line)

<http://www.fsjour.com>

Федеральное агентство научных организаций

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ FOOD SYSTEMS

Учредитель и издатель

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Главный редактор

Кузнецова Оксана Александровна — Доктор технических наук, Врио директора ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Москва, Россия

Заместитель Главного редактора

Лисицын Андрей Борисович — Доктор технических наук, профессор, Академик РАН, научный руководитель ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Москва, Россия

Научный редактор

Горбунова Наталия Анатольевна — Кандидат технических наук, ученый секретарь, ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Москва, Россия

Научный редактор

Банникова Анна Владимировна — Доктор технических наук, Заведующий учебно-научно-испытательной лабораторией, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», Саратов, Россия

Выпускающий редактор

Захаров Александр Николаевич — Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий редакционно-издательским отделом, ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Москва, Россия

АДРЕС РЕДАКЦИИ И ТИПОГРАФИИ:
109316, Россия, Москва, Талалихина, 26,
Федеральный научный центр пищевых систем
им. В.М. Горбатова РАН.
www.fsjour.com

Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре

Регистрационные данные:

ПИ № ФС77-71610 от 13.11.2017

ЭЛ № ФС 77-72022 от 26.12.2017

Периодичность — 4 номера в год.

Издается с 2018 года.

Подписано в печать 30.06.2021.

Тираж 300 экз. Заказ № 363.

Типография ФНЦПС.

© ФНЦПС, 2021

ISSN 2618-9771 (Print)
ISSN 2618-7272 (Online)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Абрамова Любовь Сергеевна — доктор технических наук, профессор, помощник директора ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Москва, Россия
Баженова Баяна Анатольевна — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология мясных и консервированных продуктов» ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский университет технологии и управления», Улан-Удэ, Россия

Галстян Арам Генрихович — доктор технических наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН, заведующий Межотраслевым научно-техническим центром мониторинга качества пищевых продуктов, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Москва, Россия
Горлов Иван Федорович — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Научный руководитель ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции», Волгоград, Россия

Донник Ирина Михайловна — доктор биологических наук, профессор, Академик РАН, Вице-президент РАН, Москва, Россия

Евдокимов Иван Алексеевич — доктор технических наук, профессор, Заведующий кафедрой «Технология молока и молочных продуктов» ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» Ставрополь, Россия

Ежкова Галина Олеговна — доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология мясных и молочных продуктов» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия

Замаратская Галия — кандидат технических наук, доцент, Научный работник Шведского университета аграрных наук, Упсала, Швеция

Иванкин Андрей Николаевич — доктор химических наук, профессор, Заведующий кафедрой «Химия», Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Московская область, Россия

Кочеткова Алла Алексеевна — доктор технических наук, профессор, Руководитель лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Москва, Россия

Машенцева Наталья Геннадиевна — доктор технических наук, доцент, профессор РАН, заведующий кафедрой «Биотехнология и технология продуктов биоорганического синтеза» ФБГОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», Москва, Россия

Мирошников Сергей Александрович — доктор биологических наук, профессор, Директор ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт мясного скотоводства», Оренбург, Россия

Римарева Любовь Вячеславовна — доктор технических наук, профессор, Академик РАН, Заместитель директора Всероссийского научно-исследовательского института пищевой биотехнологии — филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Москва, Россия

Настасиевич Иван — доктор, адъюнкт-директор, Институт гигиены и технологии мяса, Белград, Сербия

Петров Андрей Николаевич — доктор технических наук, профессор, Академик РАН, Директор Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Видное, Московская область, Россия

Просоков Александр Юрьевич — доктор технических наук, профессор, профессор РАН, Ректор ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, Россия

Ребезов Максим Борисович — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Заведующий кафедрой прикладной биотехнологии ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Челябинск, Россия

Такеда Широ — адъюнкт- профессор, Профессор лаборатории науки о пище, Институт ветеринарной медицины, Университет Азабу, Сагами-хара, Япония

Тимошенко Николай Васильевич — доктор технических наук, профессор, Заведующий кафедрой технология хранения и переработки животноводческой продукции, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет», Краснодар, Россия

Чернуха Ирина Михайловна — доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Руководитель научного направления ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Москва, Россия

Швегеле Фреди — доктор, Директор Института Макса Рубнера, Кульмбах, Федеративная Республика Германия

Federal Agency of Scientific Organizations
(FANO of Russia)

V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food
Systems of Russian Academy of Sciences
(Gorbatov Research Center for Food Systems)

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ FOOD SYSTEMS

Founder and publisher:

V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food
Systems of Russian Academy of Sciences

Editor-in-Chief:

Oxana A. Kuznetsova, doctor of technical sciences,
Director of V.M. Gorbatov Federal Research Center
for Food Systems of Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia

Deputy Editor-in-Chief:

Andrey B. Lisitsyn, doctor of technical sciences,
professor, Academician of RAS, Scientific supervisor
Of V.M. Gorbatov Federal Research Center
for Food Systems of Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia

Science editor:

Natalia A. Gorbunova, candidate
of technical sciences, Academic Secretary of
V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food
Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow,
Russia

Science editor:

Anna V. Bannikova, doctor of technical sciences,
Head of the educational-scientific-testing laboratory,
Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov,
Russia

Production editor:

Aleksandr N. Zakharov, candidate of technical
sciences, senior research worker, Head of the Editorial
and Publishing Department of V.M. Gorbatov Federal
Research Center for Food Systems of Russian Academy
of Sciences», Moscow, Russia

PRINTING OFFICE:

109316, Talalikhina str. 26, Moscow, Russia,
Gorbatov Research Center for Food Systems.
www.fsjour.com

The journal is registered in ROSKOMNADZOR.

Registration data:

ПИ № ФС77-71610 from 13.11.2017

ЭЛ № ФС 77-72022 from 26.12.2017

Frequency — 4 issues a year.

Published in 2018.

Signed print 30.06.2021.

Circulation — 300 copies. Order № 363.

Printing house — FNCPS.

© FNCPS, 2021

ISSN 2618-9771 (Print)
ISSN 2618-7272 (Online)

EDITORIAL BOARD

Liubov S. Abramova, doctor of technical sciences, professor, assistant direc-
tor of Russian Federation Research Institute of Fishery and Oceanography,
Moscow, Russia

Baiana A. Bazhenova, doctor of technical sciences, docent, professor of the
chair «Meat and canned product technology» of East Siberia State University
of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

Aram G. Galstyan, Doctor of Technical Science, Professor of RAS, Corre-
sponding Member of RAS, Head of the Interbranch Scientific and Technical
Center for Food Quality Monitoring of All-Russian Scientific Research Insti-
tute of Brewing, Beverage and Wine Industry — Branch of V.M. Gorbatov Fed-
eral Research Center for Food Systems of RAS, Moscow, Russia

Ivan F. Gorlov, doctor of agricultural sciences, professor, academician of
RAS, Scientific supervisor of Povolzhskiy Research Institute of Production
and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia

Irina M. Donnik, doctor of biological sciences, professor, academician of
RAS, Vice president of RAS, Moscow, Russia

Ivan A. Evdokimov, doctor of technical sciences, professor, Head of the chair
«Technology of milk and dairy products» of North-Caucasus Federal Univer-
sity, Stavropol, Russia

Galina O. Ezhkova, doctor of biological sciences, professor, the head of the
chair «Technology of meat and dairy products» of Kazan National Research
Technological University, Kazan, Russia

Galia Zamaratskaya, candidate of technical sciences, docent, research work-
er, the Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden

Andrey N. Ivankin, doctor of Chemical Sciences, professor, the head of the
chair of Chemistry of Mytishchi branch of Bauman Moscow State Technical
University, Mytishchi, Moscow region, Russia

Alla A. Kochetkova, doctor of technical sciences, professor, the head of the
«Laboratory of food biotechnologies and specialized products», Federal Re-
search Centre of nutrition, biotechnology and food safety, Moscow, Russia

Natal'ya G. Mashentseva, doctor of technical sciences, professor RAS, the
head of the chair of Biotechnology and Technology of Products of Bioorganic
Synthesis of Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia

Sergey A. Miroshnikov, doctor of biological sciences, professor, director of
The All-Russian Research Institute of Beef Cattle, Orenburg, Russia

Liubov V. Rimareva, doctor of technical sciences, professor, academician of
RAS, deputy director of The All-Russian Scientific Research Institute of Food
Biotechnology — branch Federal Research Centre of nutrition, biotechnology
and food safety, Moscow, Russia

Nastasijevic Ivan, doctor, Associate Director of the Institute of Meat Hygiene
and Technology, Belgrad, Serbia

Andrey N. Petrov, doctor of technical sciences, professor, academician of
RAS, Director of All-Russian Research Institute of Canning Technology —
Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS,
Vidnoe, Moscow region, Russia

Aleksandr Yu. Prosekov, doctor of technical sciences, professor, professor of
RAS, Rector of Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Maxim B. Rebezov, doctor of agricultural sciences, professor, the head of
the chair of Applied Biotechnology of South Ural State University (national
research university), Chelyabinsk, Russia

ShiroTakeda, associate Professor, Laboratory of Food Science School of
Veterinary Medicine, Azabu University, Sagamihara, Japan

Nikolai V. Timoshenko, doctor of technical sciences, professor, the head of
the chair «Technology of storage and processing of animal products» of the
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Irina M. Chernukha, doctor of technical sciences, professor, corresponding
members of RAS, head of the scientific direction of V.M. Gorbatov Federal
Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow,
Russia

Fredi Schwagele, doctor, Director of Max Rubner-Institut, Kulmbach,
Germany.

CONTENTS

Ландиховская А. В., Творогова А. А. НУТРИЕНТНЫЙ СОСТАВ МОРОЖЕНОГО И ЗАМОРОЖЕННЫХ ДЕСЕРТОВ: СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ	74
Marwa R. Ali, Reda M. Mohamed, Tarek G. Abdelmaksoud FUNCTIONAL STRAWBERRY AND RED BEETROOT JELLY CANDIES RICH IN FIBERS AND PHENOLIC COMPOUNDS.	82
Крикунова Л. Н., Дубинина Е. В., Макаров С. Ю. ВОЗВРАТНЫЕ ОТХОДЫ ХЛЕБОПЕКАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА — НОВЫЙ ВИД СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДИСТИЛЛЯТОВ (ЧАСТЬ III. СТАДИЯ ДИСТИЛЛЯЦИИ)	89
Василевская Е. Р., Арюзина М. А., Ветрова Е. С. ВОДНО-СОЛЕВАЯ ЭКСТРАКЦИЯ КАК МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ СМЕСИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ БЕЛКОВОЙ ПРИРОДЫ ИЗ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ СВИНЬИ.	97
Верхивкер Я. Г., Мирошниченко Е. М., Павленко С. И. РАЗРАБОТКА СОКОВЫХ ПЛОДООВОЩНЫХ ПРОДУКТОВ, ОБОГАЩЕННЫХ КОЛЛАГЕНОМ.	106
Баженова А. Е., Руденко О. С., Пестерев М. А., Щербакова Н. А., Мистенева С. Ю. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ШТАММА ДРОЖЖЕЙ <i>CYSTOBASIDIUM SLOOFFIAE</i> , ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ТЕСТОВОГО ОБРАЗЦА ТОРТА.	111
Мельникова Е. И., Станиславская Е. Б. ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОПАРТИКУЛЯТА СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СМЕТАНЫ.	117
Свириденко Г. М., Мордвинова В. А., Остроухова И. Л. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО СОСТАВА ПЛЕСНЕВОЙ И ЗАКВАСОЧНОЙ МИКРОФЛОРЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЯГКИХ СЫРОВ	126
Острецова Н. Г., Боброва А. В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОФИЛЬТРАЦИОННЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ПАХТЫ И СЫВОРОТКИ ДЛЯ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ С ПОВЫШЕННОЙ МАССОВОЙ ДОЛЕЙ БЕЛКА	134
Никитина Ю. В., Топникова Е. В., Лепилкина О. В., Кашникова О. Г. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА НИЗКО- И БЕЗЛАКТОЗНЫХ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ	144

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81>

Поступила 28.04.2021

Поступила после рецензирования 25.05.2021

Принята в печать 01.06.2021

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

НУТРИЕНТНЫЙ СОСТАВ МОРОЖЕНОГО И ЗАМОРОЖЕННЫХ ДЕСЕРТОВ: СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ландиховская А. В.*, Творогова А. А.

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

мороженое, замороженные десерты, сахароза, лактоза, пробиотики, пребиотики

АННОТАЦИЯ

Рассмотрено текущее состояние и новые тенденции исследований в области создания мороженого и замороженных десертов функциональной направленности. Обращено внимание на отличие регламентируемых термином признаков мороженого в Европейском Союзе и в странах Евразийского союза. Учитывая, что мороженое и замороженные десерты являются многокомпонентными продуктами, корректировка их состава может по-разному сказаться на показателях качества. В частности, при замене сахарозы использование заменителей может привести к изменению традиционного вкуса, консистенции и структуры. В связи с этим рассмотрены аспекты применения заменителей сахарозы по сладости (глюкозно-фруктозные сиропы, продукты переработки фруктов, стевия и сукролоза) и по сухому веществу (пищевые волокна и полиолы). В частности, авторы исследований отмечают, что использование полиолов изменяет консистенцию мороженого на более твердую. Исследователями обращено внимание на влияние ряда компонентов, вносимых в мороженое и замороженные десерты, на криоскопическую температуру смеси. Отмечена тенденция исследований по обогащению мороженого и замороженных десертов про- и пребиотиками и применению в качестве молочной основы молока повышенной пищевой ценности (овечьего и козьего). Уделено внимание практическому применению ферментов. Для людей с непереносимостью лактозы, источником которой в мороженом является СОМО, предложено проводить ее гидролиз различными способами. В обзоре отражен также опыт ряда ученых по использованию фермента трансглутаминазы для изменения свойств молочных белков, в частности увеличения их влагоудерживающей способности. Исследователи уделяют большое внимание повышению пищевой ценности мороженого и десертов за счет увеличения массовой доли белка и введения легкоусвояемых белков (концентратов сывороточных белков, в т. ч. гидролизованных). С учетом роста числа лиц, употребляющих продукты животного происхождения, отмечены исследования по замене молочного белка на растительный белок, в частности, соевый.

Received 28.04.2021

Accepted in revised 25.05.2021

Accepted for publication 01.06.2021

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

ICE CREAM AND FROZEN DESSERTS NUTRIENT COMPOSITIONS: CURRENT TRENDS OF RESEARCHES

Anna V. Landikhovskaya*, Antonina A. Tvorogova

All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry, Moscow, Russia

KEY WORDS:

ice cream, frozen dairy desserts, health diets, sucrose, lactose, low-fat, probiotic, prebiotic

ABSTRACT

The current state and new research trends of creating functional ice cream and frozen desserts are considered in the article. Attention is paid to the difference between the characteristics of ice cream regulated by the term in the countries of European Union and Eurasian Union. Taking into account that ice cream and frozen desserts are multicomponent products, the correction of their composition may have different effect on their quality indices. In particular, replacing sucrose by substitutes can lead to a change of traditional taste, consistency and structure. In this connection, aspects of the usage of sucrose substitutes by sweetness (glucose-fructose syrup, processed fruit products, stevia, sucralose) and by dry matter (food fibers and polyols) are considered. In particular, the authors of researches note that the application of polyols changes the ice cream consistency to be firmer. The researchers pay attention to the impact of some components, introduced into ice cream and frozen desserts, on the cryoscopic temperature of mixture. The enrichment of ice cream and frozen desserts with pro- and prebiotics and application of milk with the increased nutritional value (sheep and goat milk) has been noted to be a trend in research. The attention is drawn to the practical use of enzymes. For people with lactose intolerance, the reason of which in ice cream is Nonfat milk solids (MSNF) it is proposed to hydrolyze it by different methods. In this review the experience of some scientists on the use of transglutaminase enzyme for changing properties of milk proteins, in particular, increasing their water- holding capacity is reflected. Researchers pay great attention to the increasing of nutritional value of ice cream and desserts by growth of mass fraction of protein and introduction of easily digestible proteins (concentrates of whey proteins, including the hydrolyzed proteins). Taking into consideration the growth of people who do not consume products of animal origin, some researches on replacement of milk protein to vegetable one, in particular, soy are noted.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ландиховская, А. В., Творогова, А.А. (2021). Нутриентный состав мороженого и замороженных десертов: современные направления исследований. *Пищевые системы*, 4(2), 74–81. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81>

FOR CITATION: Landikhovskaya, A.V., Tvorogova, A.A. (2021). Ice cream and frozen desserts nutrient compositions: current trends of researches. *Food systems*, 4(2), 74–81. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81>

1. Введение

Мороженое как пищевой многокомпонентный продукт, изготавливаемый с использованием холода и потребляемый в замороженном виде, известен несколько тысяч лет. С началом его промышленного производства (80–90 годы 19 века в Америке и Европе и 30-е годы 20 века в России) появилась необходимость в систематизации его производства, началом которой является классификация. Длительное время классификация мороженого в России соответствовала подходам, принятым за рубежом — к мороженому относили всю продукцию, вырабатываемую с применением холода и потребляемую в замороженном виде. За последние 25 лет отрасль мороженого и замороженных молочных десертов, как и всего молочного производства, претерпела изменения: механизировались технологические процессы, увеличилось количество употребляемой продукции [1]. Изменились и подходы к классификации, в соответствии с требованиями законодательства Евразийского союза мороженое стали относить к молочной продукции при условии наличия в нем сухих веществ молока не менее 40% (молочный составной продукт) и не менее 20% (молокосодержащий продукт или молокосодержащий с заменителем молочного жира). Продукты, изготавливаемые по технологии мороженого, но не соответствующие указанным требованиям, отнесены к категории замороженных взбитых десертов или пищевых льдов.

Молочная продукция является одним из основных продуктов питания, обеспечивающим продовольственную безопасность стран. В последнее время в России, как и в большинстве стран мира, растет интерес к производству продуктов для здорового питания и функциональной направленности. Возможности производства такого рода продуктов предусмотрены регламентами Таможенного союза, в частности ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» [2]. Это касается в первую очередь продуктов, обогащенных молочным белком, пищевыми волокнами, про- и пребиотиками.

Острой проблемой в производстве всех продуктов и молочных, в частности, является замена сахарозы на сахара или сладкие продукты с низким гликемическим индексом. Рынок мороженого, представленный различными производителями, также диктует условия к поиску новых компонентов и направлений для улучшения функциональных свойств уже имеющегося мороженого.

Корректировка состава и возможность применения новых компонентов в области производства мороженого изучаются не только в России, но и за рубежом. Тенденции развития науки, распространение информации через международные базы данных дало возможность изучить опыт других стран. Целью данного обзора является анализ опыта международных ученых в области мороженого и замороженных десертов функциональной направленности для сопоставления направления исследований в России и за рубежом и определения области дальнейших исследований.

2. Основная часть

2.1. Общие сведения и характеристика продукта

Goff, H. D., и соавторы в своей статье [3] характеризует мороженое и замороженные десерты, как продукт, насыщенный воздухом, который необходимо употребить в пищу, пока он заморожен. Как отмечает автор, в разных странах под термином «мороженое» скрыто разное понимание состава продукта: «в США и Канаде, для примера, мороженое должно содержать минимум 10 процентов молочного жира и не содержать других источников жира и белка немолочного происхождения» (Управление по контролю за продуктами и лекарствами США, 2017). Термин «замороженные десерты»

используют для характеристики продуктов, содержащих немолочные жиры и немолочные продукты. В Европе руководствуются кодексом Евроглас для «Съедобных льдов» [4], где под термином «мороженое» понимается аэрированная эмульсия, содержащая жир. В России к мороженому в соответствии с ТР ТС 033/2013 [2] относят взбитые, замороженные и потребляемые в замороженном виде сладкие молочные составные продукты (на долю составных частей молока в мороженом должно приходиться не менее 40%), молокосодержащие продукты с содержанием сухих веществ молока не менее 20% без замены составных частей молока на жиры и белки растительного происхождения и молокосодержащее мороженое с заменителем молочного жира с содержанием сухих веществ молока не менее 20%.

Мороженое — сложный продукт, состоящий из жира, сахара, обезжиренного молочного остатка, представляющего собой молочный белок, лактозу и молочные соли, влияющие на снижение точки замерзания во время фризирования. Кроме того, мороженое структурированный продукт. Основными элементами его структуры являются кристаллы льда, воздушные пузырьки, суспендированные и агломерированные частички жира. В формировании и сохранении структуры мороженого важную роль играют стабилизаторы и эмульгаторы, вносимые в смесь для мороженого в небольших количествах. Большая часть стабилизаторов — полисахариды, извлекаемые из растений и водорослей. Некоторые из них используются в нативном состоянии, другая часть модифицируется для усиления их технологических свойств. В Европе эмульгаторы, стабилизаторы, загустители и гелеобразующие агенты классифицируются как пищевые добавки, использовать их необходимо в соответствии с регламентом (ЕС) 1333/2008 [5]. Данные пищевые добавки имеют высокую молекулярную массу, за счёт этого удаётся достигнуть функциональных свойств в продукте, используя их в количествах менее 2% [6,7]. В нашей стране добавки, вносимые в мороженое, должны соответствовать требованиям технического регламента ТР ТС 029/2012 [8].

Чаще всего применяемые стабилизаторы-полисахариды камеди гуаровая и рожкового дерева и карбоксиметилцеллюлоза добавляются в смесь в количествах, варьирующихся от 0,15 до 0,25%. По мнению автора [3]: «они взаимодействуют с водной фазой и могут также взаимодействовать с белками в водной фазе».

Нутриенты молочного происхождения представлены в мороженом казеином, сывороточными белками, молочным жиром, лактозой и минеральными солями. Каждый из этих нутриентов выполняет свою технологическую функцию [9]. Жир вносит весомый вклад в образование структуры мороженого во время замораживания и взбивания. Жировые шарики, в отдельности или частично агломерированные, находятся в мороженом на поверхности раздела двух фаз «воздух-плазма». Для активизации этого процесса путём снижения поверхностного натяжения жир-вода в смеси мороженого применяют эмульгаторы. Как правило, используют моно- и диглицериды жирных кислот, сорбаты, полисорбаты. Их добавляют в количестве 0,1% — 0,4%. Действие эмульгаторов основано на вытеснении белка с поверхности жирового шарика, что приводит к снижению их прочности и разрыву, агломерированию жировых частиц и их участию в формировании структуры мороженого при замораживании и взбивании [10,11].

Авторы работы [12] сделали вывод, что взаимодействие между жиром и воздухом усиливается тогда, когда снижается адсорбция белка на оболочке воздушного пузырька. В исследовании выявлена корреляция между уровнем адсорбированного белка и дестабилизацией жира при посто-

янных условиях обработки. Отмечается, что содержание жира в плаве при проведении теста на плавление и показатели дестабилизации жира коррелировали. Таким образом, было установлено, что анализ общего жира, выделяемого из плава, должен проводиться дополнительно к контролю жировой агломерации, жира, экстрагируемого растворителем и размером жировых агломератов.

2.2. Роль углеводов в мороженом, исследования в области полной и частичной замены сахарозы

Углеводы обеспечивают значительное количество энергии в питании человека. По степени полимеризации их делят на сахара, олигосахариды и полисахариды. Сахара подразделяются на моносахариды, дисахариды и полиолы (сахарные спирты) [13,14]. На ежедневное потребление сахара приходится 500 ккал в день, рекомендованная суточная норма сахара для человека с нормальным весом составляет около 25 грамм или 96 ккал в день. ВОЗ рекомендует употреблять взрослым и детям не более 10% добавленных сахаров от общей суточной калорийности. С целью снижения количества сахара в продукте применяют натуральные и искусственные подсластители [15,16,17].

Подсластители улучшают консистенцию и вкусовые качества мороженого, придают сладкий вкус и усиливают ароматы. Они также снижают точку замерзания смеси, которая является контрольным измерением, позволяющим судить о степени твердости мороженого. Самым распространённым подсластителем является сахароза. Сахара поступают в мороженое и замороженные десерты как путем прямого внесения (добавленные сахара), так и вместе с сыром. Самым основным видом сахаров в мороженом является сахароза, которая поступает в продукт в виде сахар-песка или при использовании стуженных молочных продуктов с сахаром [18]. Сахароза может быть получена из сахарного тростника или свеклы. В мороженом сахароза играет важную роль: придаёт сладость продукту, влияет на температуру замерзания и плавления. Чем ниже точка замерзания, тем сложнее образовываться кристаллам льда. Температура замерзания связана с количеством молекул в растворе. Моносахариды сильнее понижают криоскопическую температуру, чем сахароза, но при этом любая замена сахаров сказывается на стабильности мороженого при плавлении и замораживании [19,20].

В качестве альтернативы сахарозы применяют кукурузный сироп с содержанием фруктозы на уровне 42% или 55%. Его получают путем ферментативного гидролиза кукурузного крахмала в глюкозу с последующей частичной изомеризацией глюкозы во фруктозу [21]. Отмечается [22], что в США и некоторых других странах коммерческие производители пищевых продуктов используют кукурузный сироп с высоким содержанием фруктозы в качестве замены сахарозы во многих продуктах так, чтобы доступность сахарозы и кукурузного сиропа была приблизительно одинаковой. Остальные страны, в которых используются глюкозные сиропы — Канада, Мексика, Венгрия, Словакия, Бельгия, Болгария, Южная Корея и Япония. Среди этих стран США потребляют сиропов около 25 кг в год на душу населения, Венгрия около 15 кг в год, а остальные — от 5 до 10 кг.

Рост таких заболеваний, как сахарный диабет второго типа, ожирение диктуют новые условия производителям. Современные тенденции в области питания направлены на получение продуктов со сниженным содержанием жира и сахара [23]. В отрасли производства мороженого также ведутся исследования по снижению массовой доли жира в продукте [24]. Разрабатываются рецептуры, позволяющие снизить содержание сахарозы и полностью заменить её другими сахарами и подсластителями.

Авторы [25] исследовали возможность применения натурального фруктового наполнителя “Fruit Up®”, полностью состоящего из фруктов в качестве полной замены сахарозы в яблочном мороженом, изготовленном из заранее запеченных яблок при различных температурных режимах. В статье отмечено, что дегустаторам понравился контрольный образец мороженого с сахарозой и глюкозой, но при этом опытный образец не уступал контролю. “Fruit Up®”, по мнению исследователей, может использоваться при производстве мороженого без сахарозы.

В работе [26] в качестве натурального подсластителя использовали экстракт стевии (порошок-ребаудиозид А, ботаническая эссенция (98%), Малайзия) в различных концентрациях. Установлено, что образцы мороженого обладали хорошими показателями термоустойчивости по сравнению с контролем. Авторами отмечено, что внесение стевии увеличивает вязкость смеси, мороженое обладало высокой твердостью, характеризовалось жевательной и липкой текстурой. Таким образом, использование данного компонента возможно в качестве замены сахарозы. Антиоксидантная активность порошка листьев стевии при добавлении её в мороженое изучалась в исследовании [27]. В контрольном образце было 20% сахарозы, в опытных от 15% до 17,5%. С уменьшением количества сахарозы увеличивалось содержание стевии. Авторами отмечено, что с увеличением количества стевии в мороженом антиоксидантная активность возрастала, что объясняется наличием антиоксидантных соединений в листьях, таких как флавоноиды и фенолы. Наилучшее соотношение, по их мнению, 15% сахарозы и 0,6% порошка листьев стевии.

В Индии 49% женщин и 36% мужского населения, проживающих в городах страдают от ожирения. ВОЗ прогнозирует, что к 2025 году количество больных диабетом увеличится на 57,2 млн. Исследователи предлагают использовать полидекстрозу и сорбитол для создания структуры мороженого после удаления сахарозы из рецептуры. По мнению авторов, комбинация сорбита и сукралозы эффективна при приготовлении мороженого без сахара с низким содержанием жира [28]. Авторы статьи [29] отмечают, что стевию хорошо использовать совместно с какао.

При производстве мороженого с использованием йогурта также проводятся исследования по замене сахарозы другими подсластителями. Работа [30] посвящена изготовлению низкокалорийного замороженного йогурта с пониженным содержанием жира, без добавления сахара, а также с использованием инулина, изомальта, полидекстрозы и интенсивных подсластителей. Отмечена необходимость подбора эффективной стабилизационной системы, поскольку опытные образцы были менее термоустойчивыми по сравнению с образцом, в котором использовалась сахароза.

Мальтит — дисахаридный полиол, который может быть альтернативой сахарозы. Он обладает сладостью от 75–90% от сладости сахарозы и имеет аналогичные свойства. Кривая растворимости мальтитола наиболее приближена к кривой растворимости сахарозы, что сказывается на ощущении сладкого вкуса во рту. При замене сахарозы на мальтит улучшается кремообразность, снижается гликемический индекс продукта [31]. В работе [32] были разработаны составы заменителей сахарозы при производстве мороженого с использованием мальтита. Опытные образцы, по мнению авторов, нуждаются в доработке для достижения приемлемости вкуса.

В качестве заменителя сахарозы можно использовать другой дисахарид — трегалозу. Трегалоза имеет практически одинаковую молекулярную массу с сахарозой, обеспечивает 45% от её сладости [33]. Изучена возможность применения меда, трегалозы и эритрита при изготовлении мороженого

вручную в качестве заменителей сахарозы [34]. Авторы статьи отмечают, что их исследования могут послужить базисом к разработке рецептур мороженого без сахарозы с заранее заданными свойствами, в частности, использовать мёд можно при производстве мороженого с более низким гликемическим индексом. Во ВНИХИ также разработаны рецептуры производства мороженого без сахарозы на основе полиолов и с использованием композиции трегалозы и фруктозы [35,36].

На долю лактозы в мороженом приходится до 20% всех углеводов [10]. Содержание лактозы в мороженом может достигать уровня 8%. Чрезмерное использование лактозы и неправильное хранение продукта вызывает кристаллизацию лактозы и возникает порок «песчанность» [9]. Лактоза придает мороженому выраженный вкус и аромат [37]. При этом есть категория людей с непереносимостью лактозы. Авторами [38] отмечено, что от 6 до 25% белых американцев и 45–81% чернокожих американцев и американцев мексиканского происхождения страдают от непереносимости лактозы из-за дефицита фермента β -галактозидазы в их желудочно-кишечном тракте. В обзорной статье [15] отмечено, что гидролиз лактозы может быть альтернативой снижения сахара. Гидролиз 70% лактозы в молоке увеличивает сладость молока или йогурта в той же степени, что и добавление 2% сахарозы.

Многие компоненты, применяемые при производстве мороженого, произрастают в регионе, где проводятся исследования. В частности, в ОАЭ изучали возможность применения финикового сиропа взамен сахарозы. В Объединенных Арабских Эмиратах производят более 245 тысяч тонн фиников. Они различаются между собой сортом и физико-химическим составом. Сладость финикам придают глюкоза и фруктоза, как и большинству фруктов. Авторами установлено, что при увеличении концентрации финикового сиропа снижается выраженность молочного вкуса мороженого, а также увеличивается интенсивность окрашивания продукта в коричневый цвет. Кроме того, усиливается вкус фиников [39].

Исследователи из Новой Зеландии [40] изучали возможность использования сока киви зеленой, жёлтой и красной мякоти. Пюре киви добавляли в смесь молочного мороженого, без использования дополнительных красителей и ароматизаторов, в количестве 49%. Наилучшие показатели отмечены у образца с красной мякотью.

2.3. Исследования по применению про- и пребиотиков в мороженом

В России и за рубежом растёт рынок продукции с функциональными свойствами [41,42,43]. Проводятся исследования по созданию мороженого с применением молочнокислых бактерий [44,45,46,47]. В работе [48] исследовали влияние пищевых волокон (5 различных видов) на выживаемость *Lactobacillus acidophilus* и *Bifidobacterium lactis* в мороженом. В своих выводах, авторы исследования рекомендуют использовать пшеничные волокна, так как они имеют потенциал для улучшения реологических и текстурных характеристик мороженого, сохраняя при этом его органолептические свойства и жизнеспособность пробиотических культур.

Авторы исследования [49] ферментировали смесь мороженого с низким содержанием жира традиционными стартовыми пробиотическими культурами. Ферментацию останавливали, когда достигали значение pH равное 5,6.

Чаще всего при производстве мороженого используется коровье молоко, но также сейчас проводятся исследования по производству мороженого и замороженных десертов на основе использования овечьего [50] и козьего молока [51].

В работе [52] исследовали шоколадное мороженое, изготовленное на козьем молоке с использованием проби-

отических культур *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB-12 и новым пробиотиком *Propionibacterium jensenii* 702 и упакованное в три разных материала: полипропилен, полиэтилен и стекло. Во время хранения оценивали качество продукта, выживаемость пробиотических микроорганизмов, физико-химические свойства и сенсорные характеристики продукта в различных упаковочных материалах. Было установлено, что процесс замораживания оказывает влияние на количество жизнеспособных клеток, но при этом на протяжении хранения до 52 недель их количество было на уровне 10^6 – 10^7 КОЕ/г при температуре минус 20 °С. По мнению авторов, материалы оказали значительное влияние на полное время плавления мороженого и на качество плавления продукта через одну неделю после производства. Упаковка не оказывает влияния на другие физико-химические и сенсорные свойства. Изменение структуры, консистенции и вкуса было ощутимо после 12 недель хранения.

В статье [53] была изучена выживаемость пробиотических бактерий в мороженом с сахарозой и с аспартамом в течение 6 месяцев хранения. Отмечено, что ни условия хранения, ни вид подсластителя не повлияли на выживаемость бактерий.

Также важна роль обогащения мороженого и замороженных десертов пищевыми волокнами [54]. Хорошими показателями в ряде исследований уже отмечены такие волокна, как инулин, полидекстроза и др. Потребители предпочитают такие продукты, как источник волокон, полезных для здоровья. Область использования пищевых волокон имеет огромный потенциал.

В работе [50] в качестве замены источника жира в мороженом на овечьем молоке использовали различные пребиотики. Использование инулина и фруктоолигосахаридов рекомендовано как предпочтительное в связи достижением одинакового состояния консистенции в экспериментальном и контрольном образцах. Исследование показало, что замена овечьего жира пребиотиками может быть хорошей альтернативой с целью увеличения питательной ценности продукта и снижения его калорийности.

Исследование [55] основывалось на изучении свойств цитрусовых волокон в качестве стабилизаторов. Были выработаны образцы, в которых в качестве стабилизационной системы использовались цитрусовые волокна с добавлением стабилизатора-эмульгатора и без его применения в комплексе и только стабилизатор-эмульгатор. В работе отмечено, что при использовании только одних цитрусовых волокон не достигается оптимальная вязкость, взбитость и органолептические показатели, хотя отмечено, что мороженое более устойчиво к таянию. Авторы исследования считают, что наилучшие показатели имело мороженое с использованием цитрусовых волокон в сочетании со стабилизатором-эмульгатором.

Применение инулина актуально при производстве маложирных видов мороженого в связи с его способностью создавать сенсорное ощущение жирности в отсутствии жира [56].

2.4. Высокобелковые замороженные десерты

Белки молока играют важную роль в производстве мороженого: являются водосвязывающими и влагоудерживающими агентами, стабилизируют жировую и воздушную фазы и придают вкус, в частности молочных продуктов [57].

Автор [58] отмечает, что замороженные десерты могут быть важным источником белка. Компании создают разнообразные высокопротеиновые десерты, которые могут быть использованы в диете больных с хронической болезнью почек. В соответствии с FDA рекомендуется употреблять белков

50 г/сутки при рационе питания 2000 ккал. Эта организация устанавливает следующее понятия о белоксодержащих продуктах: «высокое содержание белка» — 20% от суточной нормы, «источник белка» — от 15% до 19% от суточной нормы.

В работе [59] было изучено влияние повышенного содержания белка на свойства мороженого с массовой долей жира на уровне 10%. В качестве источников белка использовались концентраты сывороточного и молочного белков. Образцы мороженого были приготовлены без использования стабилизаторов и эмульгаторов. При добавлении белка в опытных образцах снижался уровень лактозы, в контрольном образце была самая низкая криоскопическая температура.

2.5. Замороженные десерты с соевым белком

В настоящее время существуют группы людей, предпочитающих заменять молочные белки в своем рационе растительными. В условиях повышенного интереса общества к вопросам пищевой ценности продуктов белок сои получает всё большее признание как высокопитательный, функциональный и рентабельный пищевой ингредиент, позволяющий дополнять и улучшать пищевую ценность готовой продукции. Проводятся исследования по замене коровьего молока растительным продуктом: соевым, кокосовым [60,61]

Исследование [62] посвящено изучению выживания пробиотических культур в неферментированном замороженном десерте с соевым белком для вегетарианцев. Пробиотические бактерии были внесены в количестве, превышающем 10^6 КОЕ/г. Полученный продукт оценивался по выживаемости микроорганизмов и по сенсорным показателям. В результате исследования авторами отмечено, что *Lactobacillus acidophilus* MJLA1, *L. rhamnosus* 100-C, *L. paracasei* ssp. *paracasei* 01, *Bifidobacterium lactis* BBDB2, *B. lactis* BB-12 на протяжении 6 мес. сохраняли количество клеток на уровне 10^7 КОЕ/г и выше. Содержание *Saccharomyces boulardii* 74012 ниже 10^6 КОЕ/г. По сенсорным показателям наилучшие результаты показал образец с *L. acidophilus* MJLA1, который не отличался от контрольного образца. Продукт с *S. boulardii* 74012 обладал нежелательными ароматами, сформированными во время хранения. Авторы считают, что замороженный соевый десерт может быть источником доставки пробиотических бактерий с разнообразными сенсорными характеристиками.

2.6. Использование трансглутаминазы в мороженом

Трансглутаминаза TG (EC2.3.2.13) — фермент, признанный безопасным (GRAS — Generally Recognized As Safe) и используемый в пищевой промышленности. Он изменяет функциональные свойства молочных белков, способствует образованию структуры при использовании различных белков, соединяя их, в частности белков сои, молочных, глютена и других белки [63,64].

В работе [63] было исследовано влияние сывороточных белков и обработанной трансглутаминазы вместе и по отдельности на физические и органолептические свойства

мороженого с массовой долей жира 5%. Добавление сывороточных белков с использованием фермента и без его применения сказались на уменьшении скорости таяния, вязкости и твердости исследуемых образцов мороженого. Однако в образце мороженого с использованием только трансглутаминазы скорость таяния и взбитость увеличились, а по консистенции мороженое было более мягким. Применение трансглутаминазы и сывороточных белков не оказало влияния на вкус и аромат мороженого, но при этом отразилось на цвете и консистенции продукта. Авторы исследования отмечают, что использование сывороточных белков совместно с трансглутаминазой улучшает физические и органолептические свойства продукта лучше, чем использование этих компонентов в отдельности.

Исследование [64] также посвящено изучению свойств трансглутаминазы в мороженом. Авторами работ отмечено, что применение трансглутаминазы положительно сказывается на стабильности образцов к повторным тепловым шокам. Применение фермента в маложирных продуктах позволяет получать показатели, характерные для высокожирных видов.

3. Выводы

Приведенный анализ показывает, что существует довольно много направлений и возможностей в корректировке нутриентного состава мороженого и замороженных десертов, в т.ч с целью создания продуктов функциональной направленности. Авторы исследований в своих работах стремятся улучшать уже имеющиеся виды мороженого, обогатить их полезными продуктами и веществами, расширить ассортимент для удовлетворения растущего спроса потребителей.

Перспективными заменителями сахарозы по сладости и сухому веществу в мороженом и замороженных десертах являются: продукты переработки крахмала (глюкозно-фруктозные и высокофруктозные сиропы и сладких фруктов (финиковый сироп и др.), композиция сорбита и сукралозы, мальтит и натуральный подсластитель с антиоксидантными свойствами стевия. Обогащение мороженого пробиотическими микроорганизмами достигается путем применения бифидобактерий, ацидофильной палочки и пропионово-кислых бактерий. Высокобелковые замороженные десерты вырабатывают с использованием концентратов молочного или сывороточного белков. Применение фермента лактазы целесообразно в производстве мороженого с низким содержанием лактозы, трансглутаминазы — для интенсификации водосвязывающей способности белков, в частности сывороточных. Наиболее функциональными белками в десертах, не содержащих продукты животного происхождения, являются соевые белки.

Анализ исследований по замене нутриентов в составе мороженого и замороженных десертов позволяет сделать вывод, что исследования, проводимые в России актуальны и в чем-то пересекаются с зарубежными коллегами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Goff, H. D., Griffiths, M. W. (2006). Major advances in fresh milk and milk products: Fluid milk products and frozen desserts. *Journal of Dairy Science*, 89(4), 1163–1173. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72185-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72185-3)
- Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 035/2015 «О безопасности молока и молочной продукции». Принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 9 октября 2013 года. № 67.
- Goff, H. D. (2019). The structure and properties of ice cream and frozen desserts. Chapter in a book: *Encyclopedia of Food Chemistry*, 47–54. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.21703-4>
- Euroglaces, 2013. Code for Edible Ices. European Ice Cream Association, Brussels. Retrieved from <https://www.euroglaces.eu/code-edible-ices/> Accessed May 4, 2021
- Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on food additives. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008R1333/> Accessed May 4, 2021
- Goff, H. D. (2016). Ice cream and frozen desserts: Manufacture. Chapter in a book: *Reference Module in Food Science*, 899–904. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.00832-5>
- Philp, K. (2018). Polysaccharide ingredients. Chapter in a book: *Reference Module in Food Science*, 1–23. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.22367-6>
- Технический регламент таможенного союза ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и техноло-

- гических вспомогательных средств». Принят Решением Совета Европейской экономической комиссии от 20 июля 2012 года N58.
9. Hartel, R. W., Rankin, S. A., Bradley, R. L. (2017). A 100-year Review: Milestones in the development of frozen desserts. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10014–10025. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13278>
 10. Deosarkar, S. S., Kalyankar, S. D., Pawsha, R. D., Khedkar, C. D. (2016). Ice cream: composition and health effects. Chapter in a book: *Encyclopedia of Food and Health*, 385–390. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384947-2.00385-8>
 11. Deosarkar, S. S., Khedkar, C. D., Kalyankar, S. D., Sarode, A. R. (2016). Ice cream: uses and method of manufacture. Chapter in a book: *Encyclopedia of Food and Health*, 391–397. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384947-2.00384-6>
 12. Bolliger, S., Goff, H., Tharp, B (2000). Correlation between colloidal properties of ice cream mix and ice cream. *International Dairy Journal*, 10(4), 303–309. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(00\)00044-3](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(00)00044-3)
 13. Daniel, J. R., Vidovic, N. (2018). Carbohydrates, role in human nutrition. Chapter in a book: *Reference Module in Food Science*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.02927-9>
 14. Hinde, S. (2019). Understanding the role of carbohydrates in optimal nutrition. *Nursing Standard (Royal College of Nursing (Great Britain): 1987)*, 34(8), 76–82. <https://doi.org/10.7748/ns.2019.e11323>
 15. McCain, H. R., Kaliappan, S., Drake, M. A. (2018). Invited review: Sugar reduction in dairy products. *Journal of Dairy Science*, 101(10), 8619–8640. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14347>
 16. Di Monaco, R., Miele, N. A., Cabisidan, E. K., Cavella, S. (2018). Strategies to reduce sugars in food. *Current Opinion in Food Science*, 19, 92–97. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.03.008>
 17. Kokkinidou, S., Peterson, D., Bloch, T., Bronston, A. (2018). The important role of carbohydrates in the flavor, function, and formulation of oral nutritional supplements. *Nutrients*, 10(6), Article 742. <https://doi.org/10.3390/nu10060742>
 18. Творогова, А. А. (2021). Мороженое в России и СССР: Теория. Практика. Развитие технологий. СПб.: ИД «Профессия», 2021. — 249 с.
 19. Wilson, R. (2016). Developing food products for customers following a low sugar diet, including low sucrose, low fructose, and low lactose diets. Chapter in a book: *Developing Food Products for Consumers with Specific Dietary Needs*, 155–171. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100329-9.00008-6>
 20. Plaza-Diaz, J., Gil, A. (2016). Sucrose: dietary importance. Chapter in a book: *Encyclopedia of Food and Health*, 199–204. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00668-1>
 21. Zargaraan, A., Kamaliroosta, L., Seyed Yagoubi, A., Mirmoghtadaie, L. (2016). Effect of substitution of sugar by high fructose corn syrup on the physicochemical properties of bakery and dairy products: A Review. *Nutrition and Food Sciences Research*, 3, 3–11. <https://doi.org/10.18869/acadpub.nfsr.3.4.3>
 22. Klurfeld, D. (2016). Fructose: Sources, Metabolism, and Health. Chapter in a book: *Encyclopedia of Food and Health*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00332-9>
 23. Yilsay, T. Ö., Yilmaz, L., Bayazit, A. A. (2005). The effect of using a whey protein fat replacer on textural and sensory characteristics of low-fat vanilla ice cream. *European Food Research and Technology*, 222(1–2), 171–175. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0018-x>
 24. Azari-Anpar, M., Khomeiri, M., Ghafouri-Oskuei, H., Aghajani, N. (2017). Response surface optimization of low-fat ice cream production by using resistant starch and maltodextrin as a fat replacing agent. *Journal of Food Science and Technology*, 54(5), 1175–1183. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2492-0>
 25. García-Segovia, P., Iborra-Bernad, C., Andrés-Bello, A., González-Carrasco, R., Barreto-Palacios, V., Bretón-Prats, J. et al. (2013). Replacing sugar in ice cream: Fruit up® as a substitute. *Journal of Culinary Science and Technology*, 11(2), 155–164. <https://doi.org/10.1080/15428052.2013.769865>
 26. Pon, S. Y. Lee, W. J., hean Chong, G. (2015). Textural and rheological properties of stevia ice cream. *International Food Research Journal*, 22(4), 1544–1549.
 27. Mayangsari, A. S., Wahyuni, L. S., Evanuarini, H., Purwadi, P. (2019). Characteristic ice cream using stevia (stevia rebaudiana) leaf powder as natural sweetener. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 7(2), 600–606. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.7.2.29>
 28. Khan, S., Rustagi, S., Choudhary, S., Pandey, A., Khan, M. K., Kumari, A., Singh, A. (2018). Sucralose and maltodextrin — An alternative to low fat sugar free ice-cream. *Bioscience Biotechnology Research Communications*, 11(1), 136–143. <https://doi.org/10.21786/bbr/11.1/19>
 29. Ozdemir, C., Arslaner, A., Ozdemir, S., Allahyari, M. (2015). The production of ice cream using stevia as a sweetener. *Journal of Food Science and Technology*, 52(11), 7545–7548. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1784-5>
 30. Isik, U., Boyacioglu, D., Capanoglu, E., Nilufer Erdil, D. (2011). Frozen yogurt with added inulin and isomalt. *Journal of Dairy Science*, 94(4), 1647–1656. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3280>
 31. Saraiva, A., Carrascosa, C., Raheem, D., Ramos, F., Raposo, A. (2020). Maltitol: Analytical determination methods, applications in the food industry, metabolism and health impacts. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 1–28. <https://doi.org/10.3390/ijerph17145227>
 32. Whelan, A. P., Vega, C., Kerry, J. P., Goff, H. D. (2008). Physicochemical and sensory optimisation of a low glycemic index ice cream formulation. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(9), 1520–1527. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01502.x>
 33. Richards, A. B., Krakowka, S., Dexter, L. B., Schmid, H., Wolterbeek, A. P. M., Waalkens-Berendsen, D. H. et al. (2002). Trehalose: A review of properties, history of use and human tolerance, and results of multiple safety studies. *Food and Chemical Toxicology*, 40(7), 871–898. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(02\)00011-X](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(02)00011-X)
 34. Moriano, M. E., Alamprese, C. (2017). Honey, trehalose and erythritol as sucrose- alternative sweeteners for artisanal ice cream. A pilot study. *LWT- Food Science and Technology*, 75, 329–334. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.057>
 35. Tvorogova, A.A., Landikhovskaya, A. V., Kazakova, N. V., Zakirova, R. R., Pivtsaeva, M. M. (26–29 February, 2020). *Scientific and practical aspects of trehalose contain in ice cream without sucrose*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials, Voronezh, Russian Federation, 640, 052017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/5/052017>
 36. Ландиховская, А.В., Творогова, А.А., Казакова Н. В., Гурский И. А. (2020). Влияние трегалозы на дисперсность кристаллов льда и консистенцию низкожирного мороженого. *Техника и технология пищевых производств*, 50(3), 450–459. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-450-459>
 37. BeMiller, J. N. (2019). Oligosaccharides. Chapter in a book: *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*, 49–74. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812069-9.00003-0>
 38. Abbasi, S., Saeedabadian, A. (2015). Influences of lactose hydrolysis of milk and sugar reduction on some physical properties of ice cream. *Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 367–374. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1011-1>
 39. Hashim, I. B., Al Shamsi, K.S. (2016). Physicochemical and sensory properties of ice-cream sweetened with date syrup. *MOJ Food Processing & Technology* 2(3), 91–95. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2016.02.00038>
 40. Sun-Waterhouse, D., Edmonds, L., Wadhwa, S. S., Wibisono, R. (2013). Producing ice cream using a substantial amount of juice from kiwifruit with green, gold or red flesh. *Food Research International*, 50(2), 647–656. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.030>
 41. Burity, F. C.A., Bedani, R., Saad, S. M. I. (2016). Probiotic and prebiotic dairy desserts. Chapter in a book: *Probiotics, Prebiotics, and Synbiotic*. 345–360. Akademik Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802189-7.00023-X>
 42. Arslaner, A., Ali Sahik, M. (2020). Functional ice cream technology. *Akademik Gida*, 18, 180–189. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.758835>
 43. López-Martínez, M.I., Moreno-Fernández, S., Miguel, M. (2021). Development of functional ice cream with egg white hydrolysates. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, Article 100334. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100334> (unpublished data)
 44. Di Criscio, T., Fratianni, A., Mignogna, R., Cinquanta, L., Coppola, R., Sorrentino, E., Panfilì, G. (2010). Production of functional probiotic, prebiotic, and synbiotic ice creams. *Journal of Dairy Science*, 93(10), 4555–4564. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-335>
 45. Kanta, A., Soukoulis, C., Tzia, C. (2018). Eliciting the sensory modalities of fat reformulated Yoghurt ice cream using oligosaccharides. *Food and Bioprocess Technology*, 11(4), 885–900. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2064-y>
 46. Cruz, A. G., Antunes, A. E. C., Sousa, A. L. O. P., Faria, J. A. F., Saad, S. M. I. (2009). Ice-cream as a probiotic food carrier. *Food Research International*, 42(9), 1233–1239. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.020>
 47. Ayar, A., Siçramaz, H., Öztürk, S., Öztürk Yilmaz, S. (2017). Probiotic properties of ice creams produced with dietary fibres from by-products of the food industry. *International Journal of Dairy Technology*, 71(1), 174–182. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12387>
 48. Akalin, A. S., Kesenas, H., Dinkci, N., Unal, G., Ozer, E., Kinik, O. (2018). Enrichment of probiotic ice cream with different dietary fibers: Structural characteristics and culture viability. *Journal of Dairy Science*, 101(1), 37–46. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13468>
 49. Davidson, R. H., Duncan, S. E., Hackney, C. R., Eigel, W. N., Boling, J. W. (2000) Probiotic culture survival and implications in fermented frozen yogurt characteristics. *Journal of Dairy Science*, 83(4), 666–673. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74927-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74927-7)
 50. Balthazar, C. F., Silva, H. L. A., Cavalcanti, R. N., Esmerino, E. A., Capato, L. P., Abud, Y. K. D. et al. (2017). Prebiotics addition in sheep milk ice cream: A rheological, microstructural and sensory study. *Journal of Functional Foods*, 35, 564–573. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.06.004>
 51. McGhee, C. E., Jones, J. O., Park, Y. W. (2015). Evaluation of textural and sensory characteristics of three types of low-fat goat milk ice cream. *Small Ruminant Research*, 123(2–3), 293–300. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.12.002>
 52. Senaka Ranadheera, C., Evans, C. A., Adams, M. C., Baines, S. K. (2013). Production of probiotic ice cream from goat's milk and effect of packaging materials on product quality. *Small Ruminant Research*, 112(1–3), 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.12.020>
 53. Başyigit, G., Kuleaşan, H., Karahan, A. G. (2006). Viability of human-derived probiotic lactobacilli in ice cream produced with sucrose and aspartame. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 33(9), 796–800. <https://doi.org/10.1007/s10295-006-0128-x>
 54. Goff, H. D. (2013). Fibre-enriched dairy products. Chapter in a book: *Fibre-Rich and Wholegrain Foods*, 311–328. <https://doi.org/10.1533/9780857095787.4.311>

55. Dervisoglu, M., Yazici, F. (2006). Note. The effect of citrus fibre on the physical, chemical and sensory properties of ice cream. *Food Science and Technology International*, 12(2), 159–164. <https://doi.org/10.1177/1082013206064005>

56. Akbari, M., Eskandari, M. H., Niakosari, M., Bedeltavana, A. (2016). The effect of inulin on the physicochemical properties and sensory attributes of low-fat ice cream. *International Dairy Journal*, 57, 52–55. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.02.040>

57. Goff, H. D. (2016). Milk proteins in ice cream. Chapter in a book: *Advanced Dairy Chemistry*, 329–345. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2800-2_13

58. Devaraj, S. (2015). High-protein frozen desserts. *Journal of Renal Nutrition*, 25(4), e23–e29. <https://doi.org/10.1053/j.jrn.2015.04.001>

59. Patel, M. R., Baer, R. J., Acharya, M. R. (2006). Increasing the protein content of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 89(5), 1400–1406. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(06\)72208-1](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(06)72208-1)

60. Aboulfazli, F., Baba, A. S., Misran, M. (2014). Effect of vegetable milks on the physical and rheological properties of ice cream.

Food Science and Technology Research, 20(5), 987–996. <https://doi.org/10.3136/fstr.20.987>

61. Shrestha, M., Maskey, B. (2018). Effects of soymilk and milk solid not fat on soy ice cream quality. *Himalayan Journal of Science and Technology*, 2, 41–47. <https://doi.org/10.3126/hjost.v2i0.25842>

62. Heenan, C. N., Adams, M. C., Hosken, R. W., Fleet, G. H. (2004). Survival and sensory acceptability of probiotic microorganisms in a nonfermented frozen vegetarian dessert. *LWT – Food Science and Technology*, 37(4), 461–466. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.11.001>

63. Danesh, E., Goudarzi, M., Jooyandeh, H. (2017). Short communication: Effect of whey protein addition and transglutaminase treatment on the physical and sensory properties of reduced-fat ice cream. *Journal of Dairy Science*, 100(7), 5206–5211. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12537>

64. Kasprzyk, I., Markowska, J., Polak, E. (2016). Effect of microbial transglutaminase on ice cream heat resistance Properties – a short report. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 66(3), 227–231. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2015-0037>

REFERENCES

1. Goff, H. D., Griffiths, M. W. (2006). Major advances in fresh milk and milk products: Fluid milk products and frozen desserts. *Journal of Dairy Science*, 89(4), 1163–1175. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72185-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72185-3)

2. TR CU033/2013 Technical Regulations of the Customs Union “On safety of milk and dairy products”, Decision of the Council of the Eurasian economic Commission of October 9, 2013, No. 67. Moscow, 2013. (In Russian)

3. Goff, H. D. (2019). The structure and properties of ice cream and frozen desserts. Chapter in a book: *Encyclopedia of Food Chemistry*, 47–54. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.21703-4>

4. Euroglaces, 2013. Code for Edible Ices. European Ice Cream Association, Brussels. Retrieved from <https://www.euroglaces.eu/code-edible-ices/> Accessed May 4, 2021

5. Regulation (EC) No. 1333/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on food additives. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008R1333/> Accessed May 4, 2021

6. Goff, H. D. (2016). Ice cream and frozen desserts: Manufacture. Chapter in a book: *Reference Module in Food Science*, 899–904. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.00832-5>

7. Philp, K. (2018). Polysaccharide ingredients. Chapter in a book: *Reference Module in Food Science*, 1–23. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.22367-6>

8. TR CU029/2012 Technical Regulations of the Customs Union “Safety requirements for food additives, flavorings and process aids”, Decision of the Council of the Eurasian economic Commission of June 20, 2012, No. 58. Moscow, 2012. (In Russian)

9. Hartel, R. W., Rankin, S. A., Bradley, R. L. (2017). A 100-year Review: Milestones in the development of frozen desserts. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10014–10025. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13278>

10. Deosarkar, S. S., Kalyankar, S. D., Pawshe, R. D., Khedkar, C. D. (2016). Ice cream: composition and health effects. Chapter in a book: *Encyclopedia of Food and Health*, 385–390. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384947-2.00385-8>

11. Deosarkar, S. S., Khedkar, C. D., Kalyankar, S. D., Sarode, A. R. (2016). Ice cream: uses and method of manufacture. Chapter in a book: *Encyclopedia of Food and Health*, 391–397. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384947-2.00384-6>

12. Bolliger, S., Goff, H., Tharp, B. (2000). Correlation between colloidal properties of ice cream mix and ice cream. *International Dairy Journal*, 10(4), 303–309. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(00\)00044-3](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(00)00044-3)

13. Daniel, J. R., Vidovic, N. (2018). Carbohydrates, role in human nutrition. Chapter in a book: *Reference Module in Food Science*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.02927-9>

14. Hinde, S. (2019). Understanding the role of carbohydrates in optimal nutrition. *Nursing Standard (Royal College of Nursing (Great Britain): 1987)*, 34(8), 76–82. <https://doi.org/10.7748/ns.2019.e11323>

15. McCain, H. R., Kaliappan, S., Drake, M. A. (2018). Invited review: Sugar reduction in dairy products. *Journal of Dairy Science*, 101(10), 8619–8640. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14347>

16. Di Monaco, R., Miele, N. A., Cabisidan, E. K., Cavella, S. (2018). Strategies to reduce sugars in food. *Current Opinion in Food Science*, 19, 92–97. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.03.008>

17. Kokkinidou, S., Peterson, D., Bloch, T., Bronston, A. (2018). The important role of carbohydrates in the flavor, function, and formulation of oral nutritional supplements. *Nutrients*, 10(6), Article 742. <https://doi.org/10.3390/nu10060742>

18. Tvorogova, A. A. (2021). Ice cream in Russia and the USSR: Theory. Practice. Technology development. Saint-Petersburg: Profession, 2021. — 249 p. (in Russian)

19. Wilson, R. (2016). Developing food products for customers following a low sugar diet, including low sucrose, low fructose, and low lactose diets. Chapter in a book: *Developing Food Products for Consumers with Specific Dietary Needs*, 155–171. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100329-9.00008-6>

20. Plaza-Diaz, J., Gil, A. (2016). Sucrose: dietary importance. Chapter in a book: *Encyclopedia of Food and Health*, 199–204. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00668-1>

21. Zargaraan, A., Kamaliroosta, L., Seyed Yagoubi, A., Mirmoghtadaie, L. (2016). Effect of substitution of sugar by high fructose corn syrup on the physicochemical properties of bakery and dairy products: A Review. *Nutrition and Food Sciences Research*, 3, 3–11. <https://doi.org/10.18869/acadpub.nfsr.3.4.3>

22. Klurfeld, D. (2016). Fructose: Sources, Metabolism, and Health. Chapter in a book: *Encyclopedia of Food and Health*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00332-9>

23. Yilsay, T. Ö., Yilmaz, L., Bayazit, A. A. (2005). The effect of using a whey protein fat replacer on textural and sensory characteristics of low-fat vanilla ice cream. *European Food Research and Technology*, 222(1–2), 171–175. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0018-x>

24. Azari-Anpar, M., Khomeiri, M., Ghafouri-Oskuei, H., Aghajani, N. (2017). Response surface optimization of low-fat ice cream production by using resistant starch and maltodextrin as a fat replacing agent. *Journal of Food Science and Technology*, 54(5), 1175–1183. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2492-0>

25. García-Segovia, P., Iborra-Bernad, C., Andrés-Bello, A., González-Carrasco, R., Barreto-Palacios, V., Bretón-Prats, J. et al. (2013). Replacing sugar in ice cream: Fruit up® as a substitute. *Journal of Culinary Science and Technology*, 11(2), 155–164. <https://doi.org/10.1080/15428052.2013.769865>

26. Pon, S. Y. Lee, W. J., hean Chong, G. (2015). Textural and rheological properties of stevia ice cream. *International Food Research Journal*, 22(4), 1544–1549.

27. Mayangsari, A. S., Wahyuni, L. S., Evanuarini, H., Purwadi, P. (2019). Characteristic ice cream using stevia (stevia rebaudiana) leaf powder as natural sweetener. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 7(2), 600–606. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.7.2.29>

28. Khan, S., Rustagi, S., Choudhary, S., Pandey, A., Khan, M. K., Kumari, A., Singh, A. (2018). Sucralose and maltodextrin – An alternative to low fat sugar free ice-cream. *Bioscience Biotechnology Research Communications*, 11(1), 136–143. <https://doi.org/10.21786/bbrc/11.1/19>

29. Ozdemir, C., Arslaner, A., Ozdemir, S., Allahyari, M. (2015). The production of ice cream using stevia as a substitute. *Journal of Food Science and Technology*, 52(11), 7545–7548. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1784-5>

30. Isik, U., Boyacioglu, D., Capanoglu, E., Nilufer Erdil, D. (2011). Frozen yogurt with added inulin and isomalt. *Journal of Dairy Science*, 94(4), 1647–1656. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3280>

31. Saraiva, A., Carrascosa, C., Raheem, D., Ramos, F., Raposo, A. (2020). Maltitol: Analytical determination methods, applications in the food industry, metabolism and health impacts. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 1–28. <https://doi.org/10.3390/ijerph17145227>

32. Whelan, A. P., Vega, C., Kerry, J. P., Goff, H. D. (2008). Physicochemical and sensory optimisation of a low glycemic index ice cream formulation. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(9), 1520–1527. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01502.x>

33. Richards, A. B., Krakowka, S., Dexter, L. B., Schmid, H., Wolterbeek, A. P. M., Waalkens-Berendsen, D. H. et al. (2002). Trehalose: A review of properties, history of use and human tolerance, and results of multiple safety studies. *Food and Chemical Toxicology*, 40(7), 871–898. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(02\)00011-X](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(02)00011-X)

34. Moriano, M. E., Alamprese, C. (2017). Honey, trehalose and erythritol as sucrose- alternative sweeteners for artisanal ice cream. A pilot study. *LWT- Food Science and Technology*, 75, 329–334. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.057>

35. Tvorogova, A. A., Landikhovskaya, A. V., Kazakova, N. V., Zakirova, R. R., Pivtsaeva, M. M. (26–29 February, 2020). *Scientific and practical aspects of trehalose contain in ice cream without sucrose*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials, Voronezh, Russian Federation, 640, 052017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/5/052017>

36. Landikhovskaya, A. V., Tvorogova, A. A., Kazakova, N. V., Gursky I. A. (2020). The effect of trehalose on dispersion of ice crystals and consistency of low-fat ice cream. *Food Processing: Techniques and Technology*, 50(3), 450–459. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-450-459> (in Russian)

37. BeMiller, J. N. (2019). Oligosaccharides. Chapter in a book: Carbohydrate Chemistry for Food Scientists, 49–74. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812069-9.00005-0>

38. Abbasi, S., Saeedabadian, A. (2015). Influences of lactose hydrolysis of milk and sugar reduction on some physical properties of ice cream. *Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 367–374. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1011-1>

39. Hashim, I. B., Al Shamsi, K.S. (2016). Physiochemical and sensory properties of ice-cream sweetened with date syrup. *MOJ Food Processing & Technology* 2(3), 91–95. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2016.02.00038>

40. Sun-Waterhouse, D., Edmonds, L., Wadhwa, S. S., Wibisono, R. (2013). Producing ice cream using a substantial amount of juice from kiwifruit with green, gold or red flesh. *Food Research International*, 50(2), 647–656. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.030>

41. Buriti, F. C.A., Bedani, R., Saad, S. M. I. (2016). Probiotic and prebiotic dairy desserts. Chapter in a book: Probiotics, Prebiotics, and Synbiotic. 345–360. Akademic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802189-7.00023-X>

42. Arslaner, A., Ali Salik, M. (2020). Functional ice cream technology. *Akademi Gıda*, 18, 180–189. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.758835>

43. López-Martínez, M.I., Moreno-Fernández, S., Miguel, M. (2021). Development of functional ice cream with egg white hydrolysates. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, Article 100334. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100334> (unpublished data)

44. Di Criscio, T., Fratianni, A., Mignogna, R., Cinquanta, L., Coppola, R., Sorrentino, E., Panfilì, G. (2010). Production of functional probiotic, prebiotic, and synbiotic ice creams. *Journal of Dairy Science*, 93(10), 4555–4564. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-335>

45. Kanta, A., Soukoulis, C., Tzia, C. (2018). Eliciting the sensory modalities of fat reformulated Yoghurt ice cream using oligosaccharides. *Food and Bioprocess Technology*, 11(4), 885–900. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2064-y>

46. Cruz, A. G., Antunes, A. E. C., Sousa, A. L. O. P., Faria, J. A. F., Saad, S. M. I. (2009). Ice-cream as a probiotic food carrier. *Food Research International*, 42(9), 1233–1239. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.03.020>

47. Ayar, A., Sıçramaz, H., Öztürk, S., Öztürk Yılmaz, S. (2017). Probiotic properties of ice creams produced with dietary fibres from by-products of the food industry. *International Journal of Dairy Technology*, 71(1), 174–182. <https://doi.org/10.1111/1471-0507.12387>

48. Akalin, A. S., Kesenar, H., Dinkci, N., Unal, G., Ozer, E., Kinik, O. (2018). Enrichment of probiotic ice cream with different dietary fibers: Structural characteristics and culture viability. *Journal of Dairy Science*, 101(1), 37–46. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13468>

49. Davidson, R. H., Duncan, S. E., Hackney, C. R., Eigel, W. N., Boling, J. W. (2000) Probiotic culture survival and implications in fermented frozen yogurt characteristics. *Journal of Dairy Science*, 83(4), 666–673. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74927-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74927-7)

50. Balthazar, C. F., Silva, H. L. A., Cavalcanti, R. N., Esmerino, E. A., Caprato, L. P., Abud, Y. K. D. et al. (2017). Prebiotics addition in sheep milk ice cream: A rheological, microstructural and sensory study. *Journal of Functional Foods*, 35, 564–573. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.06.004>

51. McGhee, C. E., Jones, J. O., Park, Y. W. (2015). Evaluation of textural and sensory characteristics of three types of low-fat goat milk ice cream. *Small Ruminant Research*, 123(2–3), 293–300. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.12.002>

52. Senaka Ranadheera, C., Evans, C. A., Adams, M. C., Baines, S. K. (2013). Production of probiotic ice cream from goat's milk and effect of packaging materials on product quality. *Small Ruminant Research*, 112(1–3), 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.12.020>

53. Başyigit, G., Kuleaşan, H., Karahan, A. G. (2006). Viability of human-derived probiotic lactobacilli in ice cream produced with sucrose and aspartame. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 33(9), 796–800. <https://doi.org/10.1007/s10295-006-0128-x>

54. Goff, H. D. (2013). Fibre-enriched dairy products. Chapter in a book: Fibre-Rich and Wholegrain Foods, 311–328. <https://doi.org/10.1533/9780857095787.4.311>

55. Dervisoglu, M., Yazici, F. (2006). Note. The effect of citrus fibre on the physical, chemical and sensory properties of ice cream. *Food Science and Technology International*, 12(2), 159–164. <https://doi.org/10.1177/1082013206064005>

56. Akbari, M., Eskandari, M. H., Niakosari, M., Bedeltavana, A. (2016). The effect of inulin on the physicochemical properties and sensory attributes of low-fat ice cream. *International Dairy Journal*, 57, 52–55. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.02.040>

57. Goff, H. D. (2016). Milk proteins in ice cream. Chapter in a book: Advanced Dairy Chemistry, 329–345. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2800-2_13

58. Devaraj, S. (2015). High-protein frozen desserts. *Journal of Renal Nutrition*, 25(4), e23–e29. <https://doi.org/10.1053/j.jrn.2015.04.001>

59. Patel, M. R., Baer, R. J., Acharya, M. R. (2006). Increasing the protein content of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 89(5), 1400–1406. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72208-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72208-1)

60. Aboulfazli, F., Baba, A. S., Misran, M. (2014). Effect of vegetable milks on the physical and rheological properties of ice cream. *Food Science and Technology Research*, 20(5), 987–996. <https://doi.org/10.3136/fstr.20.987>

61. Shrestha, M., Maskey, B. (2018). Effects of soymilk and milk solid not fat on soy ice cream quality. *Himalayan Journal of Science and Technology*. 2, 41–47. <https://doi.org/10.3126/hijost.v2i0.25842>

62. Heenan, C. N., Adams, M. C., Hosken, R. W., Fleet, G. H. (2004). Survival and sensory acceptability of probiotic microorganisms in a nonfermented frozen vegetarian dessert. *LWT – Food Science and Technology*, 37(4), 461–466. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.11.001>

63. Danesh, E., Goudarzi, M., Jooyandeh, H. (2017). Short communication: Effect of whey protein addition and transglutaminase treatment on the physical and sensory properties of reduced-fat ice cream. *Journal of Dairy Science*, 100(7), 5206–5211. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12537>

64. Kasprzyk, I., Markowska, J., Polak, E. (2016). Effect of microbial transglutaminase on ice cream heat resistance Properties – a short report. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 66(3), 227–231. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2015-0037>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Ланди́ховская Анна Валенти́новна — аспирант, младший научный сотрудник, лаборатория технологии мороженого, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 109316, г. Москва, ул. Костякова, д. 12 Тел.: +7-499-976-09-63 E-mail: anna.landih@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5881-2309 * автор для контактов	Anna V. Landikhovskaya — Postgraduate Student, Junior Researcher, Ice cream technology laboratory, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12 Kostyakova str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7-499-976-09-63 E-mail: anna.landih@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5881-2309 * corresponding author
Творогова Антонина Анатольевна — доктор технических наук, доцент, исполняющий обязанности директора, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 109316, г. Москва, ул. Костякова, д. 12 Тел.: +7-499-976-09-63 E-mail: antvogova@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7293-9162	Antonina A. Tvorogova — doctor of technical sciences, docent, acting Director, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry Tel.: +7-499-976-09-63 E-mail: antvogova@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7293-9162
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	The authors declare no conflict of interest

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-82-88>

Received 05.04.2021

Accepted in revised 27.05.2021

Accepted for publication 10.06.2021



Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

FUNCTIONAL STRAWBERRY AND RED BEETROOT JELLY CANDIES RICH IN FIBERS AND PHENOLIC COMPOUNDS

Marwa R. Ali*, Reda M. Mohamed, Tarek G. Abdelmaksoud

Cairo University, Giza, Egypt

KEY WORDS:

antioxidant, fibers, sensory properties, physicochemical profiles, bioactive compounds, color values, texture analysis

ABSTRACT

Jelly candies have a poor nutritional value due to their primary ingredients, which include gelling agents and sugar. In comparison to commercial jelly candy, the aim of this study is developing a natural and healthy jelly candy using fresh fruit comparing with commercials. Three types of jelly candies were prepared (T1: 75% strawberry + 25% beetroot; T2: 50% strawberry + 50% beetroot; T3: 25% strawberry + 75% beetroot). Physico-chemical, phytochemical, microbial, and sensorial profiles of jelly candy were evaluated. The results showed the superior recipe was T1, which recorded the highest values of bioactive compound content. Therefore, it also had the highest antioxidant activity 52.55%. Otherwise, T2 was considered the most favorable recipe for sensory evaluation, which recorded the highest value of overall acceptability and other sensory properties. Decreasing moisture content in all treatments compared with control had a great effect of preventing microbial growth in all samples except control. Therefore, this study creates a new healthier alternative product with the same sensory parameters of commercial jelly candy for all consumer types, especially children.

ACKNOWLEDGMENT: All authors are thankful to the Food Science Department and Food Processing Technology Program at the Faculty of Agriculture, Cairo University, Egypt for helping them for conducting a few practical experiments in their laboratories.

Поступила 05.04.2021

Поступила после рецензирования 27.05.2021

Принята в печать 10.06.2021

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАРМЕЛАДНЫЕ КОНФЕТЫ ИЗ КЛУБНИКИ И КРАСНОЙ СВЕКЛЫ, ОБОГАЩЕННЫЕ КЛЕТЧАТКОЙ И ФЕНОЛЬНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

Али М. Р.*, Мохамед Р. М., Абедельмаксуд Т. Г.

Каирский Университет, Гиза, Египет

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

антиоксидант, клетчатка, сенсорные свойства, физико-химические профили, биоактивные соединения, цветовые характеристики, анализ консистенции

АННОТАЦИЯ

Целью данного исследования является создание натуральной и полезной для здоровья железной конфеты из свежих фруктов по сравнению с обычными промышленными образцами подобной продукции. В рамках исследования были приготовлены три вида мармеладных конфет (T1: 75% клубники + 25% свеклы; T2: 50% клубники + 50% свеклы; T3: 25% клубники + 75% свеклы). Произведена оценка физико-химических, фитохимических, микробных и органолептических профилей мармеладных конфет. Определено что рецепт T1 показал самые высокие значения содержания биологически активных соединений и самую высокую антиоксидантную активность — 52,55%. Экспериментально подтверждено что, образец T2 стал наиболее благоприятным рецептом в плане органолептических свойств, данный образец наиболее соответствовал требуемым параметрам и благоприятные органолептические свойства. Доказано, что уменьшение содержания влаги во всех вариантах экспериментальных образцов по сравнению с контрольным оказало сильное влияние на предотвращение роста микробов во всех образцах, кроме контрольного. Таким образом, данное исследование позволяет создать новый, более здоровый, альтернативный продукт питания с теми же органолептическими параметрами, что и у промышленно производимых мармеладных конфет для всех категорий потребителей, и в частности для детей.

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ: Авторы благодарны отделу пищевых наук и программе технологий пищевой промышленности сельскохозяйственного факультета Каирского университета, Египет, за помощь в проведении практических экспериментов в лабораториях.

1. Introduction

Recently, not only nutrition experts but also consumers have no doubt that there is a close relationship between health and daily used food [1]. The market of confectionery products such as hard, soft, jelly candy and nougat is growing daily due to low price and high organoleptic indicators and that increases the amount daily consumption of candy all over the world [2]. Jelly candy was consumed at a high rate, which can negatively affect

health, especially in children. The negative effect of this type of sweets may be due to the formation of contaminants during processing using heat treatment such as acrylamide and 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde. Also, using artificial flavoring and coloring agents [3,4,5].

Moreover, gummy candies are low nutritional value products because the main components of them are gelling agents such as gelatin, pectin, guar gum, xanthan gum, carrageenan, starch and

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Али, М.Р., Мохамед, Р.М., Абедельмаксуд, Т.Г. (2021). Функциональные мармеладные конфеты из клубники и красной свеклы, обогащенные клетчаткой и фенольными соединениями. *Пищевые системы*, 4(1), 12–18. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-82-88>

FOR CITATION: Ali, M.R., Mohamed, R.M., Abdelmaksoud, T.G. (2021). Functional strawberry and red beetroot jelly candies rich in fibers and phenolic compounds. *Food systems*, 4(2), 12–18. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-82-88>

their derivatives. Gelatin is the main gelling agent for this type of candy [6]. sugar is the second main component of jelly candy (sucrose, dextrose and glucose or fructose syrups) and the mixture is boiling at high temperatures, then flavoring and coloring agents were added [7].

A few studies were focused on the production of functional jelly candies using fruit and vegetable, their wastes, or plant extracts. Mamatha and Prakash [8] prepared candies of tamarind (*Tamarindus indica*) fortified with iron for defeated the deficiency of anemia in young adults and children. Also, Muzzaffar et al. [9] processed pumpkin candy as an effective method for preservation and delaying loss of pumpkin bioactive compounds. Also, Kumar et al. [10] appeared the ability to utilization of beetroot pomace extract riches in phytochemicals to improve ginger candy. Recently, Krolevets et al. [11] explained the ability to use nanostructured motherwort extract as one of the fruit jelly candy ingredients which could be used as a therapeutic functional food.

Fresh or processed strawberries are economically and commercially relevant and widely consumed, such as jam, juice, and jelly. Recently strawberry is considered as one of the functional food that provides several health benefits outside basic nutrition as substantiated by growing proof of its antioxidant, anti-inflammatory, anti-hyperlipidemic, anti-hypertensive or anti-proliferative activity [12]. Strawberry’s antioxidant qualities were mostly due to their amount of polyphenols and vitamins i. e. ascorbic acid, anthocyanins, and ellagitannins [13]. Strawberries have a unique combination of several nutrients, phytochemicals, and fiber that plays a synergistic function in characterizing them as functional foods [14,15].

Red beetroot is one of the healthy developing functional food [16]. Recently, beetroot has been driven primarily by the finding that dietary nitrate sources may have significant implications for cardiovascular health management [17]. Beetroot is rich in numerous phytochemical profiles that could have many health benefits, mainly for chronic inflammatory disorders. Consequently, in several clinical cases, the important function of beetroot as an alternative therapy [18].

Generally, food rich in fiber have a low glycemic index (GI). Low Glycemic index food with high fiber content has several benefits such as, lower postprandial glucose and insulin responses, improving lipid profile, and possibly reducing insulin resistance. Also, epidemiologic studies reported that the daily diet of normal persons (nondiabetic), based on carbohydrate-rich food with high fiber content and low GI may protect them from several diseases like diabetes mellitus and cardiovascular disease.

Therefore, the study aimed to produce healthy nutritional jelly candy for the new generation. Fortification jelly candy with natural fruit (strawberry and red beetroot) as a source of vitamins, minerals, phytochemicals and fibers 3) Evaluation of physical, chemical, phytochemical, microbiological, and sensorial properties of the final product.

2. Materials and methods

2.1. Materials and chemicals

The full ripe strawberry fruit (*Fragaria ananassa*), red beetroot (*Beta vulgaris L.*) “The samples were authenticated by Pros. Mohamed El-mogy, Vegetable Crop Department, Faculty of Agriculture, Cairo University, Egypt”, sugar and polypropylene packages were purchased from a local market, Giza, Egypt. Gelatin, Meta phosphoric acid, citric acid, Anthrone reagent, Folin-Ciocalteu, 2,2-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) and Gallic acid standard were purchased from Sigma Aldrich Chemical Co. (St. Louis, Mo, USA). Total plate count agar and Potato dextrose agar media were obtained from Merck (Darmstadt, Germany).

2.2. Preparation of fruit jelly candy

The preparation steps of fruit jelly candy samples were conducted in the laboratory with different concentrations. The formulas were applied to process jelly candies are presented in Table 1. The fruit (strawberry and red beetroot) were washed and the beetroot was blanched at 100 °C/30 min for softening the pulp and to be easily peeled. The beetroot pulp and strawberry fruit were crushed in a homogenizer, and then seeds and fibers were removed by filtration. The gelatin was soaked in a sufficient amount of water for 5 min then dissolved at 70 °C for 5 min in a water bath. The control sample was processed by preparation a sugar solution then the citric acid, gelatin, coloring and flavoring agents were added. They were manually stirred for 20 min. The optimum cooking temperature was maintained to 110 °C. For the preparation of fortified jelly candies, three types of jelly candies were prepared using either strawberry or beetroot in different concentrations (T1: contains 75% strawberry + 25% beetroot; T2: contains 50% strawberry + 50% beetroot; T3: contains 25% strawberry + 75% beetroot). The previous steps were used for the preparation of fortified candies, the sugar was added to the fruit and cooked for 5 min. The citric acid and gelatin were added and completely cooked at 110 °C for 20 min. The endpoint of cooking was identified using a hand refractometer for measuring the concentration of total soluble solids (TSS) which ranged from 61 to 66%. The final product was molded into a silicone mold (2 × 1.5 × 1 cm) and kept in a refrigerator at 4 °C for 6 h. The jelly candy was then un-molded and was packed in polypropylene pouches and stored at 4 °C until further analysis.

Table 1

The formula of commercial jelly candy (control) and fortified jelly candy with strawberry and red beetroot

Samples	Strawberry (g)	Beetroot (g)	Gelatine (g)	Sugar (g)	Water (ml)
Control	—	—	35	80	40
T1	75	25	35	75	10
T2	50	50	35	75	10
T3	25	75	35	75	10

T1:75% strawberry + 25% beetroot; T2: 50% strawberry + 50% beetroot; T3: 25% strawberry + 75% beetroot. Citric acid was added in 2% per kg of sugar. One ml of coloring and flavoring agents were added to control sample only (Kumar et al., [8]).

2.3. Physico-chemical analysis

Total soluble solids (TSS) and pH values of fruit pulp and jelly candy samples were measured according to the standard methods [19]. Five grams of candy samples were weighted and homogenized in distilled water (50 ml), then the pH was measured using a pH meter at room temperature (Orion Research Incorporated, Boston, USA).

Proximate composition (moisture, ash, and fiber contents) of fruit jelly candies were determined according to AOAC (2016) [19]. The total sugar of jelly candy was determined by the Anthrone method. The reaction was carried out as follow: 2.5 g of samples were homogenized in 50 ml methanol and was filtrated (using filter paper NO.1), one ml of the extract with 2 ml of Anthrone reagent was mixed and was left at room temperature for 15 min, and then the absorbance was measured using a spectrophotometer (model UV-2401 PC, Shimadzu, Milano, Italia) at 630 nm. Glucose was used as a standard [20].

The fruit jelly candy’s color parameters (L^* , a^* , b^* , and ΔE) were measured by the Minolta colorimeter (Model CR-400, Konica Minolta, INC, Tokyo, Japan). The L^* value represents the lightness. The a^* value represents redness (with + values) and greenness (with – values). The b^* value represents yellowness (with + values) and blueness (with – values), and ΔE (total color differences) were measured using methods described

by Abdelmaksoud et al. [21]. ΔE was calculated using the next equation:

$$\Delta E = \sqrt{(L_o - L^*)^2 + (b_o - b^*)^2 + (a_o - a^*)^2}$$

ΔE , where subscript “o” refers to the color reading of the control sample used as the reference and a high ΔE value indicates a large change in the color from the reference sample

The fruit jelly candy texture analysis was conducted using a Universal testing machine (Cometech, type B, Taiwan) fitted with an SMS5 cylinder probe (35 mm) to evaluate texture. Texture analysis conditions (at ambient temperature) were as follows: pretest speed was 2 mm/s, test speed was 1 mm/s, post-test speed was 1 mm/s, the distance between probe and sample was 10 mm, trigger force was 5 g and the delay between two compressions was 2s [22]. The hardness was recorded by Newton (N).

2.4. Determination of phytochemical profiles

The total phenolic content (TPC) of fruit pulp and fruit jelly candies was determined according to El-Mogy et al., [23] with some modifications using Folin-Ciocalteu reagent with Gallic acid as standard. For extraction, 2 g of candies were homogenized in 20 ml methanol (80%) and was stirred using a magnetic stirrer for 1 h. The extract was filtered through filter paper (Whatman No.1) to obtain a clear solution, 0.1 mL of extract was mixed with 0.5 mL of Folin-Ciocalteu reagent, stand for 5 min and then 1.5 mL sodium carbonate (7.5%w/v) was added. The mixture was diluted to 10 mL with distilled water and kept in the dark at room temperature for 1 h. The absorbance was measured at 765 nm with a spectrophotometer (model UV-2401 PC, Shimadzu, Milano, Italia). The results were expressed as Gallic acid equivalents in mg GAE/100 sample.

The ascorbic acid content of fruit pulp and fruit jelly candies was determined using a titrimetric method with 2, 6-dichlorophenol indophenol [24]. Five gram of candy samples were homogenized in 100 ml metaphosphoric acid (3%), and 10 ml of the extract was mixed with 25 ml acetone, then titrate with 2, 6-dichlorophenol indophenol (0.05 g/50 ml water and 42 mg of NaCO₃ was then the mixture with complete to 250 ml with distilled water) to pink color. The results of ascorbic acid content were expressed as mg/100 g of jelly fruit candy.

The antioxidant activity of jelly fruit candies was determined according to the method of Elsayed et al., [25]. Fruit candy samples (6 g) were homogenized in 75 mL of methanol and then filtered (Whatman No.1). After that, 0.2 ml of filtrate was mixed with 1 ml of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH 2.4 mg/ 100 ml methanol) and 3 ml of methanol. The mixture was kept in the dark at room temperature for 30 min. The absorbance was measured at 517 nm. The antioxidant activity was expressed as% of inhibition according to the following equation:

$$\text{Inhibition (\%)} = (A_{\text{control}} - A_{\text{sample}} / A_{\text{control}}) \times 100$$

where

A_{control} : the absorbance of the control;

A_{sample} : the absorbance of the sample.

2.5. Microbiological analysis

Fruit candy samples (10 g) were taken from each jelly candy and homogenized with saline solution (0.85% w/v) sodium chloride to have a final dilution of 10⁻¹ in a Lab-Blender for 5 min. Serial decimal dilutions were made using the same diluent and then plated in duplicate for bacterial counts. Total count was determined on nutrient agar after 48 h incubation at 30 °C. Mold and yeast counts were determined on acidified potato dextrose agar after incubation at 28 °C for 5 days [26].

2.6. Sensory analysis

Sensory properties such as color, taste, odor, sweetness, elasticity, biting, appearance, and overall acceptability were evaluated by 60 untrained panelists of the Food Science Depart-

ment, Faculty of Agriculture, Cairo University (35 females and 25 males, aged 20 to 40 y). A 9-point Hedonic scale was utilized for such purpose; the rejection limit is less than 5 [27]. The candy samples were served at room temperature in polypropylene packages.

The statistical analysis program used was SPSS v.22 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Duncan’s multiple comparison test at ($p \leq 0.05$) was used to compare means between treatments.

3. Results and discussions

3.1. Physicochemical profiles of jelly candies

The effect of fortification with strawberry and red beetroot pulp on the physicochemical profiles of jelly candy samples are presented in Table 2. A significant increase ($P \leq 0.05$) in TSS of different jelly candy samples compared to the control sample. The control sample recorded the lowest concentration (61%), meanwhile, T1 recorded the highest concentration (66%). Due to the effect of using different percentages of fruit pulp (which has differences between them in total soluble solid content), which the TSS recorded 6.5% in ripe strawberry and 5.5% in blanched beetroot. The obtained TSS results in Table 2 agreed with Kumar et al. [10] who noticed that the ginger candy’s TSS ranged from 63% to 69% due to the effect of using different concentrations of beetroot pomace extract in preparation.

The pH values of jelly candies were significantly decreased ($P \leq 0.05$) by the fruit fortification in different concentrations compared to the control sample. The control candy recorded the highest pH value (4.73) followed by T3, T2, and T1 which recorded the lowest pH value (3.52). This difference in pH values due to the acidity of the fruit, which comes mainly from citric acid. Therefore, the pH of the fruit was measured before candy preparation, which was 3.5 and 5.6 in ripe strawberry fruit and blanched red beetroot, respectively. In this respect, [3] reported that the hot mixing technique at 115 °C improved the titrable acidity and reduced the pH value of the honey jelly candies. Modifications of acidity and pH in honey jelly candies may be related to sugar acids induced by hexose oxidation at high temperatures, as it is reported that sugars turn to low acids in weakly acidic media at high temperatures.

The proximate composition of control candy and fruit candies was significantly different ($P \leq 0.05$), and that due to the change in the chemical composition of different types of incorporated fruits. Strawberry and red beetroot are a good source for ash and fiber contents, which led to an increase in the ash and fiber contents in T1, T2, and T3 compared to the control sample. Meanwhile, moisture and total sugar contents were significantly decreased in all samples compared to the control sample, which makes the fruit jelly candy healthier than the control sample.

In this respect, Giampieri et al. [28] reported the chemical composition of 100 g of ripe strawberry fruit contains 90.95% moisture, 0.40% ash, dietary fiber 2%, and 4.89% total sugar. Besides, the chemical composition of 100 g of red beetroot contains 87% moisture, 4.3% ash, dietary fiber 17%, and 24.95% total sugar [29, 30]. Several studies noticed that the jelly fruit candy contains high moisture content, Muzzaffar et al., [9] reported that the moisture content of fresh pumpkin candy was 20.1%; Mutlu et al., [3] mentioned that the moisture content of honey jelly candy was 23.38%. This explained that high sugar concentration in jelly candy makes a colligative effect and gelatin water absorbance capacity Mutlu et al., [3]. The total sugar was decreased in fruit jelly candies comparing to control candy, because of using a large amount of sugar in the processing of control candy than fruit jelly candy to reach acceptable taste and a prorate TSS. Also, there was a significant difference ($P \leq 0.05$) between the other fruit jelly candy due to the difference in sugar content of strawberry and red beetroot as mentioned before.

Table 2
Effect of fortification with strawberry and red beetroot on nutritional value and physico-chemical properties of jelly candy

Samples	Nutrients (g/100g)			Physico-chemical properties		
	Moisture	Ash	Fiber	Total sugar	TSS%	pH
Control	39.13 ^a ± 0.08	0.11 ^c ± 0.02	0.04 ^c ± 0.15	17.13 ^a ± 0.18	61 ^c ± 0.03	4.73 a ± 0.04
T1	36.56 ^b ± 0.34	0.77 ^b ± 0.01	1.02 ^a ± 0.15	13.56 ^d ± 0.21	63 ^b ± 0.01	3.52 d ± 0.06
T2	36.20 ^b ± 0.02	0.73 ^b ± 0.03	0.92 ^b ± 0.02	14.20 ^c ± 0.31	64 ^b ± 0.01	3.99 c ± 0.01
T3	34.15 ^c ± 0.03	0.95 ^a ± 0.02	0.90 ^b ± 0.01	15.15 ^b ± 0.04	66 ^a ± 0.02	4.50 b ± 0.01

T1: jelly candy contains 75% strawberry and 25% beetroot juice; T2: jelly candy contains 50% strawberry and 50% beetroot juice; T3: jelly candy contains with 25% strawberry and 75% beetroot juice. TSS of fruit pulp ranged from 6.5% in ripe strawberry and 4.5% in blanched red beetroot. The pH of fruit pulp ranged from 4.6 in ripe strawberry and 5.6 in blanched red beetroot. The experimental values (means and SD for n=3) with small letter are significantly different ($P \leq 0.05$).

3.2. Color values of jelly candies

A significant decrease in the color values (L^* , a^* , b^*) with decrease the strawberry content in all jelly candy samples (this is clear in T3, which has the lowest L^* , a^* , and b^* values). Also, a significant increase in the ΔE value compared to the control sample was observed (Table 3 and Figure 1). The ΔE values were 6.13, 9.41, and 12.57 for T1, T2, and T3 respectively, with the larger ΔE for the T3 sample indicating a larger color change (from the reference sample – control) compared to the T1 and T2. This decrease in color parameters or increase for the ΔE value compared to control may be due to the source of dye responsible for the red color in both strawberry and red beetroot. Also, the stability of pigments could affect the degradation rate of samples color. The betalains had low stability, which restricts their use. There are different factors affecting betalains' stability during processing such as temperature, oxygen pH, light, and food types. Regarding Jackman and Smith [30], the betalains are most stable at pH 5.5–5.8 in the presence of oxygen. Moreover, the betalains are degraded during processing at temperatures ranging from 50 °C to 120 °C [31]. The obtained results showed that the pH values of samples contain red beetroot was far from the stable pH range of betalains (3.99, 4.50 for T2 and T3, respectively), which make betalains easily degraded at processing temperature 120 °C. Meanwhile, Rababah et al., [32] reported that anthocyanin had more thermal stability at pH 3.0. This explanation agrees with the obtained results that indicated the pH of fruit after processing decreased from 4.90 to 3.52 in T1, which appeared a low change in color comparing with control, which contains synthetic color.

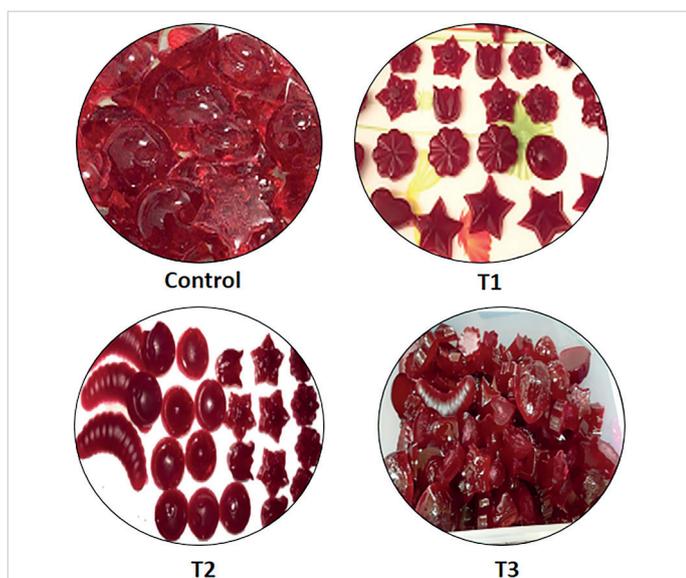


Figure 1. Effect of fortification jelly candy with strawberry and red beetroot on color.

T1: jelly candy contains 75% strawberry and 25% beetroot; T2: jelly candy contains 50% strawberry and 50% beetroot; T3: jelly candy contains 25% strawberry and 75% beetroot.

Table 3
Effect of fortification jelly candy with strawberry and red beetroot on color parameters

Samples	Color parameters			
	L^*	a^*	b^*	ΔE
Control	39.13 ^a ± 0.18	18.72 ^a ± 0.56	4.40 ^a ± 0.16	-
T1	36.56 ^b ± 0.21	13.58 ^b ± 0.41	2.26 ^b ± 0.12	6.13 ^c ± 0.24
T2	36.20 ^b ± 0.31	10.48 ^c ± 0.05	0.92 ^c ± 0.01	9.41 ^b ± 0.12
T3	34.15 ^c ± 0.04	7.91 ^d ± 0.21	0.35 ^d ± 0.01	12.57 ^a ± 0.08

T1: jelly candy contains 75% strawberry and 25% beetroot juice; T2: jelly candy contains 50% strawberry and 50% beetroot juice; T3: jelly candy contains with 25% strawberry and 75% beetroot juice. The experimental values (means and SD for n=3) with small letter are significantly different ($P \leq 0.05$).

3.3. Texture analysis of all jelly candies

The presented data in Figure 2 showed an increase in hardness value for all samples compared to the control sample. Hardness is the required force to give deformation for the material to be deformed before it ruptures [33]. The order of hardness values of all samples were T3 (31.66 N), T2 (28.09 N), T1 (25.37N), and control sample (24.04 N). Jelly candy contained a high amount of beetroot (T3: 75% beetroot) was found to be harder than the control sample. This increase in hardness values may be related to an increase in the fiber and TSS with a reduction of moisture contents of T1, T2, and T3 compared to the control sample. The obtained results are in agreement with Figiel and Tajner-Czopek [34] who reported that any rise of candy's moisture content within the range of 1.3–2.0% has been found to decrease all of the tested parameters such as hardness, maximum cutting, cohesiveness, elasticity, and chewiness. Besides, fiber combination had a reinforcing effect on the gel's viscoelastic properties. An increase in fiber addition decreased the viscoelastic properties of the gels [35]. Therefore, sample T3 recorded the highest value of hardness (31.66 N) because it was the lowest moisture content sample (34.20%) and high fiber content too (0.90 g/100 g).

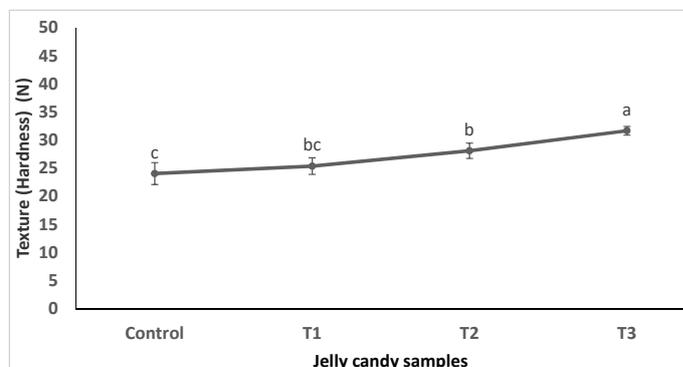


Figure 2. Effect of fortification jelly candy with strawberry and red beetroot on Hardness value.

T1: jelly candy contains 75% strawberry and 25% beetroot; T2: jelly candy contains 50% strawberry and 50% beetroot; T3: jelly candy contains 25% strawberry and 75% beetroot. The experimental values (means and SD for n=3) with small letter are significantly different ($P \leq 0.05$).

3.4. Phytochemical profile of all jelly candies

The influence of fortification with strawberry and red beetroot on the phytochemical profile was illustrated in Figure 3. The results showed a significant decrease ($P \leq 0.05$) in TPC, ascorbic acid, and antioxidant activity in all samples compared with the control sample. The T1 recorded the highest concentration of TPC (299.02 mg Gallic acid /100 g jelly fruit candy) and ascorbic acid (18.10 mg/100 g jelly fruit candy), therefore, it was also recorded the highest value of antioxidant activity (52.66%). Moreover, the order of the rest samples was T2, T3, which was explained due to the difference in bioactive compounds of used fruit concentration. Full ripe strawberry contains 850.13 mg Gallic acid /100 g fresh fruit TPC and 58.8 mg/100g ascorbic acid. Meanwhile, the blanched red beetroot contains 238 mg Gallic acid /100 g fruit TPC and 33.9 mg/ 100 g ascorbic acid. In this regard, Muzzaffar et al., [9] reported that pumpkin fresh candy contains 40 mg GAE/300µL candy extract, 9.15 mg/100g of ascorbic acid and the antioxidant activity was 34.10%. Comparing with control jelly candy, which had not any bioactive compounds results indicated that fortified jelly candy with fruit achieved the aim of this study, producing healthier jelly candy for all consumer types.

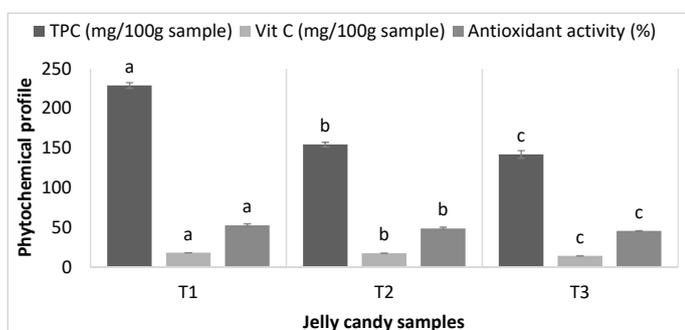


Figure 3. Effect of fortification jelly candy with strawberry and red beetroot on phytochemical profile.

T1: jelly candy contains 75% strawberry and 25% beetroot; T2: jelly candy contains 50% strawberry and 50% beetroot; T3: jelly candy contains 25% strawberry and 75% beetroot. Full ripe strawberry contains 850.13 mg Gallic acid /100 g fresh fruit TPC and 58.8 mg/100g-1 ascorbic acid. The blanched red beetroot contains 238 mg Gallic acid /100 g fruit TPC and 33.9 mg 100 g-1 ascorbic acid. The experimental values (means and SD for n=3) with small letter are significantly different ($P \leq 0.05$). All values of phytochemical compounds recorded zero for control jelly candy sample.

3.5. Microbiological analysis of all jelly candies

Total plate count and fungal growth (mold & yeast) results of fresh jelly candies showed a great significant difference between control candy and other candy samples. The only sample, which appeared bacterial or fungi growth after processing was the control sample, which reached 2.94 and 2.77 log cfu/gm, for total plate count and fungal growth, respectively. Meanwhile, there is no growth in any other samples that may be due to the jelly candy's content of phenolic compound and ascorbic acid, which showed a good effect as antimicrobial. Also, jelly candies have a high sugar content that reduces microbial growth by limiting

water available for the growth of microorganisms Muzzaffar et al., [9]. This study showed that strawberry or red beetroot jelly candies were safe for human consumption.

3.6. Sensory analysis of all jelly candy samples

All the formulated jelly candies were subjected to sensory evaluation and the results are summarized in Table 4. The quality sensory parameters of all the jelly candy samples were described as appealing. There is no significant difference ($P \leq 0.05$) between all samples in color, taste, sweetness, and appearance. Meanwhile, the color that was determined using the Minolta system showed the difference between all samples but that difference wasn't noticed by the naked eye. The T3 recorded the lowest value of odor because of the existence of pyrazine and geosmin compounds of betalains from the red beetroot, which has an unpleasant aroma, which is typical of the smell of wet earth [36]. Textual quality (elasticity and biting) was described as soft and easy to bite by the majority of the panel. Since the candies had added gelatin, the texture was maintained as gelatin gets bound to sugar and helps in the gelation process forming a network of fibrils [37]. Meanwhile, the T3 recorded the lowest value for texture quality parameters and overall acceptability. The reduction in acceptability of texture (elasticity and biting) value may be due to its high content of fiber and low moisture content as mentioned before in Table 2 (1.02 g/ 100g, 34.20%). Concerning Figiel and Tajner-Czopek [34], knowledge of how moisture influences the texture of candy may help meet the expectations of the consumer about the quality of the consumed products. Also, the pH is considered one of the most important factors that affect on strength of the gel. The optimal pH ranged from 4 to 10 but, in the case of acidity foods, the dose of gelatin should be duplicate [37]. The highest pH value 4.73 for control and the lowest value 3.55 for T2. Therefore, the dose of gelatin that was used for processing jelly candy was increased and reached 35 g comparing with other studies [3]. The T3 treatment recorded the highest values in all sensory parameters especially in overall acceptability, which makes it the favorable jelly candies at all.

Such jelly candies are not only nutritionally healthy, but they are also economically viable to start a small-scale industry. From the commercial view, the prices of the materials used in the production process have an important impact on the price of the final products. Therefore, the comparison between the recent price of fresh fruit or vegetables and the price of sugar, synthetic flavors, and colors which using in commercial jelly candy that is led to increasing the price of natural jelly candy. The national market price of natural commercial jelly candy was 15–30 LE “100 g” it's equal 0.80–1.60 €. on the other hand, the price of a fruit and vegetable jelly candy “100 g” was calculated to be 3.32 LE its equal 0.18 € while for the world retail price of commercial fruit and vegetable jelly candy was 1 € per 100 g. Therefore, the strawberry and red beetroot jelly candy as one of the new proposed snack products is estimated to represent healthy sweets with less price than other natural commercial ones and near from the price of synthetic jelly candy which reached 2–3 LE “100 g” is equal 0.1–0.15 €.

Table 4

Effect of fortification with strawberry and red beetroot on sensory evaluation of jelly candy

Samples	Sensory parameters							Overall acceptability
	Color	Taste	Odor	Sweetness	Elasticity	Biting	Appearance	
Control	8.6a ± 1.12	7.6a ± 1.18	8.4a ± 1.44	7.6a ± 1.66	7.0a ± 1.93	7.0a ± 2.21	8.6a ± 0.65	7.8ab ± 1.34
T1	8.6a ± 0.89	7.2a ± 2.05	7.1bc ± 0.70	7.7a ± 1.95	5.6b ± 1.68	6.2ab ± 2.73	7.8ab ± 0.46	7.3ab ± 0.98
T2	8.6a ± 0.65	7.5a ± 0.50	7.9ab ± 1.06	7.6a ± 1.43	6.3ab ± 1.91	6.1ab ± 2.37	8.7a ± 1.41	8.1a ± 1.09
T3	8.3a ± 0.51	6.6a ± 2.17	7.0c ± 1.24	7.4a ± 1.98	5.8b ± 2.17	5.5b ± 2.13	8.0ab ± 1.20	7.0b ± 1.41

T1: jelly candy contains 75% strawberry and 25% beetroot juice; T2: jelly candy contains 50% strawberry and 50% beetroot juice; T3: jelly candy contains with 25% strawberry and 75% beetroot juice. The experimental values (means and SD for n=60) with small letter are significantly different ($P \leq 0.05$).

4. Conclusion

Strawberry and red beetroot riches in nutraceutical compounds source for instance phenolic compounds and ascorbic acid, which lead to high antioxidant effect to them. Ascorbic acid and phenolic of those fruits can be retained by processing them into candies. Jelly candies production not only prolongs the shelf life of fruit and vegetable but also maintains its antioxidant effect. Also, the nutritional value of fruit jelly candies was superior to control candy, which contains more minerals and fibers than control. Therefore, this study creates a new healthier alternative

product that has the same sensory parameters of commercial jelly candy for consumers especially, children. Otherwise, the scientific method of jelly candy processing establishes a livelihood alternative in the modern era.

Therefore, this experiment was also applied using several types of fruit and vegetable such as, orange with carrot, cantaloupe with rocket, mango with carrot, and pomegranate with grape, which achieved excellent acceptability by the majority of the panel. Otherwise, to assess the shelf life of this product particularly its free from preservative materials, this work needs more study.

REFERENCES

- Krasina, I. B., Tarasenko, N. A. (2014). Research way of obtain extracts from walnut leaves, their properties investigation on purpose to use them as ingredients during jelly fruit candy production. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 8(9), 23–26.
- Palacıoğlu, S. (2003). Sekreleme sector profile (Confectionery sector profile). Retrieved from <http://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-87.pdf>. Accessed March 20, 2021
- Mutlu, C., Tontul, S. A., Erbaş, M. (2018). Production of a minimally processed jelly candy for children using honey instead of sugar. *LWT*, 93, 499–505. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.064>
- Abdelmaksoud, T. G., Mohsen, S. M., Duedahl-Olesen, L., Elnikeety, M. M., Feyissa, A. H. (2019). Impact of ohmicsonication treatment on pectinmethylesterase in not-from concentrate orange juice. *Journal of Food Science and Technology*, 56(8), 3951–3956. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-05834-2>
- Abdelmaksoud, T. G., Mohsen, S. M., Duedahl-Olesen, L., Elnikeety, M. M., Feyissa, A. H. (2019). Optimization of ohmicsonication for overall quality characteristics of NFC apple juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(9), Article e14087 <https://doi.org/10.1111/jfpp.14087>
- Charoen, R., Savedboworn, W., Phuditharnchnakun, S., Khuntaweetap, T. (2015). Development of antioxidant gummy jelly candy supplemented with *psidium guajava* leaf extract. *KMUTNB International Journal of Applied Science and Technology*, 8(2), 145–151. <https://doi.org/10.14416/ijast.2015.02.002>
- Riedel, A., Mehnert, M., Paul, C. E., Westphal, A. H., van Berkel, W. J. H., Tischler, D. (2015). Functional characterization and stability improvement of a 'thermophilic-like' ene-reductase from *rhodococcus opacus* 1CP. *Frontiers in Microbiology*, 6(OCT), Article 1073. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01073>
- Singh, M.C., Prakash, J. (2016). Nutritional and Sensory Quality of Iron Fortified Tamarind Candies. *Nutrition & Food Science*, 1(1), 1–7.
- Muzzaffar, S., Baba, W. N., Nazir, N., Masoodi, F. N., Bhat, M. M., Bazaz, R. (2016). Effect of storage on physicochemical, microbial and antioxidant properties of pumpkin (*Cucurbita moschata*) candy. *Cogent Food And Agriculture*, 2(1), 1–13. <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1163650>
- Kumar, V., Kushwaha, R., Goyal, A., Tanwar, B., Kaur, J. (2018). Process optimization for the preparation of antioxidant rich ginger candy using beetroot pomace extract *Food Chemistry*, 245, 168–177. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.089>
- Krolevets, A., Myachikova, N., Semichev, K. (2019). *Properties of Nanostructured Motherwort Extract and Its Application in Fruit Jelly Candy Production*. Proceedings of the 1st International Symposium Innovations in Life Sciences (ISILS2019). Series: Advances in Biological Sciences Research. <https://doi.org/10.2991/isils-19.2019.44>
- Petersen, C., Wankhade, U. D., Bharat, D., Wong, K., Mueller, J. E., Chintapalli, S. V. et al. (2019). Dietary supplementation with strawberry induces marked changes in the composition and functional potential of the gut microbiome in diabetic mice. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 66, 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2019.01.004>
- Basu, A., Nguyen, A., Betts, N. M., Lyons, T. J. (2014). Strawberry as a functional food: An evidence-based review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(6), 790–806. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.608174>
- Cassani, L., Tomadoni, B., Moreira, M. R., Agüero, M. V. (2018). Improving quality parameters of functional strawberry juices: Optimization of prebiotic fiber enrichment and geraniol treatment. *Food and Bioprocess Technology*, 11(11), 2110–2124. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2170-x>
- Balthazar, C. F., Santillo, A., Guimarães, J. T., Capozzi, V., Russo, P., Caroprese, M. et al. (2019). Novel milk–juice beverage with fermented sheep milk and strawberry (fragaria × ananassa): Nutritional and functional characterization. *Journal of Dairy Science*, 102(12), 10724–10736. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16909>
- Chhikara, N., Kushwaha, K., Sharma, P., Gat, Y., Panghal, A. (2019). Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review. *Food Chemistry*, 272, 192–200. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.022>
- Clifford, T., Howatson, G., West, D. J., Stevenson, E. J. (2015). The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients*, 7(4), 2801–2822. <https://doi.org/10.3390/nu7042801>
- Lechner, J. F., Stoner, G. D. (2019). Red beetroot and betalains as cancer chemopreventative agents. *Molecules*, 24(8). <https://doi.org/10.3390/molecules24081602>
- AOAC (2016). Association of Official Analytical Chemistry. Official methods of analysis (20th Ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- More, S. A., Patil, S. S., Kakanur, M., Thakur, R., Nayak, M. N., Kumar, S. R. (2018). A quantitative analysis of total carbohydrate content from the salivary expectorants in young children. *Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*, 36(1), 53–57. https://doi.org/10.4103/JISPPD.JISPPD_153_17
- Abdelmaksoud, T. G., Mohsen, S. M., Duedahl-Olesen, L., Elnikeety, M. M., Feyissa, A. H. (2018). Effect of ohmic heating parameters on inactivation of enzymes and quality of not-from-concentrate mango juice. *Asian Journal of Scientific Research*, 11(3), 383–392. <https://doi.org/10.3923/ajsr.2018.383.392>
- El-Mogy, M. M., Ali, M. R., Darwish, O. S., Rogers, H. J. (2019). Impact of salicylic acid, abscisic acid, 1 and methyl jasmonate on postharvest quality and bioactive compounds of cultivated strawberry fruit. *Journal of Berry Research*, 9(1), 333–348. <https://doi.org/10.3253/JBR-180349>
- Altemimi, A. B., Al-Hilphy, A. R., Abdelmaksoud, T. G., Aboud, S. A., Badwaik, L. S., Lakshmanan, G. (2021). Infrared Radiation Favorably Influences the Quality Characteristics of Key Lime Juice. *Applied Sciences*, 11(6), Article 2842. <https://doi.org/10.3390/app11062842>
- Elsayed, N., El-Din, H.S., Altemimi, A.B., Ahmed, H.Y., Pratap-Singh, A., Abdelmaksoud, T.G. (2021). In Vitro Antimicrobial, Antioxidant and Anticancer Activities of Egyptian Citrus Beebread. *Molecules*, 26(9), p.2433.
- Awad, A. H. R., Parmar, A., Ali, M. R., El-Mogy, M. M., Abdelgawad, K. F. (2021). Extending the Shelf-Life of Fresh-Cut Green Bean Pods by Ethanol, Ascorbic Acid, and Essential Oils. *Foods*, 10, Article 1105. <https://doi.org/10.3390/foods10051105>
- Ali, M. R., EL Said, R. M. (2020). Assessment of the potential of arabic gum as an antimicrobial and antioxidant agent in developing vegan “egg-free” mayonnaise. *Journal of Food Safety*, 40(2), Article e12771. <https://doi.org/10.1111/jfs.12771>
- Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B., Battino, M. (2012). The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28(1), 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2011.08.009>
- Singh, J. P., Kaur, A., Shevkani, K., Singh, N. (2016). Composition, bioactive compounds and antioxidant activity of common Indian fruits and vegetables. *Journal of Food Science and Technology*, 53(11), 4056–4066. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2412-8>
- Vasconcellos, J., Conte-Junior, C., Silva, D., Pierucci, A. P., Paschoalin, V., Alvares, T. S. (2016). Comparison of total antioxidant potential, and total phenolic, nitrate, sugar, and organic acid contents in beetroot juice, chips, powder, and cooked beetroot. *Food Science and Biotechnology*, 25(1), 79–84. <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0011-0>
- Jackman, R. L., Smith, J. L. (1996). Anthocyanins and betalains. Chapter in a book: Natural food colorants. Blackie Academic and Professional, London, 244–309.
- Güneşer, O. (2016). Pigment and color stability of beetroot betalains in cow milk during thermal treatment. *Food Chemistry*, 196, 220–227. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.033>
- Rababah, T., Over, K., Hettiarachchy, N. S., Horax, R., Eswaranandam, S., Davis, B. et al. (2010). Infusion of plant extracts during processing to preserve quality attributes of irradiated chicken breasts over 9 months storage at –20 C. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34(SUPPL. 1), 287–307. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2009.00381.x>
- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4), 215–225. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8)
- Figiel, A., Tajner-Czopek, A. (2006). The effect of candy moisture content on texture. *Journal of Food Service*, 17, 189–195. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4506.2006.00037.x>
- Figuerola, L. E., Genovese, D. B. (2018). Pectin gels enriched with dietary fibre for the development of healthy confectionery jams. *Food Technology and Biotechnology*, 56(3), 441–453. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5641>

36. Stintzing, F., Carle, R. (2008). Betalains in food: Occurrence, stability, and postharvest modification. Chapter in a book: Food Colorants-Chemical and Functional Properties. CRC Press: Boca Raton, FL, USA.
37. Brown, A. (2011). Understanding Food: principles and preparation. Chapter in a book: Soups, salads and gelatins. PP.327–344. University of Hawaii at Manoa. Wadsworth, Cengage Learning. Inc. United States. USA.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p>Али М.Р. — адъюнкт-профессор, Кафедра науки о питании, Сельскохозяйственный факультет, Каирский Университет 12613, Египет, Гиза, ул. Гамаа, 1 Тел.: +2-0100-469-55-15 E-mail: marwa3mrf@agr.cu.edu.eg ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7399-1277 * автор для контактов</p>	<p>Marwa R. Ali — Associate Professor, Department of Food Science, Faculty of Agriculture, Cairo University 1 Gamaa Street, 12613, Giza, Egypt Tel.: +2-0100-469-55-15 E-mail: marwa3mrf@agr.cu.edu.eg ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7399-1277 * corresponding author</p>
<p>Мохамед Р.М. — ассистент профессора, Кафедра науки о питании, Сельскохозяйственный факультет, Каирский Университет 12613, Египет, Гиза, ул. Гамаа, 1 Тел.: +2-0115-659-47-47 E-mail: reda_karrim@agr.cu.edu.eg ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5817-9187</p>	<p>Reda M. Mohamed — Assistant Professor, Department of Food Science, Faculty of Agriculture, Cairo University 1 Gamaa Street, 12613, Giza, Egypt Tel.: +2-0115-659-47-47 E-mail: reda_karrim@agr.cu.edu.eg ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5817-9187</p>
<p>Абедельмаксуд Т.Г. — ассистент профессора, Кафедра науки о питании, Сельскохозяйственный факультет, Каирский Университет 12613, Египет, Гиза, ул. Гамаа, 1 Тел.: +2-0110-144-12-80 Email: tareekgamal_88@agr.cu.edu.eg ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7012-6667</p>	<p>Tarek G. Abedelmaksoud — Assistant Professor, Department of Food Science, Faculty of Agriculture, Cairo University 1 Gamaa Street, 12613, Giza, Egypt Tel.: +2-0110-144-12-80 Email: tareekgamal_88@agr.cu.edu.eg ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7012-6667</p>
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	The authors declare no conflict of interest

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-89-96>

Поступила 07.04.2021

Поступила после рецензирования 20.06.2021

Принята в печать 25.06.2021

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

ВОЗВРАТНЫЕ ОТХОДЫ ХЛЕБОПЕКАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА – НОВЫЙ ВИД СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДИСТИЛЛЯТОВ (ЧАСТЬ III. СТАДИЯ ДИСТИЛЛЯЦИИ)

Крикунова Л. Н.¹, Дубинина Е. В.^{1*}, Макаров С. Ю.²¹ Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности, Москва, Россия² Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
процесс дистилляции,
дистиллированные напитки,
этилкарбамат, вторичные
компоненты, фракции
дистилляции

АННОТАЦИЯ

Стадия дистилляции является ключевым этапом в технологии производства спиртных напитков на основе дистиллятов. Использование нового нетрадиционного вида сырья для получения дистиллятов требует проведения комплексных исследований. Цель данной работы состояла в исследовании процессов на стадии дистилляции сброженного сусла из возвратных отходов хлебопекарного производства, а также в выявлении значимых факторов и определении оптимальных технологических значений этих факторов. Объектами исследования служили 9 образцов сброженного сусла из различных видов возвратных отходов хлебопекарного производства, фракции дистиллятов и опытные образцы дистиллятов. Дистилляцию проводили на установке прямой сгонки «Kothe Destillationstechnik» (Германия). В объектах исследования определяли объем, объемную долю этилового спирта и массовую концентрацию основных летучих компонентов. Состав и концентрацию основных летучих компонентов определяли с использованием газовой хроматографии на приборе «Thermo Trace GC Ultra» (Thermo, США). Выявлены широкие интервалы варьирования массовой концентрации основных летучих компонентов в зависимости от состава исходного сырья. Установлено, что характер распределения летучих компонентов по фракциям дистиллята не зависит от физико-химического состава сброженного сусла из разных видов возвратных отходов хлебопекарного производства. Показано, что характер распределения летучих компонентов по фракциям при получении дистиллята из возвратных отходов хлебопекарного производства имеет определенные отличия от их распределения при получении коньячных и фруктовых дистиллятов. Сравнительная оценка дистиллятов, полученных однократной фракционированной дистилляцией и двукратной дистилляцией, показала преимущество первой по выходу спирта и составу летучих компонентов. Установлено, что скорость дистилляции при прямой фракционированной сгонке оказывает существенное влияние на динамику распределения основных летучих компонентов и выход дистиллята по безводному спирту. При оптимальной скорости дистилляции (5,9 см³/мин) повышается выход безводного спирта в среднем на 4% и снижаются потери ценных ароматобразующих летучих компонентов с головной и хвостовой фракциями.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по Государственному заданию № 0585–2019–001 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 07.04.2021

Accepted in revised 20.06.2021

Accepted for publication 25.06.2021

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

RETURNABLE BAKING WASTE – A NEW TYPE OF RAW MATERIALS FOR DISTILLATES PRODUCTION (PART III. DISTILLATION STAGE)

Ludmila N. Krikunova¹, Elena V. Dubinina^{1*}, Sergey Yu. Makarov²¹ All-Russian Scientific Research Institute of the Brewing, Non-Alcoholic and Wine Industry, Moscow, Russia² K. G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University), Moscow, Russia

KEY WORDS:

distillation process, distilled beverages, ethyl carbamate, secondary components, distillate fractions

ABSTRACT

The distillation stage is a key step in distillate-based alcoholic beverage technology. The use of a new non-traditional type of raw materials to obtain distillates requires comprehensive research. The purpose of this work was to study the processes at the distillation stage of the discharged wort from the recyclable baking waste, in identifying significant factors and determining the optimal technological values of these factors. The objects of the study served 9 samples of fermented wort from various types of recyclable baking waste, distillate fractions and samples of distillates. The distillation was performed on the installation of direct distillation "KOTHE DESTILLATIONSTECHNIK" (Germany). In the objects of the study, the volume, the volume fraction of ethyl alcohol and the mass concentration of the main volatile components were determined. The composition and concentration of basic volatile components were determined using gas chromatography on the device "Thermo Trace GC Ultra" (Thermo, United States). The wide range of variation of the mass concentration of the main volatile components, depending on the composition of the initial raw materials, is revealed. It has been established that the nature of the distribution of volatile components according to distillate fractions does not depend on the physicochemical

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Крикунова, Л.Н., Дубинина, Е.В., Макаров, С.Ю. (2021). Возвратные отходы хлебопекарного производства – новый вид сырья для производства дистиллятов (Часть III. Стадия дистилляции). *Пищевые системы*, 4(2), 89–96. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-4-2-89-96>

FOR CITATION: Krikunova, L.N., Dubinina, E.V., Makarov, S. Yu. (2021). Returnable baking waste – a new type of raw materials for distillates production (Part III. Distillation stage). *Food systems*, 4(2), 89–96. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-89-96>

composition of the fermented wort from different types of recyclable baking waste. It is shown that the nature of the distribution of volatile components according to fractions in obtaining a distillate from the recyclable baking waste has certain differences from their distribution in the preparation of cognac and fruit distillates. A comparative assessment of distillates obtained by single fractionated distillation and double distillation showed the advantage of the first alcohol output and the composition of volatile components. It has been established that the distillation rate with a direct fractionated has a significant effect on the dynamics of the distribution of the main volatile components and the output of the distillate for anhydrous alcohol. With an optimal distillation rate (5.9 cm³ / min), an anhydrous alcohol output increases, on average, by 4% and reduced the losses of valuable aroma-forming volatile components with head and tail fractions.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. 0585–2019–001 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

При разработке инновационной технологии производства спиртных напитков на основе дистиллятов из нетрадиционных видов сырья, к которым относятся возвратные отходы хлебопекарного производства, требовалось на каждом технологическом этапе проведение комплексных глубоких исследований трансформации исходного биохимического состава сырья по стадиям производства. Одним из важнейших технологических этапов, определяющих выход конечного продукта, его физико-химические и органолептические характеристики, а также его конкурентоспособность на внутреннем и международном рынках, является стадия дистилляции. Цель дистилляции заключается не только в концентрировании этанола по сравнению с его содержанием в сброженном сусле, но и в целенаправленном регулировании качественно-состава и концентрации летучих компонентов дистиллята.

Известно, что на физико-химические процессы, проходящие при дистилляции, оказывают влияние разные факторы. Одним из важнейших факторов являются особенности систем дистилляционного оборудования, которое по принципу действия подразделяют на установки периодического и непрерывного действия. Последние в основном используют в США при производстве бурбона (виски из кукурузы), обедненного летучими компонентами [1,2]. К преимуществам данного способа дистилляции относят высокую производительность и экономическую эффективность производства, что в конечном итоге отражается на низкой себестоимости конечного продукта. Для получения дистиллятов, имеющих высокие органолептические характеристики и обогащенных летучими соединениями, традиционно используют установки периодического действия различной конструкции [3]. Самые простые установки «шарантского» типа эксплуатируются по схеме двукратной дистилляции и применяются в первую очередь для получения высококачественных коньячных дистиллятов. При производстве фруктовых дистиллятов и высококачественных зерновых (висковых) дистиллятов, как правило, используют установки прямой сгонки, работающие по схеме однократной дистилляции. Такие установки имеют различные конструктивные модификации, позволяющие, во-первых, регулировать крепость получаемых дистиллятов, а во-вторых — получать продукт с определенным качественным и количественным составом летучих примесей [1, 4–6].

В ранее проведенных исследованиях установлено влияние режимных параметров дистилляции на выход и качественные показатели продукта. Так, показано, что предварительный прогрев сброженного зернового суслу перед стадией дистилляции, в отличие от выявленного ранее положительного эффекта при переработке винограда и фруктового сырья, не приводит к позитивным результатам [7–9]. Другим режимным параметром, оказывающим влияние на процесс дистилляции, как показано в ряде работ [10,11], является скорость дистилляции. Регулируемыми параметра-

ми на данном этапе технологического процесса могут быть объем отбираемых головной и хвостовой фракций, а также значение флегмового числа установки [12–14].

Цель работы заключалась в выявлении значимых факторов, влияющих на процесс дистилляции сброженного суслу из возвратных отходов хлебопекарного производства и определении оптимальных технологических режимов фракционированной перегонки.

2. Материалы и методы

В качестве объектов исследования использованы:

- образцы сброженного суслу (9 образцов), полученного из различных видов возвратных отходов по режимам, предусматривающим механико-ферментативный способ получения суслу с выдержкой при следующих паузах: 50–55 °С; 70–75 °С; 95–98 °С; 56–58 °С; общая продолжительность процесса 3,0–3,5 часа; нормы задачи ферментных препаратов: разжижающего действия с мезофильной альфа-амилазой в количестве 0,5–1,0 ед. АС/г условного крахмала, гемицеллюлазного действия в количестве 0,1–0,2 ед. ЦС/г сырья, осахаривающего действия в количестве 6,0–8,0 ед. ГЛС/г условного крахмала и протеолитического действия в количестве 0,01–0,02 ед. ПС/г белка, сбраживание при температуре 28–30 °С в течение трех суток с использованием сухих спиртовых дрожжей нескольких рас;
- фракции дистиллята (Ф1 — Ф8), выделенные в процессе изучения динамики перехода летучих компонентов; головная (ГФ), средняя (СФ) и хвостовая (ХФ) фракции — при изучении влияния способа дистилляции сброженного суслу из возвратных отходов хлебопекарного производства. Фракционированную дистилляцию осуществляли на пилотной установке прямой сгонки «Kothe Destillationstechnik» (Германия), снабженной укрепляющей колонной с тремя барбатажными тарелками и трубчатым дефлегматором. Конструкция установки позволяет изменять режим ее работы таким образом, чтобы осуществлять как однократную, так и двукратную дистилляцию. Температура греющих паров составляла от 102 °С в начале дистилляции до 105 °С — в конце дистилляции. Давление греющих паров в процессе дистилляции поддерживали на уровне не более 1,2 мПа.

В объектах исследования определяли объем, объемную долю этилового спирта и массовую концентрацию основных летучих компонентов. Состав и концентрацию основных летучих компонентов определяли методом газовой хроматографии с использованием прибора Thermo Trace GC Ultra (Thermo, США) с пламенно-ионизационным детектором. Хроматографическая колонка — HP FFAP: длина 50 м, внутренний диаметр 0,32 мм с толщиной пленки неподвижной фазы 0,5 мкм (ГОСТ 33834–2016). Используемая методика предусматривает ввод предварительно подготовленного образца в инжектор прибора в количестве 2 мкл. С целью

сравнительного анализа исследованных образцов концентрацию летучих компонентов выражали в мг/дм³ безводного спирта (мг/дм³ б. с.). Работу проводили в лабораторных условиях на базе отдела технологии крепких напитков ВНИИПБиВП.

Для обработки результатов исследований использовали статистический метод обработки экспериментальных данных, в ходе которого определяли средние значения из 3–5 измерений, среднеквадратичное отклонение и доверительный интервал [15,16]. В таблицах результаты представлены в виде средних арифметических значений. Обработку экспериментальных данных осуществляли с использованием методов математической статистики с помощью программ Excell и Statistika.

3. Результаты и обсуждение

На первом этапе работы было исследовано влияние физико-химического состава сброженного суслу из возвратных отходов хлебопекарного производства на распределение основных групп летучих компонентов по фракциям при однократной дистилляции по стандартным режимам. Дистилляцию осуществляли с использованием укрепляющей колонны с тремя тарелками при средней скорости 9,0–10,0 см³/мин. Образцы сброженного суслу были приготовлены с использованием в качестве сырья пшеничного хлеба (образцы 1–3), смеси пшеничного и ржано-пшеничного хлеба в соотношении 1:1 (образцы 4–6), смесь пшеничного и ржано-пшеничного хлеба в соотношении 2:1 (образцы 7–9). При получении образцов 1, 4, 7 использовали препараты сухих активных дрожжей Fermiol, образцов 2, 5, 8 — Turbo 24, образцов 3, 6, 9 — Angel. Дрожжи вносили в осахаренное суслу из расчета 100 мг на 100 г суслу. Процесс сбраживания проводили в одинаковых условиях.

В результате выполненных исследований выявлены широкие интервалы варьирования массовой концентрации ацетальдегида, этилацетата и компонентов энантового эфира, представленных в виде суммы этилкапрата, этилкапроата и этилкаприлата во всех фракциях дистиллята (Таблица 1). Выбор перечисленных летучих компонентов обусловлен в первую очередь их существенным влиянием на органолептические характеристики дистиллята, а во вторую очередь — их преобладающей концентрацией в группе альдегидов и эфиров.

Таблица 1

Распределение альдегидов и эфиров сброженного суслу из возвратных отходов хлебопекарного производства по фракциям

Фракция дистиллята	Массовая концентрация, мг/дм ³		
	Ацетальдегид	Этилацетат	Энантовый эфир
Ф1	2246–3308	1291–1997	27–64
Ф2	89–189	191–592	27–56
Ф3	59–80	43–115	27–49
Ф4	16–57	7–22	33–49
Ф5	12–21	3–7	43–73
Ф6	8–18	2–3	92–178
Ф7	4–16	1–3	65–108
Ф8	10–19	0–1	2–16

Широкие интервалы варьирования концентрации летучих компонентов связаны в первую очередь с различным биохимическим составом исходного сырья (переработка пшеничного хлеба, смеси из пшеничного и ржано-пшеничного хлеба), а также с особенностями расы дрожжей, используемой для сбраживания (Fermiol, Turbo 24, Angel). При этом, как свидетельствуют представленные в таблице данные, на-

блюдались определенные тенденции в изменении массовых концентраций летучих компонентов в процессе дистилляции. Так, для ацетальдегида и этилацетата, независимо от используемого образца сброженного суслу, было характерно концентрирование в начальных фракциях Ф1 и Ф2. Напротив, компоненты энантового эфира концентрируются во фракциях Ф6, Ф7, то есть в конце отбора средней фракции. Данное поведение энантовых эфиров отличается от их распределения при получении коньячных и фруктовых дистиллятов в сторону их концентрирования при меньшей крепости [17, 18].

В Таблице 2 представлено распределение основных высших спиртов по фракциям, которое также свидетельствует о довольно широком интервале варьирования массовых концентраций 1-пропанола, изобутанола и изоамилола. Кроме того, установлено, что, в отличие от дистилляции фруктового сырья, где высшие спирты концентрируются в начале и середине основного погона [14], при дистилляции сброженного суслу из возвратных отходов их концентрирование происходит в конце основного погона (фракции Ф6, Ф7).

Таблица 2

Распределение высших спиртов суслу из возвратных отходов хлебопекарного производства по фракциям

Фракция дистиллята	Концентрация, мг/дм ³		
	1-пропанол	Изобутанол	Изоамилол
Ф1	133–230	319–696	239–774
Ф2	174–285	397–842	261–989
Ф3	220–329	531–957	455–1195
Ф4	272–340	688–924	694–1248
Ф5	373–464	1030–1255	1264–1908
Ф6	490–883	1600–2798	3136–7098
Ф7	501–716	1113–2027	5622–9501
Ф8	13–68	30–90	202–641

Выявленные особенности поведения высших спиртов, вероятно, обусловлены различной кинетикой перехода основного компонента — этилового спирта во фракции дистиллята. Как правило, при дистилляции сброженного фруктового сырья на установках прямой стгонки характерна максимальная концентрация этанола в головной фракции с постепенным ее снижением в средних фракциях. При дистилляции сброженного суслу из возвратных отходов хлебопекарного производства наблюдалась высокая концентрация этанола практически на всем протяжении процесса с резким снижением крепости в хвостовой фракции, что может быть связано с более низким общим содержанием летучих компонентов в образцах сброженного суслу, а также существенной разницей в активной и титруемой кислотности сред из фруктового и крахмалсодержащего сырья. Кроме того, отличительной особенностью фракций дистиллята из данного вида сырья является практическое отсутствие в составе летучих компонентов метанола, концентрация которого во фруктовых дистиллятах может достигать 20–25% от общего содержания летучих компонентов [1,19,20].

Следующий этап работы посвящен изучению влияния скорости дистилляции сброженного суслу из возвратных отходов хлебопекарного производства на динамику распределения этанола и основных летучих компонентов по фракциям. Вес сброженного суслу, загружаемого в куб дистилляционной установки, составлял 10 кг. Процесс проводили в трех режимах с варьированием скорости дистилляции: быстрая ($V=18,8$ см³/мин) — режим I, средняя ($V=9,5$ см³/мин) — режим II, медленная ($V=5,9$ см³/мин) — режим III. Фракционирование дистиллята осуществляли исходя из анализа крепости и органолептических характе-

ристик. При этом объем первых семи фракций (Ф1 — головная, Ф2–Ф7 — средние фракции) был одинаковым для всех режимов дистилляции, независимо от образца сброженного сула, а объем последней фракции Ф8 (хвостовой) сильно варьировался в зависимости от использованного режима дистилляции. Влияние скорости дистилляции на динамику распределения этанола (безводного спирта) представлено в Таблице 3.

Таблица 3

Влияние скорости дистилляции на распределение безводного спирта по фракциям

Скорость дистилляции (V)	Содержание б. с. во фракции, % от суммы б. с. во фракциях							
	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	Ф6	Ф7	Ф8
V = 18,8 см ³ /мин	5,7	15,1	15,1	15,2	15,0	14,7	14,5	4,7
V = 9,5 см ³ /мин	6,0	16,6	16,5	16,5	16,5	16,2	11,1	0,6
V = 5,9 см ³ /мин	6,0	17,0	17,1	17,1	17,3	17,1	8,2	0,2

Установлено, что увеличение длительности термического воздействия на сброженное суло в процессе дистилляции, обусловленное снижением скорости, приводит к относительному концентрированию безводного спирта во фракциях Ф2 — Ф6 при одновременном снижении его содержания во фракциях Ф7, Ф8 (хвостовая). Расчетный выход дистиллята по безводному спирту в режиме быстрой дистилляции (18,8 см³/мин) составил 89,6%, а в режимах II и III этот показатель варьировался в пределах 93,4–93,8%. Таким образом, с позиции экономической оценки эффективности процесса при дистилляции сброженного сула из возвратных отходов хлебопекарного производства можно рекомендовать среднюю скорость дистилляции.

Кроме выхода безводного спирта в процессе дистилляции, важное значение для прогнозирования качества получаемого дистиллята является исследование распределения основных летучих компонентов по фракциям. На основании данных массовой концентрации летучих компонентов во фракциях и объема отдельных фракций было рассчитано относительное содержание ацетальдегида, этилацетата, 1-пропанола, изобутанола, изоамилола и энантового эфира в отдельных фракциях (% от суммарного содержания отдельных летучих компонентов во всех фракциях).

Установлено (Таблица 4), что при снижении скорости дистилляции такие легколетучие компоненты, как ацетальдегид и этилацетат, концентрируются в головной фракции в большей степени, чем при высокой скорости (режим I). Эти изменения в динамике распределения данных компонентов приводят к снижению их концентрации в средней фракции. В тоже время скорость дистилляции практически не влияет на относительное содержание высших спиртов в головной фракции (Ф1). Вместе с тем снижение скорости дистилляции позволяет максимально сконцентрировать 1-пропанол, изобутанол и изоамилол в средней фракции (Ф2 — Ф7) и существенно снизить их содержание в хвостовой фракции (Ф8).

Скорость дистилляции также влияет на динамику распределения энантовых эфиров. Ее снижение приводит к перераспределению их содержания в сторону высокоспиртуозных фракций дистиллята. При высокой и средней скоростях дистилляции (режимы I и II) потери энантовых эфиров с головной и хвостовой фракциями практически одинаковые и составляют 11,9 и 12,2% соответственно. Из представленных данных видно, что дистилляция при минимальной скорости приводит к снижению этих потерь на 3,9–4,2%. При этом большая часть энантовых эфиров концентрируется во фракциях Ф6 и Ф7, что может оказывать положительное влияние на аромат дистиллята из возвратных отходов хлебопекарного производства.

Таблица 4

Влияние скорости дистилляции на распределение отдельных летучих компонентов по фракциям

Наименование летучего компонента	Режим	Содержание летучего компонента во фракциях, % от суммы во всех фракциях							
		Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	Ф6	Ф7	Ф8
Ацетальдегид	I	73,5	12,8	5,3	1,4	1,1	0,6	0,8	4,5
	II	80,3	8,0	5,2	1,4	1,1	1,0	1,4	1,6
	III	80,8	7,8	5,6	1,7	1,3	1,2	1,1	0,5
Этилацетат	I	49,9	37,0	10,2	1,4	0,6	0,2	0,1	0,6
	II	67,4	24,9	5,6	0,9	0,4	0,3	0,3	0,2
	III	64,5	27,8	5,5	1,0	0,6	0,4	0,2	–
1-пропанол	I	3,1	9,5	11,0	10,6	13,6	16,4	23,9	11,9
	II	2,4	7,8	9,9	12,2	16,7	28,4	22,5	0,1
	III	2,9	9,9	11,7	12,9	17,9	33,2	11,3	0,2
Изобутанол	I	3,3	10,1	11,5	11,1	14,9	19,2	24,3	5,6
	II	2,2	6,8	9,1	11,7	17,6	32,6	19,0	1,0
	III	3,7	9,2	11,0	11,7	18,1	36,8	9,3	0,2
Изоамилол	I	1,7	5,3	6,4	6,7	10,2	16,7	35,2	17,8
	II	0,8	2,1	3,6	5,6	10,1	30,8	45,0	2,0
	III	2,1	3,3	4,6	4,4	9,3	41,4	34,4	0,5
Энантовый эфир	I	4,7	11,6	10,2	10,2	15,1	20,0	21,0	7,2
	II	7,8	8,2	8,2	10,2	13,1	28,1	20,0	4,4
	III	6,0	5,7	6,6	7,1	10,4	38,7	23,5	2,0

Распределение безводного спирта по фракциям зависит от скорости дистилляции при однократной дистилляции сброженного сула из возвратных отходов хлебопекарного производства (Таблица 3). Данная выявленная зависимость подтверждает сведения отечественных и зарубежных исследователей, ранее полученные при процессе дистилляции других видов сырья [9,12,17]. Авторы связывают повышение выхода средней фракции по безводному спирту при снижении скорости процесса с изменением летучести компонентов в паровой и жидкостной фазах.

Установленные тенденции в динамике распределения отдельных летучих компонентов по фракциям в зависимости от скорости дистилляции (Таблица 4) связаны, во-первых, с изменением концентрации этилового спирта, что влияет на численное значение коэффициентов ректификации высших спиртов и компонентов энантового эфира; во-вторых, с глубиной протекания физико-химических процессов в кубе дистилляционной установки. Известно, что с увеличением продолжительности дистилляции усиливаются процессы новообразования летучих компонентов [1,4,5,21].

Также было исследовано влияние способа дистилляции (однократной и двукратной) на распределение летучих компонентов по фракциям, их состав и содержание в полученных дистиллятах.

Двукратная дистилляция предусматривает получение промежуточного продукта — спирта-сырца из сброженного сула. В Таблице 5 приведены усредненные данные, полученные при дистилляции 9 образцов сброженного сула. Установлено, что суммарная концентрация летучих компонентов в спирте-сырце (крепость 23,9% об.) в абсолютном выражении, по сравнению с их содержанием в исходном сброженном сусле (крепость 9,8% об.), возрастает почти в 2 раза.

В расчете на безводный спирт суммарная концентрация летучих компонентов в спирте-сырце снижалась в среднем на 20% по сравнению с исходным сулом. При этом массовая концентрация ацетальдегида и энантового эфира возрастала в 1,5–2 раза, а концентрация основных высших спиртов

(1-пропанол, изобутанол, изоамилол) снижалась более, чем на 30%. Существенное повышение концентрации альдегидов, в том числе ацетальдегида, связано с протеканием различных физико-химических реакций, включая окислительно-восстановительные процессы и карбонил-аминную реакцию, в кубе дистилляционной установки под действием высокой температуры. Повышение концентрации энантового эфира в спирте-сырце является следствием термического разрушения дрожжевых клеток с высвобождением высших жирных кислот. Последние, вступая в реакцию с этанолом, образуют этилкаприлат, этилкапроат и этилкапроат.

Таблица 5

Характеристика сброженного сула и спирта-сырца по содержанию основных летучих компонентов

Наименование компонента	Суло		Спирт-сырец	
	мг/дм ³	мг/дм ³ б. с.	мг/дм ³	мг/дм ³ б. с.
Ацетальдегид	20	204	72	301
Этилацетат	13	133	33	138
Метанол	2	20	5	21
1-пропанол	66	673	131	548
Изобутанол	140	1429	216	903
Изоамилол	387	3949	649	2714
Энантовый эфир	2	20	12	50
Фенилэтиловый спирт	19	194	55	230
Сумма летучих компонентов*	659	6724	1244	5302

* В данной и последующих таблицах при расчете суммарной концентрации летучих компонентов учитывались все идентифицированные вещества, часть из них не представлена в таблице.

В отличие от других видов крахмалсодержащего сырья (зерна), при получении спирта-сырца из возвратных отходов хлебопекарного производства (Таблица 5) отмечено более существенное снижение суммарной концентрации летучих компонентов за счет высших спиртов в пересчете на безводный спирт (31% против 8%). Установленные отличия могут быть связаны с особенностями биохимического состава данного вида сырья — повышенным содержанием продуктов деструкции дрожжевых клеток, среди которых присутствуют высшие жирные кислоты.

С целью определения влияния способа дистилляции на качественные характеристики конечного продукта была впервые изучена динамика распределения основных летучих компонентов по фракциям при прямой дистилляции сброженного сула (10 кг) и спирта-сырца, полученного из такого же количества сброженного сула. Эксперимент проводили при одинаковой скорости дистилляции (5,9 см³/мин).

Установлено, что при однократной (прямой) дистилляции сброженного сула в головной фракции концентрируется более 75% ацетальдегида и около 54% этилацетата от общего их содержания во всех фракциях, а суммарное содержание высших спиртов постепенно возрастает до фракции Ф7 с резким снижением во фракции Ф8 (Таблица 6). Для отдельных высших спиртов выявлены максимумы накопления. Так, максимальное содержание 1-пропанола и изобутанола зафиксировано во фракции Ф6, а изоамилола — во фракции Ф7, что обусловлено различиями в летучести данных соединений. В этих фракциях также обнаружено максимальное содержание энантового эфира. Такой труднолетучий компонент, как фенилэтиловый спирт, концентрируется во фракциях Ф7 и Ф8. По результатам расчета баланса летучих компонентов установлено, что значительная часть фенилэтилового спирта остается в барде.

Таблица 6

Динамика распределения основных летучих компонентов при однократном способе дистилляции

Наименование компонента	Содержание летучих компонентов во фракции, мг							
	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	Ф6	Ф7	Ф8
Ацетальдегид	249	35	15	10	5	3	5	3
Этилацетат	151	111	18	3	—	—	—	—
Метанол	3	5	3	—	3	3	3	—
1-пропанол	15	50	60	58	88	166	113	3
Изобутанол	30	125	154	171	237	429	122	5
Изоамилол	36	127	179	224	310	1343	1797	32
Энантовый эфир	3	5	5	8	10	33	20	4
Фенилэтиловый спирт	—	—	—	—	—	—	38	43
Сумма летучих компонентов	499	471	441	486	663	1994	2171	90

Анализ данных по динамике распределения основных летучих компонентов при дистилляции спирта-сырца не выявил принципиальных различий в характере их распределения по фракциям по сравнению с дистилляцией сброженного сула (Таблица 7). Вместе с тем изменения претерпевают как абсолютные значения отдельных показателей, так и их относительное содержание во фракциях. Так, при дистилляции спирта-сырца в головную фракцию переходит на 12,6% меньше ацетальдегида и на 14,4% — этилацетата от их суммарного содержания по сравнению с однократной дистилляцией. Также выявлено, что двукратная дистилляция характеризуется большими потерями энантового эфира с головной фракцией — они увеличиваются более чем в два раза. Выявленные зависимости связаны с изменением концентрации этилового спирта во фракциях, а также с изменением летучести отдельных компонентов и продолжительности нагрева перегоняемых сред.

Таблица 7

Динамика распределения основных летучих компонентов при двукратном способе дистилляции

Наименование компонента	Содержание летучих компонентов во фракции, мг							
	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	Ф6	Ф7	Ф8
Ацетальдегид	181	96	3	1	1	1	—	—
Этилацетат	57	85	4	—	—	—	—	—
Метанол	1	5	4	3	2	1	—	—
1-пропанол	5	40	47	71	128	122	92	3
Изобутанол	7	60	71	129	262	273	131	4
Изоамилол	5	47	67	174	489	806	1097	21
Энантовый эфир	8	7	5	9	26	30	19	—
Фенилэтиловый спирт	1	—	—	—	—	—	10	40
Сумма летучих компонентов	275	358	211	396	929	1248	1377	74

В ранее проведенных исследованиях было отмечено существенное влияние соотношения основных высших спиртов на органолептические характеристики дистиллятов и напитков на их основе [14,19]. Поэтому в настоящей работе сделан расчет величины отношения концентрации изоамилола к сумме концентраций изобутанола и 1-пропанола. Значения этого показателя были рассчитаны для каждой фракции при двух испытанных способах дистилляции (Рисунок 1). Снижение величины этого показателя обусловлено повышением концентрации изобутанола, что отрицательно сказывается на характере аромата получаемого дистиллята.

Расчетные данные показали, что характер изменения данного соотношения в процессе дистилляции не зависит от способа ее проведения и характеризуется возрастанием

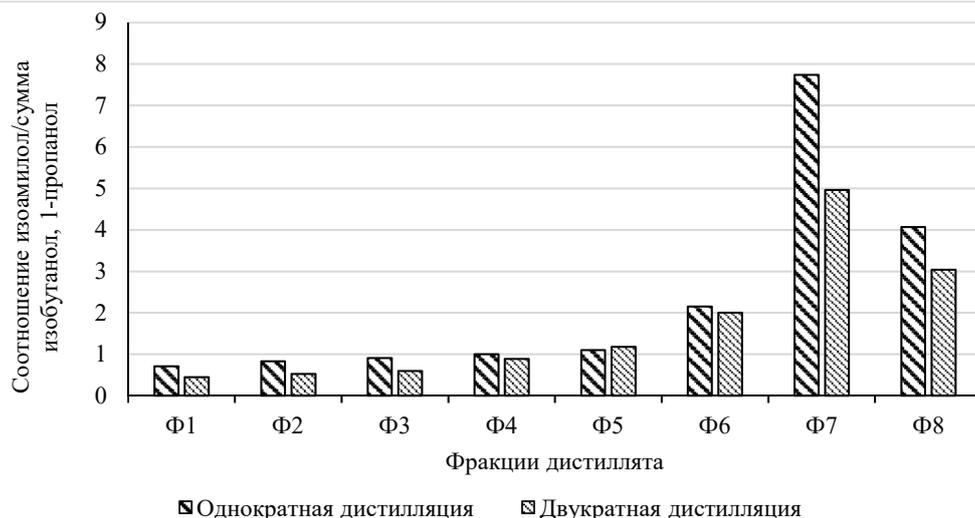


Рисунок 1. Динамика изменения соотношения высших спиртов в зависимости от способа дистилляции

с максимальными значениями во фракции Ф7, а также снижением во фракции Ф8. Однако абсолютные значения этих показателей меняются в зависимости от способа дистилляции. Представленные на Рисунке 1 данные свидетельствуют о преимуществе однократной дистилляции и позволяют прогнозировать качество получаемого дистиллята из возвратных отходов хлебопекарного производства.

Отмеченные в Таблицах 6, 7 и на Рисунке 1 отличия в содержании основных летучих компонентов при однократной и двукратной дистилляции связаны с существенной разницей в крепости перегоняемого продукта и, как следствие, с изменением коэффициентов ректификации летучих компонентов. Кроме того, на распределение летучих компонентов по фракциям влияет флегмовое число. Конструкция использованной дистилляционной установки позволила осуществлять процесс в режиме прямой сгонки (с использованием укрепляющей колонны) и в режиме двукратной дистилляции.

На завершающем этапе исследований были получены образцы дистиллятов путем объединения фракций Ф2 — Ф7. Установлено, что однократная дистилляция характеризуется повышением суммарного содержания летучих компонентов в дистилляте в среднем на 20% против образцов, полученных способом двукратной перегонки (Таблица 8).

В дистиллятах, полученных прямой сгонкой, отмечено снижение концентрации альдегидов и кетонов при более высокой концентрации высших спиртов и фенилэтилового спирта. В тоже время соотношение высших спиртов и концентрации энантиомерного эфира меняются несущественно.

Для сравнительной оценки эффективности двух исследованных способов дистилляции был проведен расчет распределения безводного спирта по фракциям с учетом потерь. Установлено, что двукратная перегонка характеризуется более высокими потерями спирта — они возрастают примерно на 1,1–1,6% (Таблица 9). В тоже время однократная дистилляция позволяет увеличить выход средней фракции на 0,9–1,3%.

Таким образом, установлено, что вид используемых возвратных отходов хлебопекарного производства в качестве исходного сырья и используемая для сбраживания сахаренного сула раса дрожжей не оказывают влияния на характер распределения основных групп летучих компонентов по фракциям при однократной дистилляции. Вместе с тем результаты исследования показали, что скорость дистилляции при прямой фракционированной сгонке сброженного сула оказывает существенное влияние на динамику распределе-

ния основных летучих компонентов и на выход дистиллята по безводному спирту. При оптимальной скорости дистилляции (5,9 см³/мин) повышается выход безводного спирта в среднем на 4%, а также снижаются потери ценных ароматобразующих летучих компонентов с головной и хвостовой фракциями. Анализ полученных данных позволяет рекомендовать проведение процесса дистилляции данного вида сырья при средней или минимальной скоростях.

Таблица 8

Влияние способа дистилляции на состав летучих компонентов дистиллятов из возвратных отходов хлебопекарного производства

Наименование компонента	Массовая концентрация, мг/дм ³ безводного спирта	
	Однократная дистилляция	Двукратная дистилляция
Ацетальдегид	70 ÷ 80	85 ÷ 95
Изобутиральдегид	5 ÷ 8	9 ÷ 15
Ацетон	2 ÷ 4	7 ÷ 9
Этилацетат	115 ÷ 130	85 ÷ 115
Метанол	10 ÷ 15	10 ÷ 15
Диацетил	4 ÷ 6	11 ÷ 14
1-пропанол	500 ÷ 600	650 ÷ 730
Изобутанол	1450 ÷ 1530	1020 ÷ 1100
Изоамилацетат	22 ÷ 30	8 ÷ 12
Изоамилол	4010 ÷ 4120	3080 ÷ 3130
Этилкапроат	30 ÷ 35	40 ÷ 45
Этиллактат	20 ÷ 25	20 ÷ 25
Гексанол	5 ÷ 10	7 ÷ 12
Этилкаприлат	25 ÷ 30	20 ÷ 25
Этилкапрат	35 ÷ 45	25 ÷ 35
Фенилэтиловый спирт	40 ÷ 50	10 ÷ 15
Сумма летучих компонентов	6350 ÷ 6730	5100 ÷ 5410

Таблица 9

Влияние способа дистилляции на распределение безводного спирта по фракциям

Фракции дистиллята	Содержание безводного спирта во фракции, % от общего содержания	
	Однократная дистилляция	Двукратная дистилляция
Головная	6,2–6,6	4,8–5,9
Средняя	89,5–90,5	88,2–89,6
Хвостовая	0,5–0,7	1,1–1,7
Потери	2,2–3,8	3,3–5,4

Как правило, при выборе способа получения дистиллята учитываются экономические аспекты, включающие в себя затраты на оборудование, продолжительность технологического цикла на выход конечного продукта из единицы сырья. При получении дистиллятов классическим способом (двукратная дистилляция) используют простые кубовые установки «шарантского» типа, оснащенные дефлегматором. Схема однократной дистилляции подразумевает применение установок более сложной конструкции. Однако двукратная дистилляция существенно продолжительнее (в 1,5–2 раза) по сравнению с однократной дистилляцией, и, следовательно, эффективность использования оборудования при этом способе ниже.

Полученные экспериментальные данные (объем фракций, крепость фракций) и их обработка позволили рекомендовать для получения дистиллятов из возвратных отходов хлебопекарного производства однократный способ перегонки.

4. Выводы

В целом выявлены значимые факторы, влияющие на процесс дистилляции при получении дистиллята из возвратных отходов хлебопекарного производства — скорость и способ дистилляции. Установлены преимущества получения дистиллятов из возвратных отходов хлебопекарного производства путем однократной фракционированной дистилляции сброженного суслу со скоростью в пределах 5,9–9,5 см³/мин по сравнению с двукратной дистилляцией. Однократная дистилляция характеризуется сокращением продолжительности технологического процесса, более высоким выходом конечного продукта из единицы сырья и накоплением в дистилляте ценных ароматобразующих летучих компонентов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lea, A.G.H., Piggott, J.R. (2003). Fermented Beverage Production. Springer US: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2003. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0187-9>
2. How Column Distillation Works: Bourbon Edition. Retrieved from: <https://www.alcacademics.com/2013/07/how-column-distillation-works-bourbon-edition.html> Accessed March 20, 2021
3. Zhang, J., Zhao, X., Qin, W., Zhang, X., Ma, Z., Sun, Y. (2021). Differences between retort distillation and double distillation in cherry spirits with double-kettle equipment. *International Journal of Food Engineering*, <https://doi.org/10.1515/ijfe-2020-0254> (unpublished data)
4. García-Llobodanin, L., Roca, J., López, J. R., Pérez-Correa, J. R., López, F. (2011). The lack of reproducibility of different distillation techniques and its impact on pear spirit composition. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(9), 1956–1963. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02707.x>
5. de Silva, A. P., Silvello, G. C., Bortoletto, A. M., Alcarde, A. R. (2020). Chemical composition of sugar cane spirit produced from different distillation methods. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23, Article e2018308. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.30818>
6. Franitza, L., Granvogel, M., Schieberle, P. (2016). Influence of the production process on the key aroma compounds of rum: From molasses to the spirit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(47), 9041–9053. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04046>
7. Песчанская, В.А., Крикунова, Л.Н., Дубинина, Е.В. (2016). Влияние длительности нагрева сброженного суслу на выход и качественные характеристики зерновых дистиллятов. *Пиво и напитки*, 3, 36–39.
8. Pu, L. -L. (2005). Study on the effects of the height of fermented grains layer on liquor distillation and liquor quality. *Liquor-making Science & Technology*, 128, 42–45.
9. Claus, M. J., Berglund, K. A. (2005). Fruit brandy production by batch column distillation with reflux. *Journal of Food Process Engineering*, 28(1), 53–67. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2005.00377.x>
10. Песчанская, В.А., Крикунова, Л.Н., Дубинина, Е.В. (2016). Влияние скорости дистилляции на процесс получения зернового дистиллята. *Пиво и напитки*, 4, 28–30.
11. de Almeida Lima, U., Teixeira, C. G., Bertozzi, J. C., Serafim, F. A. T., Alcarde, A. R. (2012). Influence of fast and slow distillation on ethyl carbamate content and on coefficient of non-alcohol components in Brazilian sugarcane spirits. *Journal of the Institute of Brewing*, 118(3), 305–308. <https://doi.org/10.1002/jib.42>
12. Li, H., Huang, W., Shen, C., Yi, B. (2012). Optimization of the distillation process of chinese liquor by comprehensive experimental investigation. *Food and Bioprocess Processing*, 90(3), 392–398. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.12.005>
13. Puentes, C., Joulia, X., Vidal, J., Esteban-Decloux, M. (2018). Simulation of spirits distillation for a better understanding of volatile aroma compounds behavior: Application to armagnac production. *Food and Bioprocess Processing*, 112, 31–62. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.08.010>
14. Оганесянц, Л.А., Лорян, Г.В. (2015). Изучение летучих компонентов шелковичных дистиллятов. *Виноделие и виноградарство*, 2, 17–20.
15. Боровиков, В.П. (2003). *Статистика. Искусство анализа данных на компьютере для профессионалов*. СПб.: Питер, 2003.
16. Бунтова, Е.В. (2011). *Статистическая обработка результатов измерений: учебное пособие*. Самара: Книга, 2011.
17. Gonzales, E.A., Agrasar, A.T., Castro, L.M.P., Fernandez, I.O., Guerra, N.P. (2010). Production and Characterization of Distilled Alcoholic Beverages Obtained by Solid-State Fermentation of Black Mulberry (*Morus nigra* L.) and Black Currant (*Ribes nigrum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(4), 2529–2535. <https://doi.org/10.1021/jf9037562>
18. Awad, P., Athès, V., Decloux, M. E., Ferrari, G., Snackers, G., Raguenaud, P., Giampaoli, P. (2017). Evolution of volatile compounds during the distillation of cognac spirit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(35), 7736–7748. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02406>
19. Оганесянц, Л.А., Песчанская, В.А., Дубинина, Е.В., Осипова, В.П., Алиева, Г.А. (2013). Качественный и количественный состав летучих компонентов плодовых водок. *Виноделие и виноградарство*, 6, 22–24.
20. Li, H., Wang, C., Zhu, L., Huang, W., Yi, B., Zhang, L. et al. (2012). Variations of flavor substances in distillation process of Chinese luzhou-flavor liquor. *Journal of Food Process Engineering*, 35(2), 314–319. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2010.00584.x>
21. Alcarde, A. R., Souza, L. M., Bortoletto, A. M. (2012). Ethyl carbamate kinetics in double distillation of sugar cane spirit. Part 2: Influence of type of pot still. *Journal of the Institute of Brewing*, 118(4), 352–355. <https://doi.org/10.1002/jib.48>

REFERENCES

1. Lea, A.G.H., Piggott, J.R. (2003). Fermented Beverage Production. Springer US: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2003. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0187-9>
2. How Column Distillation Works: Bourbon Edition. Retrieved from: <https://www.alcacademics.com/2013/07/how-column-distillation-works-bourbon-edition.html> Accessed March 20, 2021.
3. Zhang, J., Zhao, X., Qin, W., Zhang, X., Ma, Z., Sun, Y. (2021). Differences between retort distillation and double distillation in cherry spirits with double-kettle equipment. *International Journal of Food Engineering*, <https://doi.org/10.1515/ijfe-2020-0254> (unpublished data)
4. García-Llobodanin, L., Roca, J., López, J. R., Pérez-Correa, J. R., López, F. (2011). The lack of reproducibility of different distillation techniques and its impact on pear spirit composition. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(9), 1956–1963. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02707.x>
5. de Silva, A. P., Silvello, G. C., Bortoletto, A. M., Alcarde, A. R. (2020). Chemical composition of sugar cane spirit produced from different distillation methods. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23, Article e2018308. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.30818>
6. Franitza, L., Granvogel, M., Schieberle, P. (2016). Influence of the production process on the key aroma compounds of rum: From molasses to the spirit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(47), 9041–9053. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04046>
7. Peschanskaya, V.A., Krikunova, L.N., Dubinina, E.V. (2016). Effect of duration of heating the fermented mash on the yield and quality of characteristics of grain distillates. *Beer and Beverages*, 3, 36–39. (In Russian)
8. Pu, L. -L. (2005). Study on the effects of the height of fermented grains layer on liquor distillation and liquor quality. *Liquor-making Science & Technology*, 128, 42–45.
9. Claus, M. J., Berglund, K. A. (2005). Fruit brandy production by batch column distillation with reflux. *Journal of Food Process Engineering*, 28(1), 53–67. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2005.00377.x>
10. Peschanskaya, V.A., Krikunova, L.N., Dubinina, E.V. (2016). Effect of speed of distillation on process of getting grain distillate. *Beer and Beverages*, 4, 28–30. (In Russian)
11. de Almeida Lima, U., Teixeira, C. G., Bertozzi, J. C., Serafim, F. A. T., Alcarde, A. R. (2012). Influence of fast and slow distillation on ethyl carbamate content and on coefficient of non-alcohol components in Brazil-

ian sugarcane spirits. *Journal of the Institute of Brewing*, 118(3), 305–308. <https://doi.org/10.1002/jib.42>

12. Li, H., Huang, W., Shen, C., Yi, B. (2012). Optimization of the distillation process of chinese liquor by comprehensive experimental investigation. *Food and Bioproducts Processing*, 90(3), 392–398. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.12.005>
13. Puentes, C., Joulia, X., Vidal, J., Esteban-Decloux, M. (2018). Simulation of spirits distillation for a better understanding of volatile aroma compounds behavior: Application to armagnac production. *Food and Bioproducts Processing*, 112, 31–62. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.08.010>
14. Oganesyants, L.A., Loryan G. V. (2015). Volatile components of mulberry distillates. *Wine-making and Viticulture*, 2, 17–20. (in Russian)
15. Borovikov, V.P. (2003). *Statistica. The art of data analysis on a computer for professionals*. Saint-Petersburg: Piter, 2003. (In Russian)
16. Buntova, E.V. (2011). *Statistical processing of measurement results: a textbook*. Samara: Kniga, 2011. (In Russian)
17. Gonzales, E.A., Agrasar, A.T., Castro, L.M.P., Fernandez, I.O., Guerra, N.P. (2010). Production and Characterization of Distilled Alcoholic Beverages Obtained by Solid-State Fermentation of Black Mulberry (*Morus nigra* L.) and Black Currant (*Ribes nigrum* L.). *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 58(4), 2529–2535. <https://doi.org/10.1021/jf9037562>
18. Awad, P., Athès, V., Decloux, M. E., Ferrari, G., Snackers, G., Raguenaud, P., Giampaoli, P. (2017). Evolution of volatile compounds during the distillation of cognac spirit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(35), 7736–7748. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02406>
19. Oganesyants, L.A., Peschanskaya, V.A., Dubinina, E.V., Osipova, V.P., Alieva, G.A. (2013). Qualitative and quantitative composition of the volatile components of fruit vodkas. *Wine-making and viticulture*, 6, 22–24. (In Russian)
20. Li, H., Wang, C., Zhu, L., Huang, W., Yi, B., Zhang, L. et al. (2012). Variations of flavor substances in distillation process of Chinese luzhou-flavor liquor. *Journal of Food Process Engineering*, 35(2), 314–319. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2010.00584.x>
21. Alcarde, A. R., Souza, L. M., Bortoletto, A. M. (2012). Ethyl carbamate kinetics in double distillation of sugar cane spirit. Part 2: Influence of type of pot still. *Journal of the Institute of Brewing*, 118(4), 352–355. <https://doi.org/10.1002/jib.48>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p>Крикунова Людмила Николаевна — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела технологии крепких напитков, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, Москва, ул. Россолимо, 7 Тел.: +7-910-465-95-88 E-mail: cognac320@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7335-0453</p> <p>Дубинина Елена Васильевна — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, отдел технологии крепких напитков, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, Москва, ул. Россолимо, 7 Тел.: +7-903-577-53-62 E-mail: elena-vd@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8364-9539 * автор для контактов</p> <p>Макаров Сергей Юрьевич — кандидат технических наук, доцент, кафедра «Технология броидильных производств и виноделия имени Г. Г. Агабальянца», Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского (ПКУ) 109004, Москва, ул. Земляной вал, 73 E-mail: mak210@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0651-7831</p>	<p>Ludmila N. Krikunova — doctor of technical sciences, professor, leading researcher, Department of spirits, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., 119021, Moscow, Russia Tel.: +7-910-465-95-88 E-mail: cognac320@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7335-0453</p> <p>Elena V. Dubinina — candidate of technical sciences, leading researcher, Department of spirits, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., 119021, Moscow, Russia Tel.: +7-903-577-53-62 E-mail: elena-vd@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8364-9539 * corresponding author</p> <p>Sergey U. Makarov — Candidate of Technical Sciences, Docent, Department of Fermentation Production Technology and Winemaking named after G. G. Agabalyants, K. G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University) 73, Zemlyanoj Val, 109004, Moscow, Russia E-mail: mak210@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0651-7831</p>
Критерии авторства	Contribution
<p>Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат</p>	<p>Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism</p>
Конфликт интересов	Conflict of interest
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов</p>	<p>The authors declare no conflict of interest</p>

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-97-105>

Поступила 24.04.2021

Поступила после рецензирования 20.05.2021

Принята в печать 28.06.2021

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

ВОДНО-СОЛЕВАЯ ЭКСТРАКЦИЯ КАК МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ СМЕСИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ БЕЛКОВОЙ ПРИРОДЫ ИЗ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ СВИНЬИ

Василевская Е. Р., Арюзина М. А., Ветрова Е. С.*

Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:*побочное сырье, извлечение биомолекул, биоактивные вещества, электрофорез***АННОТАЦИЯ**

Актуальным решением проблемы переработки отходов мясной промышленности в России является получение полезных биологически активных соединений из богатых ими органов. Целью настоящего исследования было изучение эффективности метода экстракции физиологическим раствором как способа извлечения смеси перспективных биологически активных соединений из поджелудочной железы свиньи, а также определение оптимального времени процесса. Исследование заключалось в проведении экстракции поджелудочной железы 0,9% раствором натрия хлорида в течение 5 ч 30 мин с дальнейшим определением общей концентрации белка биуретовым методом. Также получен протеомный профиль образцов, отбираемых на протяжении всего процесса, методом одномерного денатурирующего электрофореза по Лэммли в 12,5% полиакриламидном геле. На основе анализа зависимости содержания общего белка в экстрагенте от времени определено оптимальное время экстракции, которое составило 135–150 мин. По результатам электрофореза и данных биоинформационного анализа оптимальное время экстракции для целенаправленного выделения низкомолекулярной фракции соединений составляло 90 мин. На электрофореграммах обнаружены 13 белковых полос с молекулярной массой 52 кДа и ниже. Таким образом, 0,9% раствор натрия хлорида применим для получения экстрактов, богатых биоактивными веществами, в том числе гормонами, ферментами и другими физиологически активными соединениями.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по Государственному заданию № FNEN-2019–0008 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 24.04.2021

Accepted in revised 20.05.2021

Accepted for publication 28.06.2021

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

SALINE EXTRACTION AS A METHOD OF OBTAINING A MIXTURE OF BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS OF PROTEIN NATURE FROM A PORCINE PANCREAS

Ekaterina R. Vasilevskaya, Marina A. Aryuzina, Evgeniya S. Vetrova*

V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

KEY WORDS:*by-product raw materials, extraction of biomolecules, bioactive compounds, electrophoresis***ABSTRACT**

A relevant solution to the problem of processing meat industry waste in Russia is to obtain useful biologically active compounds from abundant organs. The aim of this study was to examine the effectiveness of the saline extraction as a method for extracting a mixture of promising biologically active compounds from the porcine pancreas, as well as to determine the optimal time for the process. The study consisted of extraction of the porcine pancreas with 0,9% sodium chloride solution for 5 h 30 min with further determination of the total protein concentration and proteomic profile of the samples taken throughout the process. Based on the analysis of the dependence of the total protein content in the extractant on time, the optimal extraction time was determined to be 135–150 minutes. When studying the results of electrophoresis and the data of their processing, the optimal extraction time for the targeted isolation of the low-molecular fraction of compounds was also determined to be 90 min. At the same time, 13 protein bands with a molecular weight of 52 kDa and below were found on the electropherograms. Saline should be considered applicable for obtaining extracts rich in biologically active substances, incl. hormones, enzymes and other physiologically active compounds.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FNEN-2019–0008 of the state assignment of the V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

Одной из главных проблем большинства пищевых производств в РФ является вопрос утилизации или рационального использования отходов. На многих предприятиях мясной промышленности не налажена система сбора побочного

и эндокринно-ферментного сырья в связи со сложностью внедрения новых технологий или отсутствием потенциальных потребителей, поэтому практически весь объем сырья, не задействованного напрямую в схеме производства, утилизируется. По данным исследований [1] в России ежегодно

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Василевская, Е. Р. Арюзина, М. А. Ветрова, Е. С. (2021). Водно-солевая экстракция как метод получения смеси биологически активных соединений белковой природы из поджелудочной железы свиньи. *Пищевые системы*, 4(2), 97–105. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-4-2-97-105>

FOR CITATION: Vasilevskaya, E.R., Aryuzina, M.A., Vetrova, E.S. (2021). Saline extraction as a method of obtaining a mixture of biologically active compounds of protein nature from a porcine pancreas. *Food systems*, 4(2), 97–105. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-97-105>

получается более 1 млн т отходов мясной промышленности. Из всего объема побочного сырья на переработку направляется 20%. На основе полученного ресурса производят корма, кормовые добавки, применяемые в животноводстве, и удобрения — в сельском хозяйстве.

Интерес к побочному эндокринно-ферментному сырью животного происхождения возрос в 30-е годы XX века, когда начала развиваться медицина и ветеринария. После 1990-х годов использование сырья сократилось, так как уменьшился объем переработки скота и закрылись многие фармацевтические заводы, оборудованные для производства. Тем не менее исследования в этой области продолжают проводиться, поскольку спрос на лекарственные препараты растет, а полезные для человека соединения широко применяются в медицине (например, инсулин, рибонуклеаза, дезоксирибонуклеаза, липокаин, трипсин, химотрипсин и др.) и в пищевой промышленности в качестве пищевых добавок [2]. Многие соединения и их функции еще полностью не изучены, что открывает новое поле для исследований, поэтому многие авторы активно занимаются изучением этого направления [3,4,5]. Так, ведется изучение таких иммунокомпетентных органов свиньи, как тимус, селезенка, мезентеральные лимфатические узлы. Авторами [6,7,8,9,10] доказано, что в данном сырье содержатся функциональные белки, оказывающие противовоспалительное действие, регулирующие метаболические процессы, а также участвующие в иммунном ответе организма. Помимо указанных органов в качестве сырья для получения биологически активных соединений используют кровь свиней и коров с целью выделения гемоглобина, плазмы [11], а также семенники, гипофиз, слизистые оболочки различных частей организмов крупного рогатого скота для получения специфических биоактивных пептидов, гормонов и других полезных для человека соединений [12,13,14,15].

Поджелудочная железа свиньи является источником целого спектра биологически активных веществ (ферментов и гормонов), отвечающих за многие биохимические процессы, в том числе влияющие на метаболические пути [16]. Разработаны технологии получения таких соединений, как α -химотрипсин и трипсин, трипсиновый ингибитор. Также выделяют рибо- и дезоксирибонуклеазу [12,13], инсулин, производство которого привлекает особый интерес на протяжении уже почти века в связи с растущей потребностью лечения сахарного диабета [17]. Потенциал и перспективность свиньи как объекта в существующих и еще разрабатываемых технологиях основывается в первую очередь на схожем функционировании поджелудочной железы свиньи и человека, что позволяет транслировать влияние на человеческий организм определенных соединений, полученных из органа свиньи [18,19]. Благодаря вышеописанным свойствам поджелудочная железа свиньи используется для производства таких ферментных препаратов, как «Эластолитин», «Колитин», «Панкреатин», «Ликреаз» и др. [2]. Следует отметить, что перспективность органа не реализована полностью до сих пор. Это связано не только с приостановлением изучения поджелудочной железы в конце XX века, но и, в первую очередь, с возрождающимся интересом к различным органам, тканям, биологическим жидкостям, которые также исследуются с целью выявления возможных путей их дальнейшего применения. Параллельно с этим наблюдается довольно медленный процесс пополнения научной информации об отдельных, например, низкомолекулярных фракциях белковых компонентов поджелудочной железы в международных базах данных. Таким образом, потенциальным кажется изучение не только конкретных соединений, полученных из поджелудочной железы свиньи,

но и смесей биоактивных веществ, а также изучение их эффективного влияния на другие организмы.

Важным этапом в анализе действия биологически активных веществ является процесс их выделения из сырья с максимальным сохранением активности соединений. Так, самым распространенным методом их получения является экстракция. Уже давно была разработана технология получения биоактивных веществ на примере ингибитора протеаз из поджелудочной железы путем кислотной экстракции с использованием трихлоруксусной или уксусной [20] и серной кислоты [21]. В дальнейшем может быть исследована применимость данного метода для получения смеси биологически активных соединений и преимущественно низкомолекулярных фракций. Также описан способ спиртовой экстракции [13], включающий обработку подкисленным этанолом, однако известно, что органические растворители могут оказывать денатурирующее действие на некоторые лабильные белки, например, ферменты и гормоны, вырабатываемые поджелудочной железой [22].

Помимо вышеперечисленных методов известна водно-солевая экстракция [23,24]. Методика имеет некоторые преимущества по сравнению с другими, а именно мягкие условия (отсутствие денатурирующих веществ, резких значений pH) и использование физиологического раствора в качестве экстрагента, что приближает условия экстрагирования к естественным условиям среды организма. В связи с этим в данной работе рассматривается водно-солевая экстракция с целью определения ее эффективности. Благодаря мягким условиям процесса реализуется возможность экстрагирования как ферментов (например, антиоксидантов: каталазы, глутатионпероксидазы [25] — и непосредственно ферментов), так и неферментных регуляторных соединений в активной форме, таких как неферментные катионные белки, [26,27], некоторые антиоксиданты небелковой природы (общий восстановленный глутатион, витамин С, витамин Е [25]) и др. Целью исследований в упомянутых выше работах было получение сведений об общих закономерностях выхода соединений и получения насыщенных целевыми соединениями экстрактов.

В связи с этим целью данного исследования является изучение процесса экстракции, а именно водно-солевой экстракции, ее эффективности по отношению к выделению белковых биологически активных соединений, а также определение пригодности данного метода для извлечения низкомолекулярных фракций веществ из поджелудочной железы свиньи. Предполагается, что отсутствие денатурирующих реагентов и жестких условий (экстремальные pH и температура) позволяет получать вытяжки биоактивных веществ с их большей концентрацией, активностью, а также с высоким содержанием низкомолекулярных соединений по сравнению с другими модификациями метода экстракции.

2. Материалы и методы

Объектом исследования являлась поджелудочная железа свиньи, которую отбирали на ООО «Пушкинский мясной двор».

Предлагаемая технология экстракции была воспроизведена по методикам, описанным авторами [3,26], и заключалась в нескольких ключевых этапах: измельчении сырья, экстракции, центрифугировании, заморозке.

Сырье хранилось в замороженном виде при минус $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$. Согласно [28], длительное низкотемпературное воздействие может привести к структурным изменениям некоторых белково-пептидных фракций, поэтому для получения более точного результата рекомендуется производить отбор свежего или недавно замороженного сырья.

После размораживания при температуре $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$ сырье измельчали с использованием мясорубки (Kenwood, Англия) с решеткой: диаметр отверстий 3 мм, 100 отверстий в решетке.

Водно-солевую экстракцию проводили на ЛДУ (Лаботекс, Россия) 0,9% раствором натрия хлорида (гидромодуль 1:5) при скорости мешалки 400 об/мин в течение 330 мин с постоянным охлаждением до $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$. Отбор проб для измерения концентрации белка и протеомного анализа производили точно, до начала экстракции (0 мин), и во время экстракции (5, 10, 15 мин и затем каждые 15 мин до конечной точки). Для измерения концентрации белка каждую пробу центрифугировали на центрифуге Centrifuge 5427R (Eppendorf AG, Германия) при 1301 g в течение 5 мин при 4°C . Надосадочную жидкость отбирали и замораживали при минус $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$. По завершении экстракции весь экстракт центрифугировали и измеряли конечное количество всей надосадочной жидкости и массу осадка.

Концентрацию белка в экстракте измеряли на фотометре BioChem SA (HTI, USA) биуретовым методом. Для этого в стеклянные пробирки вносили 600 мкл биуретового реактива (HTI, USA) и 10 мкл исследуемого образца. Реакционную смесь инкубировали в течение 10 мин при комнатной температуре, после чего проводили измерение оптической плотности при 540 нм, используя в качестве раствора сравнения биуретовый реактив [3]. Этот метод, согласно авторам [29], является наиболее предпочтительным при исследовании широкого спектра белково-пептидных соединений.

Белковый состав экстрактов изучали методом одномерного денатурирующего электрофореза по Лэммли в присутствии SDS в 12,5% полиакриламидном геле. В качестве сравнения использовали маркер, включающий 11 стандартов определенных молекулярных масс: 250, 150, 100, 70, 50, 40, 30, 20, 15, 10 и 5 кДа (Fermentas, Литва). Электрофорез проводили в камере «VE-10» (Helicon, США) без дополнительного охлаждения при комнатной температуре при напряжении 60 В в течение первых 30 минут и далее при напряжении 120 В до достижения образцами нижнего края геля. Полученные электрофореграммы окрашивали красителем Ку-масси бриллиантовым синим G-250 с последующей отмывкой уксусной кислотой.

Для протеомных исследований пробоподготовку исходного сырья осуществляли следующим способом. Из эппендорфа с замороженным сырьем отбирали приблизительно 0,150 г образца, гомогенизировали в тигле с водой дистил-

лированной (гидромодуль 1:4), центрифугировали на центрифуге (Eppendorf AG, Германия) при 15000 g в течение 7 мин при 4°C . Надосадочную жидкость смешивали с буфером для образцов (1% SDS, 0,05% β -меркаптоэтанол, 8М мочевины (или 10% глицерин), бромфеноловый синий) в разведении 1:1, кипятили на водяной бане в течение 5 мин и охлаждали в холодильнике.

Обработку электрофореграмм осуществляли посредством программы ImageJ (National Institutes of Health, USA). Биоинформационный анализ белков по результатам электрофореза проводили на основе базы данных UniProt Protein DataBase [30].

3. Результаты и обсуждение

Исследование содержания общего белка в образцах в процессе экстракции показало резкое увеличение его концентрации в 8,6 раз на 5 мин (Рисунок 1).

Самые высокие значения концентрации белка приходились на 60 и 135 мин и составляли 23,1 г/л и 23,3 г/л. На графике (Рисунок 1) отмечается также наличие пиков на 195, 255 и 330 мин (21,4 г/л; 21,0 г/л; 20,8 г/л соответственно). Эти скачки концентрации белка невысоки и в пределах погрешности могут считаться выходом скорости высвобождения белка из тканей на плато. В целом график после резкого возрастания приобретает слабый синусоидальный характер, что скорее всего связано с процессами ферментализа.

Результаты исследования электрофореграмм, представленных на Рисунке 2, показали наличие белков и пептидов преимущественно в диапазоне от 50 кДа и ниже. Насыщенность фракционных полос возрастает с 135 мин и достигает пика на 330 мин, что коррелируется с представленными ранее данными общего содержания белка.

При рассмотрении протеомного профиля, полученного на 150 мин экстракции (Рисунок 2, трек 8), обнаружены 13 полос белковых фракций. Среди них присутствует четкая полоса 50–52 кДа, которая прослеживается с самого начала процесса экстракции (Рисунок 2, трек 4), четкие минорные полосы в диапазоне 37–49 кДа (37–38 кДа, 39–40 кДа, 42–43 кДа, 45–47 кДа) (Рисунок 2, трек 2), ярко выраженные полосы 33 и 31 кДа, минорная полоса 29 кДа, 25–27 кДа, две минорные полосы 20–21 кДа и 22 кДа, которые четче прослеживаются на ранних этапах экстракции (Рисунок 2, треки 4, 6, 7, 8), минорные полосы в диапазоне 12–18 кДа (12–14 кДа, 15 кДа, 17–18 кДа) (Рисунок 2, треки 3 и 4). Обнаружены низкомолекулярные соединений в диапазоне менее 10 кДа (Рисунок 2, треки 7 и 8).

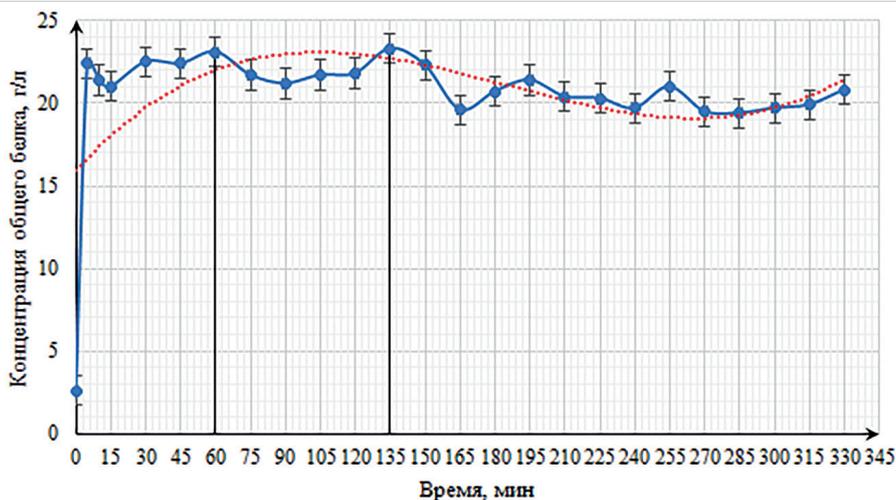


Рисунок 1. График зависимости содержания общего белка (г/л) в образцах от времени проведения экстракции (мин)

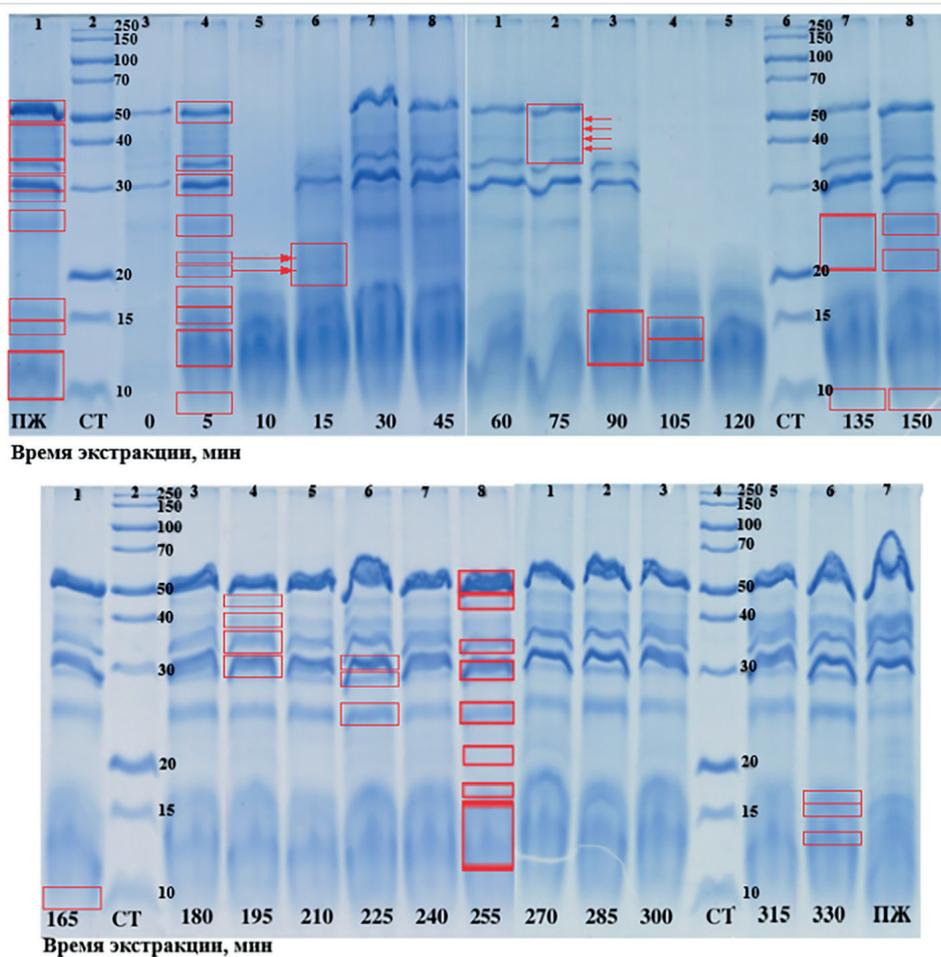


Рисунок 2. Одномерные электрофореграммы экстракта поджелудочной железы. Красным выделены значимые изменения во фракционном составе трека по сравнению с предыдущими треками

Результаты визуального анализа электрофореграмм соотносятся с данными, полученными посредством построения графиков в программе ImageJ, представленных на Рисунке 3.

Практически на всех графиках присутствуют пики в диапазоне 50–52 кДа, минорные пики в диапазоне 35–50 кДа, выраженность которых начинает увеличиваться с 165 мин (Рисунок 3, № 3, графики 1, 3–8; № 4, графики 1, 2, 6), пик 33–35 кДа, менее четкий пик в диапазоне 25–28 кДа, а также большое количество соединений молекулярной массой менее 20 кДа, которым соответствуют разные по высоте пики на всех графиках. Отмечено, что начиная с 60 мин процесса вплоть до 105 мин происходит увеличение выхода низкомолекулярной фракции с максимумом на 90 мин (Рисунок 3, № 2, график 3). Затем высота пиков падает и держится в пределах погрешности на одном уровне (Рисунок 3, № 3 и № 4).

При анализе полученных результатов электрофореграмм, графиков плотностей (графиков выраженности белковых фракций) особое внимание, наряду с общим протеомным профилем каждой стадии экстракции, уделялось низкомолекулярным фракциям, поскольку действие входящих в них биологически активных веществ не изучено полностью, и, таким образом, представляет отдельный интерес для дальнейшего изучения.

По полученным результатам исследования (Рисунок 2, трек 8) в соответствии с базой данных белков UniProt можно предположить о наличии в анализируемом экстракте поджелудочной железы следующих белков (рассмотрены соединения с молекулярной массой менее 30 кДа): глутатион

S-трансфераза омега-1 (27 кДа), проглюкагон (21 кДа), большой гастрин (17 кДа), главный изофермент фосфолипазы A2 (16,3 кДа), рибонуклеаза поджелудочной железы (13,8 кДа), колипаза (12 кДа), соматостатин (12,7 кДа). Эти биологически активные соединения являются регуляторами многих процессов, протекающих в организме:

- ❑ метаболизм L-аскорбиновой кислоты, процесс катаболизма ксенобиотиков, клеточный ответ на вещества, содержащие мышьяк. За эти функции отвечает глутатион S-трансфераза омега-1 [31];
- ❑ регуляция передачи сигналов активации аденилатциклазы, регуляция гомеостаза глюкозы и положительная регуляция глюконеогенеза, положительное регулирование импорта ионов кальция, активности протеинкиназ, фосфорилирование пептидил-серина и пептидил-треонина и многие другие процессы, за которые отвечает проглюкагон [32];
- ❑ большой гастрин стимулирует выделение слизистой оболочкой желудка соляной кислоты, а поджелудочной железой — пищеварительных ферментов [33];
- ❑ фосфолипаза A2 (кальций-зависимая) нацелена на гидролиз сложноэфирной связи ацильной группы жиров, находящейся в sn-2 положении фосфолипидов. Обладает антигельминтным действием: при заражении эпителия кишечника гельминтами напрямую влияет на содержание фосфатидилэтаноламина в мембране личинок гельминтов, обеспечивая лучшее иммунное распознавание, в конечном итоге снижая целостность личинок и инфекционность [34,35,36];

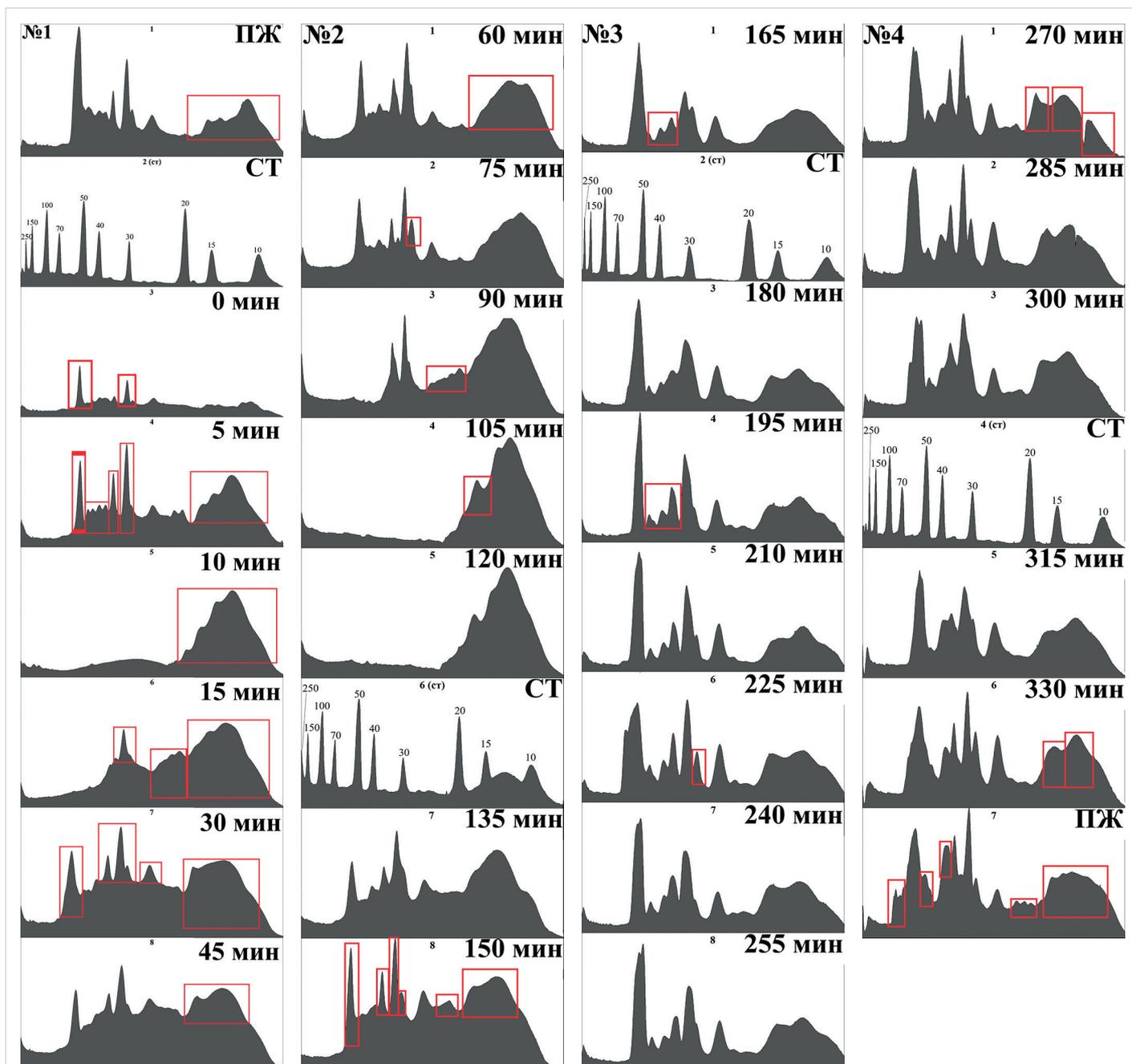


Рисунок 3. График выраженности белковых фракций. Красным отмечены характеристические изменения во фракционном составе в ходе экстракции

- ❑ рибонуклеаза поджелудочной железы является эндонуклеазой и катализирует расщепление РНК на 3-стороне пиримидиновых нуклеотидов [37];
- ❑ колипаза представляет собой кофактор липазы поджелудочной железы и обеспечивает ее закрепление на границе раздела липид-вода. Без колипазы фермент смывается солями желчных кислот, которые оказывают ингибирующее действие на липазу. Биологическая роль кофактора заключается в участии в пищеварении, катаболизме липидов [38];
- ❑ соматостатин подавляет секрецию гормонов гипофиза, может усиливать высвобождение глюкагона альфа-клетками поджелудочной железы, вызванное низким содержанием глюкозы. Может играть роль в регуляции артериального давления [39,40].

Негативное влияние в процессе экстрагирования веществ оказывает автолиз, заключающийся в расщеплении ферментами самих себя, либо других соединений, в т. ч.

целевых. Явление автолиза характерно для длительного времени экстракции [23], поскольку в вытяжке увеличивается концентрация автолитических ферментов. Их активность также повышается при комнатной температуре. Исследования [41] показывают увеличение разнообразия белковых соединений в протеомном профиле сырья, подвергнутого автолизу, по сравнению с нативным. Таким образом, рекомендуется проводить процесс при пониженных температурах, сокращать время экстрагирования, подкислять экстрагенты для подавления действия протеолитических ферментов и использовать нативное, либо замороженное сырье.

Среди существующих способов подавления автолиза интересным представляется добавление в исследуемые растворы ингибиторов протеаз, которые, способны ингибировать протеолитические ферменты путем образования с ними неактивных комплексов [42]. Большое количество ингибиторов протеиназ выделено как из растительного

сырья: бобовых (соя, фасоль, чина), овощей (картофель [43], томат, капуста), злаковых и др. [44], — так и животного: белков яиц домашних птиц [45], органов сельскохозяйственных животных, молозива [46] и др. По природе ингибиторы протеолитических ферментов принято делить на небелковые (гепарин, гиалоурановая кислота, мукополисахариды, соли тяжелых металлов и др.) и белковые, среди которых выделяют животные (ингибиторы типа Казала и Кюнитца-Нортропа и др.) и растительные (ингибиторы типа Кюнитца и Боумана-Бирка) ингибиторы протеаз.

В поджелудочной железе свиньи синтезируются предшественники протеолитических ферментов: трипсиноген, химотрипсиноген, прокарбокисептидазы А и В, проэластаза, которые посредством частичного протеолиза превращаются в активные формы — трипсин, химотрипсин, карбокисептидазы А и Б и проэластазу, соответственно [47]. Ингибиторы подбираются с учетом типа протеаз. По строению активного центра трипсин, химотрипсин и эластаза являются сериновыми протеиназами, а карбокисептидазы А и В — металлозависимыми (Zn-зависимыми) [48]. На международном рынке представлен ряд препаратов — ингибиторов протеаз, которые используются как в фармакологической промышленности, так и в пищевой отрасли [49]. Для инактивации содержащихся в поджелудочной железе свиньи протеаз можно использовать как коммерческие ингибиторы протеаз, например, соевый ингибитор трипсина типа Кюнитца, который образует с трипсином стехиометрический рН-зависимый комплекс с оптимумом при рН 8, так и изначально присутствующие в тканях соединения, например, апротинин — ингибитор трипсина, синтезируемый в поджелудочной железе для предотвращения случайной активации трипсиногена и других протеаз, активируемых трипсином, — образующий с трипсином стабильный комплекс, который разрушается при значениях рН менее 3,2 или более 10.

Однако ингибиторы протеаз следует использовать в разумном количестве, поскольку при избытке они могут оказывать негативное влияние на организм, например, снижать скорость некоторых важных реакций обмена веществ [50]. Отмечается, что корректный баланс между протеазами и соответствующими ингибиторами лежит в основе многих физиологических процессов и используется во многих исследовательских работах по обработке животного и растительного сырья для получения целевых соединений или предотвращения контаминации и т. д. [51]

При диссоциации комплексов многие ингибиторы протеаз могут выводиться из системы различными физическими и биотехнологическими методами, такими как диалитическая ультрафильтрация, ультрафильтрация, хроматография и др. При подборе подходящего способа элиминирования необходимо учитывать молекулярную массу и физические свойства не только ингибитора протеазы, но и целевых соединений, чтобы избежать их вымывания, отсеивания или потери.

4. Заключение

В ходе исследования динамики концентрации белка в процессе экстракции было отмечено достаточно быстрое достижение концентрацией белка высоких значений. Водно-солевая экстракция 0,9% раствором натрия хлорида позволяет достичь содержания белка $23,1 \pm 0,9$ г/л и $23,3 \pm 0,6$ г/л на 60 мин и на 135 мин соответственно. При этом качественный анализ содержания отдельных белковых фракций определил проявление насыщенных полос в диапазонах 50–52 кДа, 31–33 кДа, 29 кДа уже с 5 мин начала экстракции, а также наличие многих минорных полос в диапазонах 25–27 кДа, видимых с 30 мин процесса, 20–21 кДа, хорошо различимых с 5 мин по 45 мин процесса, и 12–18 и менее кДа, присутствующих на протяжении всего хода экстрагирования. Это свидетельствует о преимущественном наличии низкомолекулярных соединений массой менее 18 кДа и высокомолекулярных соединений до 52 кДа.

Оптимальным временем проведения экстрагирования стоит считать 135–150 мин, так как на этот момент приходится максимальное значение концентрации общего белка, достаточно хорошо различим протеомный профиль на электрофореграмме. Если же целевым продуктом является низкомолекулярная фракция, то время проведения процесса следует снизить до 90 мин, потому что, как видно из Рисунка 3, именно на эту точку приходится максимальная высота пика.

В качестве потенциального направления исследований можно рассматривать выделение из отдельных высоко- и низкомолекулярных фракций конкретных белков, изучение их активности. Перспективным также кажется проведение исследований, аналогичных представленному в настоящей статье и направленных на изучение процессов кислотной и спиртовой экстракции для формирования представлений о подходах к модификации процесса, способных стимулировать эффективность извлечения целевых веществ из исходного сырья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козырев, И. В., Федулова, Л. В. (2016). Повышение прибыли предприятия за счет сбора эндокриноферментного и специального сырья. *Мясные технологии*, 3, 6–11.
2. Сусь, И. В., Люблинская, Л. А., Бабурина, М. И. (2010). «Первичка» для мясной промышленности и не только. *Все о мясе*, 5, 20–23.
3. Василевская, Е. Р. (2019). Разработка кормовой добавки на основе биологически активных веществ из сырья животного происхождения. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва: ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН. — 24 с.
4. Савельева, Т. И., Асланова, Т. А., Гордиенко, И. М. (2018, 20 декабря). *Технология получения биологически активных пептидов из вторичного сырья животного происхождения*. Сборник III Всероссийской (национальной) научной конференции. Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2018.
5. Чернуха, И. М., Федулова, Л. В., Василевская, Е. Р., Ертикеева, Е. А., Ахремко, А. Г. (2015). Соединения антимикробного действия в слизистых оболочках животных. *Все о мясе*, 5, 32–35.
6. Василевская, Е. Р. (2019, 1–11 июня). *Тканеспецифичные белки, полученные с использованием воды с модифицированным изотопным составом*. Материалы Международной конференции NT + M&Eс' 2019. Гурзуф: ООО «Институт новых информационных технологий», 2019.
7. Василевская, Е. Р., Иванова, Е. А. (2018). Вода с пониженным содержанием дейтерия как основа для получения биологически активных веществ из иммунных органов *Sus scrofa*. Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. Москва: ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, 2018. № 1. — С. 43–45.
8. Котенкова, Е. А., Василевская, Е. Р., Ахремко, А. Г. (2017, 2–12 июня). *Влияние воды с модифицированным изотопным D/H составом на белково-пептидный профиль экстрактов животного происхождения*. Материалы Международной конференции. Гурзуф: ООО «Институт новых информационных технологий», 2017.
9. Федулова, Л. В., Василевская, Е. Р. (2017, 8–9 июня). *Биотехнологические аспекты разработки природного иммунокорректора как прогрессивная технология высококачественной продукции животноводства*. Материалы Международной конференции. Волгоград: Сфера, 2017.
10. Джимаков, С. С., Федулова, Л. В., Василевская, Е. Р., Басов, А. А. (2019, 1–11 июня). *Влияние различных фракций полипептидов, полученных из органов иммунной системы Sus scrofa на иммунологическую реактивность крыс*. Материалы Международной конференции NT + M&Eс' 2019. Гурзуф: ООО «Институт новых информационных технологий», 2019.
11. Mora, L., Reig, M., Toldrà, F. (2014). Bioactive peptides generated from meat industry by-products. *Food Research International*, 65(PC), 344–349. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.09.014>

12. Дамдинсүрэн, Л., Алимаа, Ж., Чимэгээ, Н., Ариунаа, Э. (2016). *Биологически активные вещества животного происхождения*. Материалы конференции: Теоретические и практические вопросы интеграции химической науки, технологии и образования. Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2016.
13. Салова, Т. Ю., Громова, Н. Ю. (2016). Теоретические аспекты получения биологически активных веществ из растительного и животного сырья. *Успехи современного естествознания*, 3, 39–43.
14. Котенкова, Е. А. (2018). Антимикробные биологически активные вещества, выделенные из слизистых оболочек свиней, как альтернативный подход к продлению сроков годности пищевой продукции. *Вопросы питания*, 87(55), 278–279.
15. Новиков, Д. А. (2014). Выделение и очистка продуктов биотехнологии. Методическое пособие. Минск: БГУ, 2014.
16. Притужалова, А.О. (2017). Анатомия и морфология поджелудочной железы крупного рогатого скота. *Молодежь и наука*, 4–1, 55.
17. Нефёдова, А. Р., Парамонова Р. Н. (2019). Инсулинотерапия XX века и производство инсулина в СССР. Память о прошлом –2019. 89–95.
18. Torcello-Gómez, A., Dupont, D., Jardin, J., Briard-Bion, V., Deglaire, A., Risse, K. et al. (2020). Human gastrointestinal conditions affect: In vitro digestibility of peanut and bread proteins. *Food and Function*, 11(8), 6921–6932. <https://doi.org/10.1039/d0fo01451f>
19. Muntholib, Sulistyaningrum, D., Subandi, Marfu'ah, S. (2020). *Identification of flavonoid isolates of papaya (carica papaya L.) seed and their activity as pancreatic lipase inhibitors*. Paper presented at the AIP Conference Proceedings, 2231, Article 3456. <https://doi.org/10.1063/5.0003456>
20. Пат. № 2088241. Способ получения основного ингибитора протеаз из легкого и поджелудочной железы крупного рогатого скота / Пак В. Н., Овечкина Л. Г. Опубл. 28.07.1997.
21. Заболоцкая, Е. Р., Виноходов, Д. О. (2018). Современные методы выделения и очистки ферментов. отделение нуклеаз от протеолитических ферментов в экстракте поджелудочной железы крупного рогатого скота. *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*, 47(73), 62–68.
22. Барбашов, К.А., Шубина, Т.П. (2020, 30 апреля). *Поджелудочная железа у животных*. Сборник статей XXVIII международной научно-практической конференции. 2020 — Москва: Актуальность РФ, 2020.
23. Кашинова, Э.Б., Котенкова, Е.А., Ертикеева, Е.А., Ахремко, А.Г. (2016). Оптимизация технологических режимов выделения биологически активных веществ из сырья животного происхождения. *Актуальная биотехнология*, 1(16), 17–22.
24. Кашинова, Э.Б. (2016). *Исследование in vitro биологической активности низкомолекулярных фракций, выделенных из органов желудочно-кишечного тракта свиней*. Международная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук. Москва: ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, 2016.
25. Gomathi, D., Ravikumar, G., Kalaiselvi, M., Devaki, K., Uma, C. (2013). Efficacy of evolulus alsinoides (L.) L. on insulin and antioxidants activity in pancreas of streptozotocin induced diabetic rats. *Journal of Diabetes and Metabolic Disorders*, 12(1), Article 39. <https://doi.org/10.1186/2251-6581-12-39>
26. Дубровина, В.И., Лукьянова, С.В., Юрьева, О.В., Витязева, С.А., Николаев, В.Б., Ястремская, К.Ю. и др. (2015). Оценка иммуногенных свойств антигенного препарата *Bacillus anthracis Sterne 34F₂* в сочетании с наноконъюнктами (сообщение 3). *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*, 14(5(84)), 62–66.
27. Логунова, Л.В., Зубрильчев, И.В., О. В. Андрианова, О.В. (2013). Динамика структурных преобразований предстательной и поджелудочной желез, а также изменение содержания ферментных катионных белков при некоторых эндокринопатиях. *Астраханский медицинский журнал*, 4, 86–88.
28. Василевская, Е.Р. (2017). *Сравнительное изучение белкового профиля животных экстрактов после заморозки*. Международная научно-практическая конференция, посвящённая памяти Василия Матвеевича Горбатова. Москва: ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, 2017. № 1. — С. 57–58.
29. Василевская, Е.Р., Котенкова, Е.А., Лукинова, Е.А., Калинова, Е.А. (2017). Методология исследования белково-пептидных компонентов экстрактов тканей *sus scrofa*. *Теория и практика переработки мяса*, 2(3), 79–85. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2017-2-3-79-85>
30. UniProt Protein knowledgebase (UniProtKB), 2002–2020. Retrieved from <https://www.uniprot.org/> Accessed December 16, 2021
31. Rouimi, P., Anglade, P., Benzekri, A., Costet, P., Debrauwer, L., Pineau, T., Tulliez, J. (2001). Purification and characterization of a glutathione S-transferase omega in pig: Evidence for two distinct organ-specific transcripts. *Biochemical Journal*, 358(1), 257–262. <https://doi.org/10.1042/0264-6021:3580257>
32. Jiang, G., Zhang, B. B. (2003). Glucagon and regulation of glucose metabolism. *American Journal of Physiology — Endocrinology and Metabolism*, 284(4 47–4), E671–E678. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00492.2002>
33. Monnet, E., Smeak, D.D. (2020). *Anatomy and Physiology of the Stomach*. Chapter in a book: *Gastrointestinal Surgical Techniques in Small Animals*. John Wiley & Sons, 2020.
34. Liebscher, S., Ambrose, R. L., Aktepe, T. E., Mikulashova, A., Prier, J. E., Gillespie, L. K. et al. (2018). Phospholipase A₂ activity during the replication cycle of the flavivirus west nile virus. *PLoS Pathogens*, 14(4), Article e1007029. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PPAT.1007029>
35. Astudillo, A. M., Balboa, M. A., Balsinde, J. (2019). Selectivity of phospholipid hydrolysis by phospholipase A₂ enzymes in activated cells leading to polyunsaturated fatty acid mobilization. *Biochimica Et Biophysica Acta — Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1864(6), 772–783. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2018.07.002>
36. Entwistle, L. J., Pelly, V. S., Coomes, S. M., Kannan, Y., Perez-Lloret, J., Czieso, S. et al. (2017). Epithelial-cell-derived phospholipase A₂ group 1B is an endogenous anthelmintic. *Cell Host and Microbe*, 22(4), 484–493.e5. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2017.09.006>
37. Lang, D. —T., Wang, X. -P., Wang, L., Yu, L. (2017). Molecular evolution of pancreatic ribonuclease gene (RNase1) in Rodentia. *Journal of Genetics and Genomics*, 44(4), 219–222. <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2017.05.002>
38. Haque, N., Prakash Prabhu, N. (2018). Binding orientation and interaction of bile salt in its ternary complex with pancreatic lipase-colipase system. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 499(4), 907–912. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2018.04.018>
39. Ørgaard, A., Holst, J. J. (2017). The role of somatostatin in GLP-1-induced inhibition of glucagon secretion in mice. *Diabetologia*, 60(9), 1731–1739. <https://doi.org/10.1007/s00125-017-4315-2>
40. Svendsen, B., Holst, J. J. (2021). Paracrine regulation of somatostatin secretion by insulin and glucagon in mouse pancreatic islets. *Diabetologia*, 64(1), 142–151. <https://doi.org/10.1007/s00125-020-05288-0>
41. Чернуха, И.М., Федуллова, Л.В., Котенкова, Е.А., Шишкин, С.С., Ковалев, Л.И. (2016). Длияние автолиза на протеомно-пептидный профиль сердечной мышцы и аорты *Bos taurus* и *Sus scrofa*. *Теория и практика переработки мяса*, 1(2), 4–9. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2016-1-2-4-9>
42. Mosolov, V.V., Valueva, T.A. (2011). Inhibitors of proteolytic enzymes under abiotic stresses in plants (Review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 47(5), 453–459. <https://doi.org/10.1134/S0003683811050097>
43. Гагарина, И.Н., Горькова, И.В., Костромичева, Е.В., Ботуз, М.И. (2015). Ингибиторы ферментов трипсина и химотрипсина в картофеле. *Современные тенденции развития науки и технологий*, 3–2, 49–51.
44. Петибская, В. С. (1999). Ингибиторы протеолитических ферментов. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 5–6(252–253), 6–10.
45. Никифорова Т. Е. (2007). Безопасность продовольственного сырья и продуктов питания. Иваново: Ивановский государственный химико-технологический университет, 2007.
46. Поляков, В.Ф., Ипатова, О.М., Усачев, И.И. (2018). Ингибиторы протеаз молозива млекопитающих, их функция в процессах пищеварения и защите организма животных. *Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии*, 5(69), 34–41.
47. Сереброва С. Ю. (2006). Перспективы применения ферментных препаратов в гастроэнтерологии. *Болезни органов пищеварения*, 8(1), 23–27.
48. Немова, Н. Н., Бондарева, Л. А. (2008). К вопросу об эволюции протеолитических ферментов. *Биомедицинская химия*, 54(1), 42–57.
49. Protease-Inhibitor Mix M. Serva. Serving scientists. Retrieved from https://serva.de/en/DE/ProductDetails/810_39102_Protease_Inhibitor_Mix_M_0_0.html Accessed May 20, 2021.
50. Pamirsky, I. E., Borodin, E. A., Shtarberg, M. A. (2012). *Regulation of Proteolysis of Plant and Animal Inhibitors*. LAP Lambert Academic Publishing, 2012.
51. Cotabarren, J., Lufirano, D., Parisi, M. G., Obregón, W. D. (2020). Biotechnological, biomedical, and agronomical applications of plant protease inhibitors with high stability: A systematic review. *Plant Science*, 292, Article 110398. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110398>

REFERENCE:

1. Kozyrev, I. V., Fedulova, L. V. (2016). Increasing the profit of the enterprise due to the collection of endocrine-enzyme and special raw materials. *Meat Branch*, 3, 6–11. (In Russian)
2. Sus' I.V., Lyublinskaya, L.A., Baburina, M.A. (2010). "Primary" for the meat industry and not only. *Vsyo o myase*, 5, 20–25. (In Russian)
3. Vasilevskaya E. R. (2019). Development of a feed additive based on biologically active substances from raw materials of animal origin. Author's abstract of the dissertation for the scientific degree of Candidate of Technical Sciences. Moscow: Gorbato Research Center for Food Systems. — 24 p. (In Russian)
4. Savel'yeva, T.I., Aslanova, T.A., Gordiyenko, I.M. (2018, 20 December). *Technology for obtaining biologically active peptides from secondary raw materials of animal origin*. Processing of the III All-Russian (national) Scientific Conference. Novosibirsk: Novosibirsk State Agrarian University, 2018. (In Russian)
5. Chernukha, I.M., Fedulova, L.V., Vasilevskaya, E.R., Ertikeeva, E.A., Akhremko, A.G. (2015). Research of mucous membranes of animals. *Vsyo o myase*, 5, 32–35. (In Russian)
6. Vasilevskaya, E.R. (2019, 1–11 June). *Tissue specific proteins extracted with water with modified isototic composition*. Materials of the International

- Conference NT + M&Ec ' 2019. Gurzuf: Institute of New Information Technologies, 2019. (In Russian)
7. Vasilevskaya, E.R., Ivanova, E.A. (2018). *Water with a reduced deuterium content as a basis for obtaining biologically active substances from the immune organs of Sus scrofa*. International scientific and practical conference dedicated to the memory of Vasily Matveyevich Gorbato, 2018. 1, 43–45. (In Russian)
 8. Kotenkova, E.A., Vasilevskaya, E.R., Akhremko, A.G. (2017, 2–12 June). *Deuterium depleted water influence on protein-peptide profile in extracts prepared from animal immune organs*. Materials of the International Conference. Gurzuf: Institute of New Information Technologies, 2019. (In Russian)
 9. Fedulova, L.V., Vasilevskaya, E.R. (2017, 8–9 June). *Biotechnological aspects of the development of a natural immunocorrector as a progressive technology for high-quality livestock products*. Materials of the International Conference. Volgograd: Sfera, 2017. (In Russian)
 10. Dzhimak, S.S., Fedulova, L.V., Vasilevskaya, E.R., Basov, A.A. (2019, 1–11 June). *Influence of different polypeptides fractions derived from Sus scrofa immune organs on the rats immunological reactivity*. Materials of the International Conference NT + M&Ec ' 2019. Gurzuf: Institute of New Information Technologies, 2019. (In Russian)
 11. Mora, L., Reig, M., Toldrá, F. (2014). Bioactive peptides generated from meat industry by-products. *Food Research International*, 65(PC), 344–349. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.09.014>
 12. Damdinsuren L., Alimaa, Zh, Chimegee, N., Ariunaa, E. (2016). *Biologically active compounds of animal origin*. Materials of the International Conference. Ulan-Ude: East Siberian State University of Technologies and Management, 2016. (In Russian)
 13. Salova, T. Yu., Gromova, N. Yu. (2016). Theoretical aspects of obtaining biologically active substances from plant and animal materials. *Advances in Current Natural Sciences*, 3, 39–43. (In Russian)
 14. Kotenkova, E. A. (2018). Antimicrobial biologically active substances isolated from the mucous membranes of pigs as an alternative approach to extending the shelf life of food products. *Problems of Nutrition*, 87(S5), 278–279. (In Russian)
 15. Novikov, D. A. (2014). Isolation and purification of biotechnology products. Minsk: BGU, 2014. (In Russian)
 16. Prituzhalova, A. O. (2017). Anatomy and morphology of the pancreas of cattle. *Youth and Science*, 4–1, 55. (In Russian)
 17. Nefyodova, A. R., Paramonova, R. N. (2019). Insulin therapy of the 20th century and insulin production in the USSR. 89–95. (In Russian)
 18. Torcello-Gómez, A., Dupont, D., Jardin, J., Briard-Bion, V., Deglaire, A., Risse, K. et al. (2020). Human gastrointestinal conditions affect: In vitro digestibility of peanut and bread proteins. *Food and Function*, 11(8), 6921–6932. <https://doi.org/10.1039/d0fo01451f>
 19. Muntholib, Sulistyaningrum, D., Subandi, Marfu'ah, S. (2020). *Identification of flavonoid isolates of papaya (carica papaya L.) seed and their activity as pancreatic lipase inhibitors*. Paper presented at the AIP Conference Proceedings, 2231, Article 3456. <https://doi.org/10.1063/5.0003456>
 20. Pak V. N., Ovechkina L. G. A method of obtaining the main protease inhibitor from the lung and pancreas of cattle. Patent RF, no.2088241, 1997. (In Russian)
 21. Zabolockaya, E. R., Vinohodov, D. O. (2018). Modern methods of isolation and purification of enzymes. Separation of nucleases from proteolytic enzymes in extract of pancreas of cattle. *Processing St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University)*, 47(73), 62–68. (In Russian)
 22. Barbashov, K.A., Shubina, T.P. (2020, 30 April). *Pancreas in animals*. Collection of articles of the XXVIII International Scientific and Practical Conference Moscow: Current news, 2020. (In Russian)
 23. Kashinova, E.B., Kotenkova, E.A., Ertikeeva, E.A., Akhremko, A.G. (2016). Optimization of technological regimes of isolation of biologically active substances from animal raw materials. *Current Biotechnology*, 1(16), 17–22. (In Russian)
 24. Kashinova, E.B. (2016). *In vitro study of low molecular weight fractions extracted from porcine gastrointestinal organs*. International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and specialists of the Department of Agricultural Sciences of the RAS.Moscow: Gorbato Research Center for Food Systems, 2016. (In Russian)
 25. Gomathi, D., Ravikumar, G., Kalaiselvi, M., Devaki, K., Uma, C. (2013). Efficacy of evolvulus alsinoides (L.) L. on insulin and antioxidants activity in pancreas of streptozotocin induced diabetic rats. *Journal of Diabetes and Metabolic Disorders*, 12(1), Article 39. <https://doi.org/10.1186/2251-6581-12-39>
 26. Dubrovina, V.I., Lukyanova, S.V., Yurieva, O.V., Vityazeva S. A., Nikolaev, V.B., Yastremskaya, K. Yu. et al. (2015). Evaluation of the immunogenic properties of the antigen preparation bacillus anthracis Sterne 34F₂ combined with nanocomposites (communication 3). *Epidemiology and Vaccinal Prevention*, 5(84), 62–66. (In Russian)
 27. Logunova, L.V., Zubrilchev, I.V., Andrianova, O.V. (2013). The dynamics of structural changes in the prostate gland and pancreas and change in content of non-enzymatic cationic proteins in some endocrinopathy. *As-trakhan Medical Journal*, 8(4), 86–88. (In Russian)
 28. Vasilevskaya, E.R. (2017). *Comparative study on the protein profile of animal extracts after freezing*. International scientific and practical conference dedicated to the memory of Vasily Matveyevich Gorbato, 2017. 1, 57–58. (In Russian)
 29. Vasilevskaya, E.R., Kotenkova, E.A., Lukinova, E.A., Kalinova, E.A. (2017). Research methodology of Sus scrofa tissue extracts protein-peptide components. *Theory and practice of meat processing*, 2(3), 79–85. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2017-2-3-79-85>
 30. UniProt Protein knowledgebase (UniProtKB), 2002–2020. Retrieved from <https://www.uniprot.org/> Accessed December 16, 2021
 31. Rouimi, P., Anglade, P., Benzekri, A., Costet, P., Debrauwer, L., Pineau, T., Tulliez, J. (2001). Purification and characterization of a glutathione S-transferase omega in pig: Evidence for two distinct organ-specific transcripts. *Biochemical Journal*, 358(1), 257–262. <https://doi.org/10.1042/0264-6021:3580257>
 32. Jiang, G., Zhang, B. B. (2005). Glucagon and regulation of glucose metabolism. *American Journal of Physiology — Endocrinology and Metabolism*, 284(4 47–4), E671–E678. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00492.2002>
 33. Monnet, E., Smeak, D.D. (2020). Anatomy and Physiology of the Stomach. Chapter in a book: *Gastrointestinal Surgical Techniques in Small Animals*. John Wiley & Sons, 2020.
 34. Liebscher, S., Ambrose, R. L., Aktepe, T. E., Mikulasova, A., Prier, J. E., Gillespie, L. K. et al. (2018). Phospholipase A₂ activity during the replication cycle of the flavivirus west Nile virus. *PLoS Pathogens*, 14(4), Article e1007029. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PPAT.1007029>
 35. Astudillo, A. M., Balboa, M. A., Balsinde, J. (2019). Selectivity of phospholipid hydrolysis by phospholipase A₂ enzymes in activated cells leading to polyunsaturated fatty acid mobilization. *Biochimica Et Biophysica Acta — Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1864(6), 772–785. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2018.07.002>
 36. Entwistle, L. J., Pelly, V. S., Coomes, S. M., Kannan, Y., Perez-Lloret, J., Czieso, S. et al. (2017). Epithelial-cell-derived phospholipase A₂ group 1B is an endogenous anthelmintic. *Cell Host and Microbe*, 22(4), 484–493.e5. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2017.09.006>
 37. Lang, D. -T., Wang, X. -P., Wang, L., Yu, L. (2017). Molecular evolution of pancreatic ribonuclease gene (RNase1) in Rodentia. *Journal of Genetics and Genomics*, 44(4), 219–222. <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2017.05.002>
 38. Haque, N., Prakash Prabhu, N. (2018). Binding orientation and interaction of bile salt in its ternary complex with pancreatic lipase-coliase system. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 499(4), 907–912. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2018.04.018>
 39. Ørsgaard, A., Holst, J. J. (2017). The role of somatostatin in GLP-1-induced inhibition of glucagon secretion in mice. *Diabetologia*, 60(9), 1731–1739. <https://doi.org/10.1007/s00125-017-4315-2>
 40. Svendsen, B., Holst, J. J. (2021). Paracrine regulation of somatostatin secretion by insulin and glucagon in mouse pancreatic islets. *Diabetologia*, 64(1), 142–151. <https://doi.org/10.1007/s00125-020-05288-0>
 41. Chernukha, I.M., Fedulova, L.V., Kotenkova, E.A., Shishkin, S.S., Kovalyov, L.I. (2016). The influence of autolysis on the protein-peptide profile of Bos taurus and Sus scrofa heart and aorta tissues. *Theory and practice of meat processing*, 1(2), 4–9. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2016-1-2-4-9> (In Russian)
 42. Mosolov, V.V., Valueva, T.A. (2011). Inhibitors of proteolytic enzymes under abiotic stresses in plants (Review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 47(5), 453–459. <https://doi.org/10.1134/S0003683811050097>
 43. Gagarina, I.N., Gorkova, I.V., Kostromicheva, E.V., Botuz, M.I. (2015). Inhibitors of trypsin and chymotrypsin enzymes in potatoes. *Modern Trends in the Development of Science and Technology*, 3–2, 49–51. (In Russian)
 44. Petibskaya, B. C. (1999). Proteolytic enzyme inhibitors. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 5–6, 6–10. (In Russian)
 45. Nikiforova, T.E. (2007). Safety of food raw materials and food products. Ivanovo: Ivanovo State University of Chemical Technology, 2007. (In Russian)
 46. Polyakov, V.F., Ipatova, O.M., Usachev, I.I. (2018). Mammals' colostrum protease inhibitors, their function in digesting and protection of animals. *VESTNIK of the Bryansk State Agricultural Academy*, 5(69), 38–41. (In Russian)
 47. Serebrova, S. Yu. (2006). Prospects for the use of enzyme preparations in gastroenterology. *Diseases of the Digestive System*, 8(1), 23–27. (In Russian)
 48. Nemova, N. N., Bondareva, L. A. (2008). To the problem of proteolytic enzyme evolution. *Biomeditsinskaya Khimiya*, 54(1), 42–57. (In Russian)
 49. Protease-Inhibitor Mix M. Serva. Serving scientists Retrieved from https://serva.de/enDE/ProductDetails/810_39102_Protease_Inhibitor_Mix_M_0_0.html Accessed May 20, 2021
 50. Pamirsky, I. E., Borodin, E. A., Shtarberg, M. A. (2012). Regulation of Proteolysis of Plant and Animal Inhibitors. LAP Lambert Academic Publishing, 2012.
 51. Cotabarren, J., Lufano, D., Parisi, M. G., Obregón, W. D. (2020). Biotechnological, biomedical, and agronomical applications of plant protease inhibitors with high stability: A systematic review. *Plant Science*, 292, Article 110398. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110398>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p>Василевская Екатерина Романовна — кандидат технических наук, научный сотрудник, экспериментальная клиника — лаборатория биологически активных веществ, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-92-11 E-mail: e.vasilevskaya@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4752-3939</p>	<p>Ekaterina R. Vasilevskaya — candidate of technical sciences, researcher, Experimental clinic-laboratory of biologically active substances of animal origin, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-92-11 E-mail: e.vasilevskaya@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4752-3939</p>
<p>Арюзина Марина Александровна — старший лаборант, экспериментальная клиника -лаборатория биологически активных веществ, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-92-11 E-mail: m.aryuzina@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6886-496X</p>	<p>Marina A. Aryuzina — senior laboratory assistant, Experimental clinic-laboratory of biologically active substances of animal origin, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-92-11 E-mail: m.aryuzina@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6886-496X</p>
<p>Ветрова Евгения Сергеевна — старший лаборант, экспериментальная клиника — лаборатория биологически активных веществ, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-92-11 E-mail: e.vetrova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2219-5964 * автор для контактов</p>	<p>Evgeniya S. Vetrova — senior laboratory assistant, Experimental clinic-laboratory of biologically active substances of animal origin, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-92-11 E-mail: e.vetrova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2219-5964 * corresponding author</p>
Критерии авторства	Contribution
<p>Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат</p>	<p>Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism</p>
Конфликт интересов	Conflict of interest
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов</p>	<p>The authors declare no conflict of interest</p>

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-106-110>

Поступила 16.02.2021

Поступила после рецензирования 13.04.2021

Принята в печать 10.06.2021



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

РАЗРАБОТКА СОКОВЫХ ПЛОДОВООЩНЫХ ПРОДУКТОВ, ОБОГАЩЕННЫХ КОЛЛАГЕНОМ

Верхивкер Я. Г.*, Мирошниченко Е. М., Павленко С. И.

Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, Украина

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
соковые продукты, животный и растительный коллаген, рецептуры, показатели качества

АННОТАЦИЯ

Красота и старение организма человека связаны с таким веществом-белком, как коллаген. Возможность нашего организма, с возрастом, вырабатывать этот биологически активный компонент самостоятельно и в нужном количестве — ограничена. Коллаген замедляет процессы старения кожи, предотвращает травмы, способствует заживлению ран, улучшает усвоение аминокислот, может помочь поддержать или улучшить биофизические свойства кожи — эластичность, влажность, снизить трансэпидермальную потерю воды и решить проблему шероховатости кожи. Целью исследовательской работы является разработка технологии, рецептур пищевых продуктов — плодовоовощных соков, напитков, обогащенных животным или растительным коллагеном. В результате, изучен ассортимент и качество разных видов коллагена — томатного, говяжьего, свиного и рыбного. Изучены органолептические показатели этой пищевой добавки и выбран наиболее предпочтительный образец коллагена для напитков. Определено требуемое количество этого вещества, при обеспечении необходимого качества напитков. Исследовано сохранение активных свойств различных видов коллагена в питьевом продукте. Доказано, что говяжий коллаген в количестве 5% к массе напитка, максимально сохраняет активные свойства, по фракционному составу — солевой, спиртовой, щелочной фракциям белка. Показано, что аминокислоты метионин, триптофан и оксипролин, являющиеся подтверждением наличия коллагена в продукте, содержатся в готовых соковых напитках, обогащенных коллагеном говяжьего происхождения. Этот вид коллагена позволяет получить напитки «питьевого» качества, что подтверждено органолептическими и физико-химическими показателями. В целом исследования показали, что новый ассортимент сокосодержащих плодовоовощных продуктов составляет в организм человека важный биологически активный компонент — коллаген.

Received 16.02.2021

Accepted in revised 13.04.2021

Accepted for publication 10.06.2021

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY OF JUICE FRUIT AND VEGETABLE PRODUCTS ENRICHED WITH COLLAGEN

Yakov G. Verkhivker, Elena M. Myroshnichenko, Svetlana I. Pavlenko

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine

KEY WORDS:
juice products, animal and vegetable collagen, formulations, quality indicators

ABSTRACT

The beauty and aging of the human body is associated with such a protein substance as collagen. Our body's ability to produce this biologically active component naturally and in the right amount becomes limited as we age. Collagen slows down the aging process of the skin, prevents injury, promotes wound healing, improves the absorption of amino acids, can help maintain or improve the biophysical properties of the skin (elasticity, moisture), reduce transepidermal water loss and solve the problem of skin roughness. The purpose of the research work is the development of the technology, recipes for food products — fruit and vegetable juices, drinks, enriched with animal or plant collagen. As a result, the assortment and quality of different types of collagen (tomato, beef, pork and fish) were studied. The organoleptic characteristics of this food additive were studied and the most preferred collagen sample for drinks was selected. The required amount of this substance has been determined, while ensuring the required quality of the drinks. The preservation of the active properties of various types of collagen in a drinking product was investigated. It was proved that beef collagen in an amount of 5% to the mass of the drink retains its active properties as much as possible, in terms of fractional composition — salt, alcohol, alkaline protein fractions. It has been shown that the amino acids methionine, tryptophan and hydroxyproline, which confirm the presence of collagen in the product, are contained in ready-made juice drinks enriched with collagen of beef origin. This type of collagen makes it possible to obtain drinks of “potable” quality, which is confirmed by organoleptic and physicochemical indicators. In general, the studies have shown that a new assortment of juice-containing fruit and vegetable products supplies the important biologically active component (collagen) to the human body.

1. Введение

Коллаген — основной компонент и самый распространённый белок у человека, составляющий от 25% до 35% белков во всём теле.

Традиционно коллагеновые препараты используются как составляющие различных косметических средств — лосьонов, кремов, действие которых направлено на улучшение состояния кожного покрова человека. В последнее

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Верхивкер, Я. Г., Мирошниченко, Е. М., Павленко, С.И. (2021). Разработка технологии соковых плодовоовощных продуктов, обогащенных коллагеном. *Пищевые системы*, 4(2), 106-110. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-106-110>

FOR CITATION: Verkhivker, Ya.G., Myroshnichenko, E.A., Pavlenko, S.I. (2021). Development of technology of juice fruits collagen rich products. *Food systems*, 4(2), 106-110. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-106-110>

время все чаще ученые рассматривают коллаген и его производные как активную пищевую добавку, которая входит в состав пищевого продукта либо потребляется человеком перорально при потреблении пищи. Питательный коллаген активно используется спортсменами, сторонниками активного образа жизни, а также в разнообразных диетах. Однако, он рекомендуется к приему только ограниченное время и в определенном рецептурном соотношении с другими компонентами [1–4].

Коллаген и один из его производных — желатин оказывает благоприятное воздействие на кожный покров человека, улучшает состояние кожи, ее упругость и влажность. Исследованы вопросы, связанные с влиянием приема коллагеновых препаратов после хирургического вмешательства, так как основной задачей хирурга и пациента является эффективное заживление ран. Безостановочное и быстрое закрытие ран влияет и на конечный эстетический результат. Лечение ран часто чрезвычайно затруднено у пациентов с сопутствующей патологией (например, диабетом или сосудистыми заболеваниями) и представляет собой проблему для лечащего врача. Исследования на животных подтвердили положительный эффект перорально вводимых пептидов коллагена, что привело к ускорению эпителизации и сокращению времени заживления, а также усилению заживления ран у пациентов с диабетом. Клинические испытания продемонстрировали положительный эффект на физиологию кожи [5,6].

Так же исследования подтвердили, что пероральное применение специфических биоактивных коллагеновых пептидов продемонстрировало положительный эффект на синтез матрикса и физиологию кожи. Полученные данные свидетельствуют о том, что продукт с коллагеновой добавкой можно использовать для улучшения заживления ран даже в тех случаях, когда происходит нормальная регенерация ран, для достижения лучшего эстетического результата [7–9].

Если употреблять коллаген и в то же время достаточно двигаться, правильно питаться или даже полностью изменить свой образ жизни, действие коллагена будет ощутимо на любом жизненном этапе. Можно утверждать, что активные ингредиенты в виде коллагеновой пищевой добавки и их объемы могут оказать синергетическое положительное воздействие, эффективно повысить эластичность кожи, влажность, снизить трансэпидермальную потерю воды и уменьшить шероховатость кожи. Дополнительное количество антиоксидантов, пептидов и аминокислот, содержащихся в пищевом продукте с коллагеном, может оказывать влияние на многие функции организма, например, защищать соединительную ткань и суставы, подавлять воспалительные процессы [10,11].

В пищевой промышленности коллаген используется в качестве желатина в различных желеобразных продуктах различного назначения, консистенция которых сохраняется вне зависимости от их вкуса. С точки зрения питания, коллаген и желатин являются неполноценными белками, так как они не содержат всех незаменимых аминокислот необходимых человеку. Коллаген в качестве добавки целесообразно вводить в те продукты, которые используются людьми постоянно, а не эпизодически, например, напитки.

Разработаны рецептуры функциональных фруктовых соковых напитков, обогащенных коллагеном из смесей апельсинового, яблочного и белого виноградного сока, содержащих такие ингредиенты, как гидролизованный рыбный коллаген, лимонная кислота, аскорбиновая кислота и натуральный мятный ароматизатор. Результаты показывают, что состав с добавлением 2.5% гидролизованного коллагена был оптимальным [12].

Разработана технология напитков типа «Шорли» с коллагеном на основе минеральных вод природного происхождения. В их состав входит различное плодово-ягодное сырье. Проведено обоснование компонентного состава и рецептуры напитков на основе растворимого коллагена рыбного происхождения. Использовали гидрат коллагеновых белков из кожи толстолобика в виде 2% дисперсии, три вида питьевой минеральной воды: «Славяновская», «Ессентуки 4» и «Нарзан». В качестве плодово-ягодного сырья были выбраны соки малины, вишни и черной смородины. Полученные образцы напитков обладают хорошими органолептическими и физико-химическими показателями [13].

Разработаны и получены разнообразные напитки-кисели на коллагеновой основе, с применением дополнительного отвара с мякотью из облепихи, настойки из порошка сушеного корня цикория и отвара с мякотью из топинамбура [14].

Как видим, разработки коллагенсодержащих продуктов касались такого ассортимента, который либо эпизодически используются [13], либо является функциональными и используются в питании определенных конкретных групп населения [12,14]. Соковые продукты на основе фруктового и овощного сырья используются в регулярном питании всех групп населения, не носят ограниченного характера. Эти продукты имеют легко регулируемые физико-химические показатели, что влияет на усвояемость такой биологически активной добавки, как коллаген. Нет рассмотрения вопросов, связанных с использованием коллагена в различных продуктах, с такой точки зрения. В работах приводятся конкретные значения органолептических показателей только для того вида коллагена, который использовали исследователи.

Настоящая работа посвящена вопросам создания продуктов питания (сокосодержащих плодово-овощных нектаров, напитков) с использованием различных видов коллагена, у которых регулируется значение величины pH для наиболее эффективного использования полезных свойств этого вещества, создания легко усваиваемой пищевой продукции ежедневного потребления для решения возрастных и других проблем, связанных со здоровьем человека.

2. Материалы и методы

Так как настоящее исследование посвящено использованию коллагена в рецептуре сокосодержащих напитков, то основной задачей методики разработки композиций являлось обеспечение минимизации влияния этого вспомогательного вещества на органолептические характеристики готовой продукции при соблюдении его полезных биологических активных свойств.

Для исследования использовали коллаген растительного и животного происхождения — томатный, говяжий, свиной, рыбный, томатный, производства фирмы GELITA AG (Германия) [15]. Определяли органолептические показатели добавки в сухом виде и водном растворе в соответствии с утвержденной нормативной документацией.

В качестве базовых композиций, при разработке рецептур, приняты фруктовые, овощные и ягодные соки, напитки с мякотью или замутненные и их купажи, приготовленные из полуфабрикатов пюре и концентратов персика, яблок, бананов, клубники, гуавы, черной смородины, груши, малины, свеклы, черники, ежевики, манго различных отечественных производителей — концентраты сока клубники, черной смородины, малины, черники, ежевики; Deler (Германия) — концентрат сока свеклы, сока манго; Ghouseia Food Products (Индия) — полуфабрикат пюре манго; Grunewald (Германия) — концентрированный яблочный сок и концентрированное пюре гуавы.

В готовый рецептурный купаж вводили коллагеновую добавку в сухом виде. Введение коллагена осуществляли при непрерывном перемешивании купажа, для равномерного распределения добавки по всему объему продукта.

Массовую долю коллагена в рецептуре нектара варьировали от 5.0 до 40.0% к общей массе продукта, который вводили за счет уменьшения в рецептуре основного сокового компонента. Такой интервал выбран с целью определения влияния не только вида коллагена на массовую долю белка в конечном продукте, но и для получения данных о содержании в конечном продукте массовой доли ами-нокислот — метионина, триптофана и оксипролина, которые характеризуют наличие коллагена в продукте (так как только коллаген положительно влияет на соединительные ткани организма) и отсутствие его денатурации в желатин.

В готовых соковых продуктах, обогащенных коллагеном, определяли:

- органолептические показатели по ГОСТ 8756.1–2017;
- массовую долю белка по методу Кьельдаля ГОСТ Р 53951–2010;
- фракционный состав белков определяли по методу Ермакова А. И. [16];
- аминокислотный состав продукта по ГОСТ 34132–2017.

3. Результаты и обсуждение

Для исследований и разработки рецептур соковых продуктов с коллагеном использовали коллаген растительного и животного происхождения в сухом виде и в водном растворе. Первоначально определили органолептические показатели коллагена в ассортименте, которые приведены в Таблице 1.

Таблица 1

Органолептические показатели коллагена

Вид коллагена	Органолептические показатели в высушенном состоянии	Органолептические показатели водного раствора	Стабильность водного раствора
Говяжий	Без запаха	Без постороннего запаха и вкуса	Осадок отсутствует, незначительное помутнение
Свиной	Без запаха	Без постороннего запаха и вкуса	Образование взвесей и небольших хлопьев
Рыбный	Резкий химический запах	Резкий химический запах	Образование хлопьев
Растительный (томатный)	Запах томатного сырья	Запах и вкус свойственные томатам	Образование осадка

Для окончательного выбора коллагеновой добавки, которую можно использовать в производстве указанной продукции, были проведены опыты по определению зависимости содержания белка от массовой доли коллагеновых добавок для всех исследованных образцов. Массовую долю коллагена в рецептуре нектара варьировали от 5.0 до 40.0% к общей массе продукта, который вводили за счет уменьшения в рецептуре основного сокового компонента. Такой интервал выбран с целью определения влияния не только вида коллагена на массовую долю белка в конечном продукте, но и для получения данных о содержании в конечном продукте массовой доли аминокислот — метионина, триптофана и оксипролина, которые характеризуют наличие коллагена в продукте (так как только коллаген положительно влияет на соединительные ткани организма) и отсутствие его денатурации в желатин. Результаты представлены в Таблице 2.

Таблица 2

Зависимость содержания белка от массовой доли коллагеновой добавки в продукте

Вид коллагена	Массовая доля коллагеновой добавки в соковом продукте, %								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Содержание белка, %									
Говяжий	2,01	2,38	2,40	2,55	2,60	2,70	3,09	3,29	3,48
Свиной	2,01	2,56	2,59	2,85	3,20	3,23	3,30	3,84	4,37
Рыбный	2,01	2,52	2,58	2,88	3,15	3,46	3,77	4,07	4,38
Растительный	2,01	2,21	2,33	2,40	2,62	2,75	2,80	2,90	2,96

Проведены исследования по определению фракционного состава белка в продукте с массовой долей 5% коллагена к основной рецептуре, данные которых представлены в Таблице 3.

Таблица 3

Фракционный состав белков в продукте с массовой долей коллагена 5%

Вид коллагена	Водная фракция*, мг/дм ³	Солевая фракция*, мг/дм ³	Спиртовая фракция*, мг/дм ³	Щелочная фракция*, мг/дм ³
Говяжий	93,16	5,14	1,10	0,60
Свиной	85,98	5,06	6,40	2,56
Рыбный	97,15	1,50	1,30	следы
Растительный	99,40	следы	следы	следы

* на абсолютно сухое вещество после лиофильной сушки образцов продукта.

Проведены опыты по определению содержания основных аминокислот, характеризующих наличие в соковом продукте коллагена (метионина, триптофана и оксипролина). Результаты этих экспериментов приведены в Таблице 4.

Таблица 4

Массовая доля метионина, триптофана и оксипролина в продукте нектар «Свекла-Манго-Яблоко»

Вид коллагена	Метионин, %		Триптофан, %		Оксипролин, %	
	*	**	*	**	*	**
Говяжий	0,009867	0,6676	0,00296	0,020	0,342009	2,314
Свиной	0,10919	0,6176	0,000792	0,005	0,421314	2,383
Рыбный	0,018089	0,1142	0,00583	0,035	0,382577	2,295
Растительный	0,16649	1,153	0,002383	0,0165	0,028302	0,196
Без коллагена	0,0018089	0,1142	0,000792	0,005	0,007492	0,0473

* на исходный продукт.

** на абсолютно сухое вещество.

При разработке рецептур соковых купажируемых продуктов, обогащенных коллагеном, за основу были приняты базовые рецептуры нектаров и напитков с мякотью в соответствии с действующей нормативной документацией: нектар «Персик», нектар «Яблоко — Гуава-Банан», нектар «Банан — Клубника», нектар «Груша — Яблоко», напиток «Черника-Ежевика-Малина», нектар «Свекла-Манго-Яблоко», напиток «Яблоко — Мята» [17–20]. Так как коллаген — это белок, то его введение в жидкие продукты может вызвать возникновение желеобразной субстанции, повысить вязкость сока, которые приведут к ухудшению органолептических показателей сокового продукта — внешнего вида, запаха, вкуса, консистенции. Разработанный ассортимент включал в себя сокосодержащие продукты — нектары и напитки, которые за счет наличия в составе достаточно большого количества плодовой мякоти (6–12%) естественным образом скрывают от потребителя наличие желеобразной субстанции в объеме продукта, а равномерное распределение мякоти по всему продуктовому объему, обеспеченное

процессом гомогенизации продукта при его изготовлении, не позволяет проявляться непривычным органолептическим ощущениям при потреблении готовой продукции [17–20]. В 7 видов нектаров и напитков с мякотью добавлялись четыре вида животного и растительного коллагена в сухом виде и в виде водного раствора — говяжьего, свиного, рыбного и томатного в количестве 5%. Были проведены органолептические исследования, полученных 28 образцов нектаров и напитков с мякотью, обогащенных коллагеном.

Как следует из Таблицы 1 по органолептическим характеристикам коллагены свиной, рыбий, томатный имеют отличительные свойства — характерные либо резкие запах и вкус, а также образуют взвеси, хлопьев и осадка при растворении в воде. Также сенсорные исследования показали, что коллаген растительного происхождения томатный обладает специфическим, характерным запахом томатов, поэтому его можно использовать только в соковых продуктах, в рецептуру которых входят томатопродукты. Поэтому, для дальнейших исследований, в качестве биодобавки в соковые продукты, выбран коллаген животного происхождения, говяжий.

Анализируя опытные данные в Таблицы 2, можно отметить, что начиная с 10% массовой доли коллагеновых добавок к рецептуре, начинается резкий рост белка в соковом продукте. При этом, в диапазоне от 5% до 10% для всех видов коллагена, содержание белка в соковом продукте остается практически постоянной величиной. Но увеличение коллагеновой добавки в рецептуре от 5% до 10% и выше приводит к ухудшению «питьевого» качества соковых продуктов, т. е. возникновению густой консистенции. Поэтому выбрана концентрация коллагеновой добавки в сокодержащих продуктах на уровне 5% от суммарной рецептуры продукта.

Экспериментальные данные (Таблица 3) по определению фракционного состава белка в продукте с массовой долей 5% коллагена к основной рецептуре показали, что растительный коллаген вносит в продукт только водную фракцию бел-

ка. Коллаген животного происхождения, говяжий и свиной, вносит все виды исследуемых фракций в максимальном количестве, поэтому эти виды коллагена можно использовать для обогащения соковых продуктов.

Анализируя полученные данные в Таблице 4, видим, что количество аминокислот в соковом продукте практически равно количеству этих же аминокислот в продукте, который изготовлен по исходной рецептуре без добавления коллагена. Только количество оксипролина существенно отличается от количества других аминокислот. Так же добавленный в рецептуру нектара коллаген гидролизует в продукте в один из его маркеров — оксипролин, что показывает катаболизм этого белка. При внесении в продукт рыбного и свиного коллагена не изменяется количество метионина и триптофана, по сравнению с исходной рецептурой, соответственно. Эксперимент показал, что в образце нектара только говяжий коллаген обеспечил увеличение всех исследуемых аминокислот и, в связи с этим, как добавку выбираем коллаген животного происхождения — говяжий.

Органолептические показатели разработанных рецептур соковых продуктов с коллагеном позволили сделать вывод, что необходимое количество говяжьей коллагеновой добавки составляет 5%.

4. Выводы.

1. Наиболее предпочтительным видом коллагена является коллаген животного происхождения — говяжий в качестве биологической добавки в плодоовощные нектары и напитки.
2. Коллаген необходимо вводить в количестве 5% от суммарной рецептуры сокодержащего продукта. Это обеспечивает максимальное обогащение готового продукта коллагеном и сохранит его «питьевое» качество.
3. Наличие в готовом продукте оксипролина, свидетельствует о гидролизации коллагена в сокодержащих продуктах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Благотворительный фонд поддержки научных исследований «Наука за продление жизни». Материалы Фонда. Научные тренды продления жизни. Электронный ресурс: <https://scienceagainstaging.com/materials> Дата обращения: 24.01.2021
2. Collagen type XIV (Col 14) — Коллаген 14 типа. Электронный ресурс: <http://xn-80aabqbnift4db.xn-p1ai/antigen-item/collagen-type-xiv-col14/> Дата обращения: 24.01.2021
3. Bolke, L., Schlippe, G., Joachim Gerß, J., Werner Voss, W. (2019). A Collagen supplement improves skin hydration, elasticity, roughness, and density: results of a randomized, placebo-controlled, blind study. *Nutrients*, 11(10), Article 2494. <https://doi.org/10.3390/nu11102494>
4. León-López, A., Morales-Peñalza, A., Martínez-Juárez, V. M., Vargas-Torres, A., Zeugolis, D. I., Aguirre-Alvarez, G. (2019). Hydrolyzed collagen sources and applications. *Molecules*, 24(22), Article molecules24224031. <https://doi.org/10.3390/molecules24224031>
5. Кременевская М. И. (2019). Научные основы технологий глубокой переработки коллагенсодержащего сырья для получения продуктов с заданными свойствами. Автореф. дис. докт. техн. наук. Москва, ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова. — 34 с.
6. Lima, R. V., Amaral, C. L., Minatti, J. (2020). Collagen peptides combined with type II in joint pain of the elderly. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, 7, 115–127. <https://doi.org/10.32749/nucleodocnhocimento.com.br/nutrition/collagen-peptides> (In Portuguese)
7. Зорин, В.Л., Зорина, А.И., Петракова, О.С., Черкасов, В.Р. (2009). Дermalные фибробласты для лечения дефектов кожи. *Гены и клетки*, 4(4), 26–40.
8. Paul, C., Leser, S., Oesser, S. (2019). Significant amounts of functional collagen peptides can be incorporated in the diet while maintaining indispensable amino acid balance. *Nutrients*, 11(5), Article 1079. <https://doi.org/10.3390/nu11051079>
9. Bolke, L., Schlippe, G., Gerß, J., Voss, W. (2019). A collagen supplement improves skin hydration, elasticity, roughness, and density: Results of a randomized, placebo-controlled, blind study. *Nutrients*, 11(10), Article 2495. <https://doi.org/10.3390/nu11102494>
10. Harris, M., Potgieter, J., Ishaq, K., Shahzad, M. (2021). Developments for collagen hydrolysate in biological, biochemical, and biomedical domains: A comprehensive review. *Materials*, 14(11), Article 2806. <https://doi.org/10.3390/ma14112806>
11. Shoshan, S., Gross, J. (1974). Biosynthesis and metabolism of collagen and its role in tissue repair processes. *Israel Journal of Medical Sciences*, 10(5), 537–561.
12. Bilek, S. E., Bayram, S. K. (2015). Fruit juice drink production containing hydrolyzed collagen. *Journal of Functional Foods*, 14, 562–569. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.02.024>
13. Новикова, И.В., Антипова, Л.В., Романюк, Т.И., Бовва, О.А., Кудряшов, М.С. (2020). Разработка технологии напитков типа «Шорли» с коллагеном. *Вестник Воронежского Государственного Университета Инженерных Технологий*, 82(3(85)), 50–57. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-3-50-57>
14. Антипова, Л.В., Сторублевцев, С.А., Гетманова, А.А. (2018). Коллагенсодержащие напитки для функционального питания. *Вестник Воронежского Государственного Университета Инженерных Технологий*, 80(3(77)), 97–103. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-3-97-103>
15. GELITA FPM — Ingredients for the world of tomorrow. Retrieved from <https://www.gelita.com/en/products/fats-proteins-minerals> Accessed January 24, 2021
16. Ермаков, А. И., Арасимович, В.В., Ярош, Н.П. (1987). Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 1987.
17. Зюзина, А.В., Макарова, Н.В. (2009). Напитки на основе яблочного сока. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 4(310), 5–7.
18. Борисенко, Е.В., Алексеева, Ю.И., Дикун, М.Ю., Климова, С.А. (2003). Безалкогольные напитки на натуральном растительном сырье. *Пиво и напитки*, 5, 50–52.
19. Филонова, Г.Л., Ковалева, И.Л., Комракова, Н.А., Щербакова, В.В., Никифорова, Е.В., Осипова, В.П. и др. (2012). Пищевая комбинаторика в технологиях поликомпонентных концентратов с использованием растительного сырья и напитков на их основе. *Пиво и напитки*, 4, 22–25.
20. Гореликова, Г.А., Маюрникова, Л.А., Степанова, О.А. (2008). Влияние растительных экстрактов на качество и функциональные свойства сокодержащих напитков. *Пиво и напитки*, 4, 40–41.

REFERENCES

- Charitable Foundation for the Support of Scientific Research “Science for Life Extension”. Foundation materials. Life extension scientific trends. A review of research in the biology of aging. Retrieved from <https://scienceagainstaging.com/materials> Accessed January 24, 2021 (In Russian)
- Collagen type XIV (Col 14) — Коллаген 14 типа. Retrieved from <http://xn-80aabqbnift4db.xn-p1ai/antigen-item/collagen-type-xiv-col14/> Accessed January 24, 2021 (In Russian)
- Bolke, L., Schlippe, G., Joachim Gerß, J., Werner Voss, W. (2019). A Collagen supplement improves skin hydration, elasticity, roughness, and density: results of a randomized, placebo-controlled, blind study. *Nutrients*, 11(10), Article 2494. <https://doi.org/10.3390/nu11102494>
- León-López, A., Morales-Peñaloza, A., Martínez-Juárez, V. M., Vargas-Torres, A., Zeugolis, D. I., Aguirre-Álvarez, G. (2019). Hydrolyzed collagen-sources and applications. *Molecules*, 24(22), Article molecules24224031. <https://doi.org/10.3390/molecules24224031>
- Kremenevskaya, M.I. (2019). Scientific bases of technologies for deep processing of collagen-containing raw materials for obtaining products with desired properties. Author’s abstract of the dissertation for the scientific degree of Doctor of Technical Sciences. Moscow, Gorbатов Research Center for Food Systems, 34 p. (In Russian)
- Lima, R. B., Amaral, C. L., Minatti, J. (2020). Collagen peptides combined with type II in joint pain of the elderly. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, 7, 115–127. <https://doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/nutrition/collagen-peptides> (In Portuguese)
- Zorin, V.L., Zorina, A.I., Petrakova, O.S., Cherkasov, V.R. (2009). Dermal fibroblasts for the treatment of skin defects. *Genes & Cell*, 4(4), 26–40. (In Russian)
- Paul, C., Leser, S., Oesser, S. (2019). Significant amounts of functional collagen peptides can be incorporated in the diet while maintaining indispensable amino acid balance. *Nutrients*, 11(5), Article 1079. <https://doi.org/10.3390/nu11051079>
- Bolke, L., Schlippe, G., Gerß, J., Voss, W. (2019). A collagen supplement improves skin hydration, elasticity, roughness, and density: Results of a randomized, placebo-controlled, blind study. *Nutrients*, 11(10), Article 2495. <https://doi.org/10.3390/nu11102494>
- Harris, M., Potgieter, J., Ishfaq, K., Shahzad, M. (2021). Developments for collagen hydrolysate in biological, biochemical, and biomedical domains: A comprehensive review. *Materials*, 14(11), Article 2806. <https://doi.org/10.3390/ma14112806>
- Shoshan, S., Gross, J. (1974). Biosynthesis and metabolism of collagen and its role in tissue repair processes. *Israel Journal of Medical Sciences*, 10(5), 537–561.
- Bilek, S. E., Bayram, S. K. (2015). Fruit juice drink production containing hydrolyzed collagen. *Journal of Functional Foods*, 14, 562–569. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.02.024>
- Novikova, I.V., Antipova, L.V., Romanyuk, T.I., Bovva, O.A., Kudryashov, M.S. (2020). Development of technology for “Shorley” type beverages with collagen. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 82(3(85)), 50–57. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-3-50-57> (In Russian)
- Antipova, L.V., Storublevtsev, S.A., Getmanova, A.A. (2018). Collagen drinks for functional nutrition. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 80(3(77)), 97–103. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-3-97-103> (In Russian)
- GELITA FPM — Ingredients for the world of tomorrow. Retrieved from <https://www.gelita.com/en/products/fats-proteins-minerals> Accessed January 24, 2021
- Ermakov, A.I., Arasimovach, V.V., Yarosh, N.P. (1987). Methods of biochemical research of plants. Leningrad: Agropromizdat, 1987.
- Zyuzina, A.V., Makarova, N.V. (2009). Apple juice drinks. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 4(310), 5–7. (In Russian)
- Borisenko, E.V., Alekseeva, Yu.I., Dikun, M. Yu., Klimova, S.A. (2003). Non-alcoholic beverages on natural raw materials. *Beer and beverages*, 5, 50–52.
- Filonova, G.L., Kovaleva, I.L., Komrakova, N.A., Scherbakova, V.V., Niki-forova, E.V., Osipova, V.P. et al/ (2012). Food combinatorics in technologies of multicomponent concentrates involving vegetable ingredients and beverages based on these technologies. *Beer and beverages*, 4, 22–25. (In Russian)
- Gorelikova, G.A., Mayurnikova, L.A., Stepanova, O.A. (2008). Influence of vegetable extracts on the quality and functional properties of juice drinks. *Beer and beverages*, 4, 40–41. (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p>Верхивкер Яков Григорьевич — доктор технических наук, профессор, Кафедра биоинженерии и воды, Одесская национальная академия пищевых технологий 65039, Украина, Одесса, ул. Канатная, 112 E-mail: yaverkhivker@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2563-4419 * автор для контактов</p>	<p>Yakov G. Verkhivker — doctor of technical sciences, professor, Department of Bioengineering and Water, Odessa National Academy of Food Technologies 112, Kanatna str., 65039, Odessa, Ukraine E-mail: yaverkhivker@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2563-4419 * corresponding author</p>
<p>Мирошниченко Елена Михайловна — кандидат технических наук, доцент, Кафедра биоинженерии и воды, Одесская национальная академия пищевых технологий 65039, Украина, Одесса, ул. Канатная, 112 E-mail: kushnir.kamenka@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7376-8008</p>	<p>Elena M. Mirishnichenko — candidate of technical sciences, docent, Department of Bioengineering and Water, Odessa National Academy of Food Technologies 112, Kanatna str., 65039, Odessa, Ukraine E-mail: kushnir.kamenka@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7376-8008</p>
<p>Павленко Светлана Ивановна — аспирант, Кафедра биоинженерии и воды, Одесская национальная академия пищевых технологий 65039, Украина, Одесса, ул. Канатная, 112 E-mail: pavlenko@schedro.ua ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8888-5266</p>	<p>Svetlana I. Pavlenko — graduate student, Department of Bioengineering and Water, Odessa National Academy of Food Technologies 112, Kanatna str., 65039, Odessa, Ukraine E-mail: pavlenko@schedro.ua ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8888-5266</p>
Критерии авторства	Contribution
<p>Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат</p>	<p>Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism</p>
Конфликт интересов	Conflict of interest
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов</p>	<p>The authors declare no conflict of interest</p>

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-111-116>

Поступила 21.05.2021

Поступила после рецензирования 20.06.2021

Принята в печать 28.06.2021

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ШТАММА ДРОЖЖЕЙ *CYSTOBASIDIUM SLOOFFIAE*, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ТЕСТОВОГО ОБРАЗЦА ТОРТА

Баженова А. Е.*, Руденко О. С., Пестерев М. А., Щербакова Н. А., Мистенева С. Ю.

Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

бактериальное загрязнение,
пищевое загрязнение, дрожжи,
ДНК-анализ, секвенирование,
идентификация

АННОТАЦИЯ

В настоящее время во всем мире актуальной является проблема обеспечения и сохранения качества и безопасности пищевых продуктов на протяжении всего их жизненного цикла. По данным Всемирной организации здравоохранения, болезни пищевого происхождения, связанные с употреблением некачественных продуктов питания и включающие в себя группу болезней, вызываемых в том числе микробными патогенами, имеют широкое распространение во многих странах мира и по-прежнему являются основной причиной заболеваемости и смертности. В связи с этим предотвращение микробиологической порчи пищевых продуктов является важной задачей, стоящей перед всеми отраслями пищевой промышленности. Одним из путей ее решения становится проведение исследований по выявлению потенциальных источников микробиологической обсемененности продуктов, в том числе мучных кондитерских изделий. Торты — это многокомпонентные кондитерские изделия. Как правило, они являются продуктами с высокой массовой долей влаги, что предопределяет наличие в них благоприятной среды для развития всех видов микроорганизмов и способствует нестабильности данного вида продукции к воздействию условий окружающей среды в процессе хранения. В работе определяли количество плесеней и дрожжей посевом на плотную питательную среду (Сабуру). Чистые культуры выделяли методом истощающего штриха. Исследовали микроорганизмы микроскопическим методом в окрашенном и неокрашенном виде. Идентификацию сахаролитических ферментов выделенных культур бактерий проводили с использованием питательных сред Гисса. На основе анализа последовательности рибосомальных генов, полученных при секвенировании участка ДНК, кодирующего область ITS-D1/D2 рДНК, провели точную идентификацию штамма. Анализ филогенетического родства, построенный с использованием штаммов близкородственных микроорганизмов, показал, что наиболее близким к исследуемому штамму является *Cystobasidium*, вид *Cystobasidium slooffiae*. Источником *Cystobasidium slooffiae* является окружающая среда. Обнаружение этого штамма свидетельствует о нарушениях санитарно-гигиенического состояния инвентаря, оборудования, производственных помещений, включая труднодоступные места, а также о нарушении правил гигиены персоналом; кроме того, это говорит о высокой обсемененности сырья.

Received 21.05.2021

Accepted in revised 20.06.2021

Accepted for publication 28.06.2021

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

IDENTIFICATION OF THE YEAST STRAIN *CYSTOBASIDIUM SLOOFFIAE* ISOLATED FROM THE CAKE TEST SAMPLE

Alla E. Bazhenova*, Oksana S. Rudenko, Mikhail A. Pesterev,
Natalya A. Shcherbakova, Svetlana Yu. Misteneva

All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry, Moscow, Russia

KEY WORDS:

bacterium contamination,
food contamination, yeast,
DNA analysis, sequencing,
species identification

ABSTRACT

Nowadays, the problem of food safety and quality assurance throughout the product life cycle is topical in the whole world. According to the WHO data, foodborne diseases linked with consumption of unsafe food, including diseases caused by microbial pathogens, are common in many world countries and are still the main cause of morbidity and mortality. Therefore, prevention of the microbiological spoilage of food products is an important task in all food industry sectors. One of the ways for its solution is to carry out investigations to reveal potential sources of microbial contamination of food products including flour confectionery. Cakes are multi-component confectionery products. As a rule, they have the high moisture mass fraction, which conditions the presence of a favorable environment for the development of all types of microorganisms and contributes to the instability of this product type to the effects of environmental conditions during storage. In this study, yeast and mold counts were determined by growing cultures on the solid culture medium (Sabouraud). Pure cultures were isolated by the streak plate method. Stained and unstained microorganisms were examined by the microscopic method. Saccharolytic enzymes of the isolated bacterial cultures were identified using the Hiss's culture media. Based on the analysis of the ribosomal gene sequence obtained by sequencing the DNA region encoding the ITS-D1/D2 rDNA region, an accurate identification of the strain was performed. The phylogenetic relationship analysis carried out using strains of closely related microorganisms showed that species *Cystobasidium slooffiae* was the closest relative of the studied strain. The source of *Cystobasidium slooffiae* was the environment. The detection of this strain indicates violations of the sanitary and hygienic condition of inventory, equipment, industrial premises, including hard-to-reach places, as well as violations of the hygiene rules by personnel; in addition, this indicates the high contamination of raw materials.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Баженова А. Е., Руденко О. С., Пестерев М. А., Щербакова Н. А., Мистенева С. Ю. (2021). Идентификация штамма дрожжей *cystobasidium slooffiae*, выделенных из тестового образца торта. *Пищевые системы*, 4(2), 111-116. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-4-2-111-116>

FOR CITATION: Bazhenova, A.E., Rudenko, O.S., Pesterev, M.A., Shcherbakova, N.A., Misteneva, S. Yu. (2021). Identification of the yeast strain *cystobasidium slooffiae* isolated from the cake test sample. *Food systems*, 4(2), 111-116. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-111-116>

1. Введение

Кондитерские изделия традиционно любимы всеми возрастными группами. Сладкий вкус, красивый дизайн и яркая упаковка создают ассоциацию с детством и праздником. С 2015 по 2019 гг. производство мучных кондитерских изделий в России выросло на 11%: с 1,85 до 2,05 млн т. Наибольший прирост отмечался в 2019 г. — производство выросло на 3,4% относительно предыдущего года [1].

На сегодняшний день отмечается тенденция приобретения тортов не только к торжествам, но и для повседневного потребления, особенно это касается тортов длительного хранения. Практически каждый третий потребитель приобретает торты и пирожные приблизительно один раз в месяц [2].

По данным Федеральной службы государственной статистики, в 2019 году производство тортов и пирожных недлительного хранения составило 295 тонн (Рисунок 1) [3].

Производство тортов и пирожных недлительного срока хранения составляет 14,37%.

За последние 3 года произошло некоторое снижение производства тортов промышленным способом, но в это же время выросла популярность изготовления тортов с заказом через социальные сети. В России спрос на изготовление тортов за 2020 год вырос на 72% по сравнению с 2019 годом, а предложение услуг по их изготовлению увеличилось на 39% [4].

В соответствии с определением торт — сложное, многокомпонентное кондитерское изделие, имеющее разнообразную форму, с оформлением поверхности, состоящее из двух и более различных полуфабрикатов: выпеченного(ых) и отделочного(ых) [5].

В качестве отделочных полуфабрикатов используются различные виды кремов, начинок и глазурей, в бисквитных тортах применяется полуфабрикат сироп для промочки с использованием спиртосодержащего сырья.

Большинство видов тортов являются продуктами с высокой массовой долей влаги. Значения показателя активности воды в них предопределяют наличие благоприятной среды для развития всех видов микроорганизмов, в том числе патогенных и, как следствие, способствуют нестабильности данного вида продукции к воздействию условий окружающей среды в процессе его хранения.

Это накладывает особые требования к санитарии и гигиене производства и микробиологической обсемененности используемого сырья.

Для продуктов твердой консистенции микроорганизмы часто располагаются неравномерно (гнездами). Гнездовое распределение бактерий в пищевых продуктах может затруднять выявление патогенных микробов. Идентификация микрофлоры тортов важна для определения источника ее

попадания в продукт: из окружающей среды, оборудования при неудовлетворительной санитарной очистке, сырья и т. д.

Определение и идентификация микрофлоры микробиологической обсемененности мучных кондитерских изделий являются сложной задачей в связи разнообразием обсемененности [6–8].

Самым точным методом идентификации является метод высокопроизводительного секвенирования [9]. Эти исследования важны для обеспечения безопасности, поскольку торты из-за своего состава могут стать благоприятной средой для размножения патогенных микроорганизмов. Обеспечение безопасности пищевой продукции является одной из приоритетных задач производства.

Микробиологические нормативы безопасности пищевой продукции регламентируются ТР ТС 021/2011 и определяются показателями: количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, бактерии группы кишечных палочек, *S.aureus*, плесени и дрожжи.

Дрожжи встречаются в природе повсеместно. Идентификацию дрожжей проводят по основным систематическим признакам: способность образовывать ложный мицелий и отношение к сахарам, а также по морфологическим признакам. Для некоторых видов дрожжей характерно окрашивание в желтый, розовый, красный цвета, что обусловлено наличием в клетках пигментов — каротиноидов. К ним относятся аспорогенные дрожжи рода *Rhodotorula* [10–14]. Виды *Rhodotorula*, ранее считавшиеся непатогенными, в соответствии с последними исследованиями стали относить к условно-патогенным микроорганизмам.

Виды *Rhodotorula* могут быть выделены из многих источников окружающей среды: воздуха, почвы, воды, молока, фруктового сока [15].

В ряде исследований некоторые виды дрожжей рода *Rhodotorula*, пигментированные в различных оттенках красного, по результатам ДНК анализа предложено классифицировать как дрожжи рода *Cystobasidium*, поскольку многие виды диморфных базидиомицетов были известны ранее только в их бесполой фазе [16,17].

Идентификация вида микроорганизма, особенно при его систематическом появлении в продукции, позволит выявить источник его происхождения. Для корректной идентификации необходимо проводить исследования не только по морфологическим и биохимическим признакам, но и по последовательности рибосомальных генов.

Цель исследования: установление возможных источников микробиологической обсемененности пищевой продукции путем идентификации и определения вида дрожжей в тестовом образце бисквитно-кремового торта.

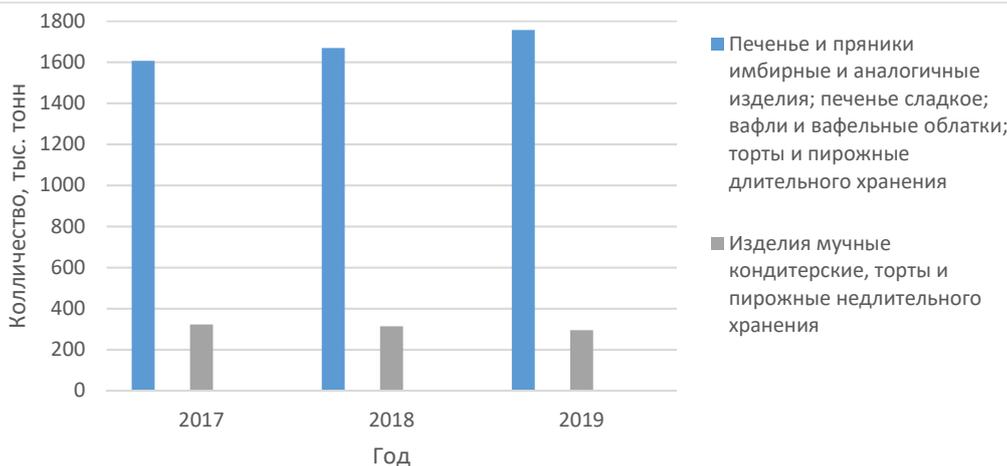


Рисунок 1. Потребление кондитерских изделий по категориям в 2017–2019 годах

2. Материалы и методы

Объектами исследования служили образцы бисквитно-кремового торта, состоящего из трех слоев выпеченного бисквитного полуфабриката, двух слоев отделочного полуфабриката — крема на растительных маслах, с отделкой верхней и боковой поверхности.

Посев проводили по ГОСТ 10444.12–2013 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов».

Выделение отдельных колоний микроорганизмов проводили пересевом истончающим штрихом на твердую питательную среду по методике, изложенной в [18].

Исследование микроорганизмов микроскопическим методом в окрашенном и неокрашенном виде проведено на микроскопе «БИОЛАМ И» (Россия) по методике, изложенной в [18].

Идентификацию сахаролитических ферментов выделенных культур бактерий проводили с использованием питательных сред Гисса в соответствии с методикой, изложенной в [18].

Идентификацию проводили на основе анализа последовательности рибосомальных генов, полученных при секвенировании участка ДНК, кодирующего область ITS-D1/D2 рДНК.

Секвенирование проводилось на автоматическом секвенаторе AE3000.

Для анализа секвенсов использовалась специализированная компьютерная программа BLAST [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/blast].

3. Результаты исследования

Исследование микробиологической обсемененности образцов торта проводили в двух направлениях: в средней пробе и послойно (выпеченный бисквитный полуфабрикат, крем для прослойки между коржами, крем для отделки верхней поверхности, крем для отделки (фигурные элементы)). Количество плесени и дрожжей в исследуемом образце представлено в Таблице 1.

Таблица 1

Количество плесеней и дрожжей в исследуемом образце

Наименование пробы	Плесени	Дрожжи
Средняя проба	0	50
Крем для отделки (фигурные элементы)	0	110
Крем для отделки верхней поверхности	0	100
Крем для прослойки между коржами	0	30
Выпеченный бисквитный полуфабрикат	0	30

Выявлено, что в средней пробе содержание дрожжей и плесневых грибов соответствовало нормам безопасности. При этом содержание их по слоям изделия неравномерно. Анализ микробиологической обсемененности по слоям торта показал, что содержание дрожжей в креме для отделки верхней поверхности в 2–3 раза больше, чем в выпеченных бисквитных полуфабрикатах. Максимальное содержание дрожжей выявлено в креме для отделки (фигурные элементы) и составило 110 КОЕ/г, что в 2 раза выше, чем в средней пробе.

Для выявления источника более высокого содержания дрожжей в креме для отделки (фигурные элементы) провели исследования для идентификации вида и рода дрожжей. Были выделены штаммы посевом на плотную питательную среду Сабуро. Для отделочных полуфабрикатов были характерны розовые колонии дрожжей (Рисунок 2).



Рисунок 2. Рост выделенной культуры дрожжей на среде Сабуро

При визуальном контроле через 72 часа культивирования на твердой питательной среде наблюдался рост колоний следующего вида: пигментация светлая розово-желтая, форма колоний округлая, края ровные, структура однородная, поверхность гладкая выпуклая, блестящая, размер 1–4 мм в диаметре.

Чистая культура штамма выделена из индивидуальной колонии методом поверхностного посева на твердую питательную среду петлей по принципу «истончающегося штриха» (Рисунок 3).

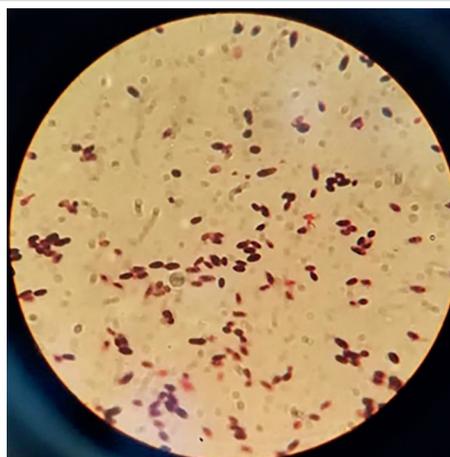


Рисунок 3. Микрокопирование выделенного штамма дрожжей (увеличение 700×), фиксированный препарат

При микрокопировании выделенный штамм представлен овальными почкующимися клетками размером (2,0–5,0) × (5,0–10,0) мкм.

Выделенный штамм исследовали по биохимическим признакам по утилизации сахаров (Рисунок 4).

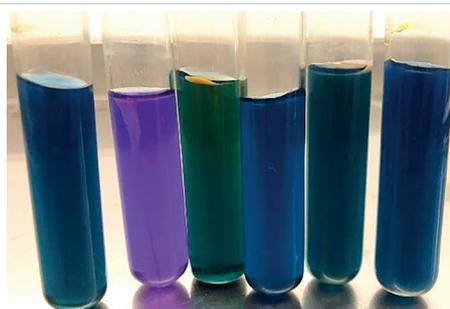


Рисунок 4. Исследование биохимических свойств выделенного штамма с помощью сред Гисса

По результатам визуальных изменений в средах Гисса определили биохимические свойства выделенного штамма (Таблица 2).

Исследование показало, что выделенный штамм углеводов практически не сбраживает.

Таким образом, по результатам исследования по морфологическим, биохимическим признакам предположили, что выделенный штамм дрожжей можно отнести к следующей систематической группе: отдел *Fungi*, подразделение *Basidiomycota*, класс *Microbotryomycetes*, порядок *Sporidiobolales*, семейство *Sporidiobolaceae*, род *Rhodotorula*.

На основе анализа последовательности рибосомальных генов провели точную идентификацию штамма.

При секвенировании участка ДНК, кодирующего область ITS-D1/D2 рДНК исследуемого штамма, получена следующая последовательность, представленная на Рисунке 5.

```
GCCCCGAKKRTTAWGGACSGTCTTTTTAGAAAGTCCGACCCTTTCATTTCTT
ACACTGTGCACACACTCTTTTACMCACACTTTAACACCTTAGTATAAGAA
TGTAATAGTCTCTTAATTGAGCATAAATAAAAAACAACTTCAGCAACGGAT
CTCTTGCTCTCGCATCGATRAAGAACGCAGCGAATTGCGATAAGTAATGTGA
ATTGCAGAATTCAAGTGAATCATCGAATCTTTGAACGCACCTGCACTCTTGGT
ATTCCRAAGAGTATGTCTGTTGAGTGTCAATGAACTCTCAACCCCTATTTT
GTAATGAGATGGGTGKGGCTTGGATTATGGTTGTCTGYCGCGTAATTGCCG
GCTCAACTGAAAWACACGAGCAACCT
```

Рисунок 5. Последовательность, полученная при секвенировании выделенного штамма

Первичный скрининг по базе данных GenBank показал, что исследуемый штамм принадлежит к следующей систематической группе: *ukaryota*; *Eukaryota*; *Fungi*; *Dikarya*; *Basidiomycota*; *Pucciniomycotina*; *Cystobasidiomycetes*; *Cystobasidiales*; *Cystobasidiaceae*; *Cystobasidium*.

Штаммы, принимающие участие в анализе, и уровень сходства последовательности области ITS-D1/D2 рДНК исследуемого штамма показаны в Таблице 3.

Анализ филогенетического родства, построенный с использованием штаммов близкородственных микроорганизмов, показал, что наиболее близким к исследуемому штамму является *Cystobasidium*, вид *Cystobasidium slooffiae*.

Источником *Cystobasidium slooffiae* может служить окружающая среда. Поэтому обнаружение этого штамма может служить показателем нарушения санитарного состояния производства, некачественной обработки оборудования, посуды и инвентаря в труднодоступных местах, несоблюдения правил гигиены персонала и высокой микробиологической обсемененности сырья.

4. Выводы

Анализом микробиологической обсемененности по слоям торта установлено, что содержание дрожжей в верхнем слое отделочного полуфабриката крема в 2–3 раза больше, чем в коржах. Максимальное содержание дрожжей выявлено в отделочных элементах. Для идентификации вида и рода дрожжей проведено выделение штамма посевом на плотную питательную среду Сабуро. При визуальном контроле через 72 часа культивирования на твердой питательной среде наблюдается рост колоний следующего вида: пигментация светлая розово-желтая, форма колоний округлая, края ровные, структура однородная, поверхность гладкая выпуклая, блестящая, размер 1–4 мм в диаметре. Их из крема и составляет 110 КОЕ/г, что в 2 раза выше, чем в средней пробе.

При микрокопировании выделенный штамм представлен овальными почкующимися клетками размером (2,0–5,0) × (5,0–10,0) мкм.

Результаты исследования биохимических свойств выделенного штамма

Таблица 2

Культура	Тесты. Утилизация сахаров					
	Манит	Сорбит	Глюкоза	Сахароза	Мальтоза	Лактоза
Выделенный штамм	±	–	±	–	–	–
	Небольшое изменение цвета. Менше 1 см. Рост по уколу. У поверхности и на поверхности более яркий	Изменений цвета нет. Рост по уколу. У поверхности более яркий	Изменение цвета в зеленый у поверхности около 2 см. Рост по уколу. У поверхности и на поверхности более яркий	Изменений цвета нет. Рост по уколу. У поверхности более яркий	Изменений цвета нет. Рост по уколу. У поверхности и на поверхности более яркий	Изменений цвета нет. Рост по уколу. У поверхности и на поверхности более яркий

Результаты идентификации нуклеотидной последовательности в международной базе данных GenBank

Таблица 3

Reference description	Score	Probability	Similarity	Fragments	Overlap	Direction	Rating
CBS13854 CBS13854 ex59851_315631 ITS <i>Cystobasidium slooffiae</i> , <i>Rhodotorula</i> , Mexico, nlink4056: publicly available rDNA ITS sequences	608.53	9.66265e-	17498.43%	1	95.03%	+/-	***
CBS8411 cr – CBS8411 – <i>Rhodotorula slooffiae</i> E. K. Novak & Varas-Felkai (10/05/2007) – ITS rDNA sequence from CBS culture collection <i>Cystobasidium slooffiae</i> , <i>Cystobasidium slooffiae</i> , food, Netherlands, nlink4056: publicly Available rDNA ITS sequences	608.53	9.66265e-	17498.43%	1	95.03%	+/+	***
CBS8019 CBS_8019- 13717 ITS4_F2_006_13717 ITS_F2_00 <i>Cystobasidium slooffiae</i> , <i>Cystobasidium minutum</i> , sea, Sweden, nlink4056: Publicly available rDNA ITS sequences	608.53	9.66265e-	17498.43%	1	95.03%	+/+	***
CBS4232 CBS_4232- 20292 ITS4_B11_093_20292 ITS5_B11 <i>Cystobasidium slooffiae</i> , <i>Cystobasidium minutum</i> , man, Germany, nlink4056: put available rDNA ITS sequences	608.53	9.66265e-	17498.43%	1	95.03%	+/+	***

Результатами исследования биохимических свойств выделенного штамма установлено, что выделенный штамм углеводы практически не сбраживает.

На основе анализа последовательности рибосомальных генов, полученных при секвенировании участка ДНК, кодирующего область ITS-D1/D2 рДНК, проведена точная идентификация штамма. Анализом филогенетического родства, построенным с использованием штаммов близкородственных

микроорганизмов, выявлено, что наиболее близким к исследуемому штамму является *Cystobasidium*, вид *Cystobasidium slooffiae*. Источником *Cystobasidium slooffiae* является окружающая среда. Обнаружение этого штамма свидетельствует о нарушениях санитарно-гигиенического состояния инвентаря, оборудования, производственных помещений, включая труднодоступные места, о нарушениях правил гигиены персонала, а также о высоком уровне обсемененности сырья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ рынка мучных кондитерских изделий в России в 2015–2019 гг, оценка влияния коронавируса и прогноз на 2020–2024 гг. Электронный ресурс: <https://marketing.rbc.ru/research/27607/> Дата обращения 12.05.2021.
2. Российский рынок тортов — современные тенденции и направления развития. Электронный ресурс: https://vproizvodstvo.ru/analitika_rynok/rossijskij_rynok_tortov/ Дата обращения 12.05.2021
3. Производство основных видов продукции в натуральном выражении (годовые данные с 2017 г.) в соответствии с ОКПД2. Электронный ресурс: http://gks.ru/free_doc/new_site/business/prom/natura/god17.htm Дата обращения 12.05.2021
4. В России спрос на торты за год вырос на 72%. Электронный ресурс: <https://iz.ru/1135176/2021-03-11/v-rossii-spros-na-torty-za-god-vyros-na-72> Дата обращения 12.05.2021
5. ГОСТ Р 53041–2008 «Изделия кондитерские и полуфабрикаты кондитерского производства. Термины и определения». — М.: Стандартинформ, 2019. 16 с.
6. Sepahvand, R., Bahmani, M., Ahmadi-Roozbahani, H., Rajabi, T., Tavasoli, M., Keshvari, M. et al. (2016). The microbial quality assessment of confectionary products in Lorestan province, West of Iran. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 9(1), 1–5.
7. El-Kadi, S.M., El-Fadaly H.A., El-Gayar, E.M. (2018). Examination of Pathogenic Bacteria in Some Cake Samples. *International Journal of Microbiology and Application*, 5(3), 56–65.
8. Mat Nawawi, N.S., Abdullah, N., Noor, Z.M., Bujang, A. (2016). Microbiological Quality of Chocolate Cake at Retail Outlet Storage in the Perspective of Halalan-Toyyiban. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 6(9S), 59–63.
9. Зайко, Е.В., Юшина, Ю.К., Груздев, Е.В., Белецкий, А.В., Марданов, А.В., Батаева, Д.С., Семенова, А.А. (2021). Изучение микробной популяции фаршей сырокопченых колбас с помощью высокопроизводительного секвенирования. *Все о мясе*, 2, 64–67. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-2-64-67>
10. Панчишина, Е.М., Корниенко, Н.Л., Шадрина, Е.В. (2020). Изучение культуральных особенностей дрожжей RHODOTORULA BENTHICA, выделенных из пробиотической кормовой добавки. *Научные труды Дальрыбвтуза*, 52(2), 5–11.
11. Bagy, M., Abd-Alla, M., Nafady, N., Morsy, F., Mahmoud, G. (2016). Bioconversion of plant wastes to β-carotene by *Rhodotorula glutinis* KU550702. *European Journal of Biological Research*, 6(4), 226–241.
12. Mussagy, C. U., Guimarães, A. A. C., Rocha, L. V. F., Winterburn, J., Santos-Ebinuma, V. D. C., Pereira, J. F. B. (2021). Improvement of carotenoids production from *Rhodotorula glutinis* CCT-2186. *Biochemical Engineering Journal*, 165, Article 107827 <https://doi.org/10.1016/j.bej.2020.107827>
13. Tkáčová, J., Čaplová, J., Klempová, T., Čertík, M. (2017). Correlation between lipid and carotenoid synthesis in torularhodin-producing *Rhodotorula glutinis*. *Annals of Microbiology*, 67(8), 541–551. <https://doi.org/10.1007/s13213-017-1284-0>
14. González, J., Romero-Aguilar, L., Matus-Ortega, G., Pablo Pardo, J., Alejandro Flores-Alanis, Segal-Kischinevzky, C. (2020). Yeasts adapted to the cold: the biotechnological treasure of Antarctica. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23, 1–14. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.267> (In Spanish)
15. Wirth, F., Goldani, L. Z. (2012). Epidemiology of *Rhodotorula*: An emerging pathogen. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, 2012, Article 465717 <https://doi.org/10.1155/2012/465717>
16. Yurkov, A. M., Kachalkin, A. V., Daniel, H. M., Groenewald, M., Libkind, D., de Garcia, V. et al. (2015). Two yeast species *Cystobasidium psychroaquaticum* f. sp. nov. and *Cystobasidium rietchieii* f. sp. nov. isolated from natural environments, and the transfer of *Rhodotorula minuta* clade members to the genus *Cystobasidium*. *Antonie Van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology*, 107(1), 173–185. <https://doi.org/10.1007/s10482-014-0315-0>
17. Liu, Q., Wang, X. (2020). Characterization and phylogenetic analysis of the complete mitochondrial genome of a basidiomycetous yeast *Cystobasidium* sp. (Cystobasidiales: Cystobasidiaceae). *Mitochondrial DNA Part B*, 5(3), 2449–2450. <https://doi.org/10.1080/23802359.2020.1777910>
18. Градова, Н.Б., Бабусенко Е. С., Горнова Н. Б. (2004). Лабораторный практикум по общей микробиологии. М.: ДеЛи принт, 2004.

REFERENCES

1. Analysis of the market of flour confectionery products in Russia in 2015–2019, assessment of the impact of coronavirus and forecast for 2020–2024. Retrieved from <https://marketing.rbc.ru/research/27607> Accessed May 12, 2021 (In Russian)
2. The Russian market of cakes — modern trends and directions of development. Retrieved from https://vproizvodstvo.ru/analitika_rynok/rossijskij_rynok_tortov/ Accessed May 12, 2021 (In Russian)
3. Production of basic types of products in physical terms (annual data since 2017) in accordance with ОКПД2. Retrieved from http://gks.ru/free_doc/new_site/business/prom/natura/god17.htm Accessed May 12, 2021 (In Russian)
4. In Russia, the demand for cakes for the year increased by 72%. Retrieved from <https://iz.ru/1135176/2021-03-11/v-rossii-spros-na-torty-za-god-vyros-na-72> Accessed May 12, 2021 (In Russian)
5. GOST R53041–2008 “Confectionery and half-finished products of confectionery manufacture. Terms and definitions”. Moscow: Standartinform, 2019. — 16 p. (In Russian)
6. Sepahvand, R., Bahmani, M., Ahmadi-Roozbahani, H., Rajabi, T., Tavasoli, M., Keshvari, M. et al. (2016). The microbial quality assessment of confectionary products in Lorestan province, West of Iran. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 9(1), 1–5.
7. El-Kadi, S.M., El-Fadaly H.A., El-Gayar, E.M. (2018). Examination of Pathogenic Bacteria in Some Cake Samples. *International Journal of Microbiology and Application*, 5(3), 56–65.
8. Mat Nawawi, N.S., Abdullah, N., Noor, Z.M., Bujang, A. (2016). Microbiological Quality of Chocolate Cake at Retail Outlet Storage in the Perspective of Halalan-Toyyiban. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 6(9S), 59–63.
9. Zaiko, E. V., Yushina, Yu. K., Gruzdev, E. V., Beletsky, A.V., Mardanov, A.V., Bataeva, D. S., Semenova, A. A. (2021). Study of the microbial population of minced meat used for the production of raw smoked sausage using high-throughput sequencing. *Vsyo o Myase*, 2, 64–67. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-2-64-67> (In Russian)
10. Panchishina, E. M., Kornienko, N. L., Shadrina, E. V. (2020). Study of the culture features of *Rhodotorula benthica* yeast, outflow from probiotic feed additives. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*, 52(2), 5–11. (In Russian)
11. Bagy, M., Abd-Alla, M., Nafady, N., Morsy, F., Mahmoud, G. (2016) Bioconversion of plant wastes to β-carotene by *Rhodotorula glutinis* KU550702. *European Journal of Biological Research*, 6(4), 226–241.
12. Mussagy, C. U., Guimarães, A. A. C., Rocha, L. V. F., Winterburn, J., Santos-Ebinuma, V. D. C., Pereira, J. F. B. (2021). Improvement of carotenoids production from *Rhodotorula glutinis* CCT-2186. *Biochemical Engineering Journal*, 165, Article 107827 <https://doi.org/10.1016/j.bej.2020.107827>
13. Tkáčová, J., Čaplová, J., Klempová, T., Čertík, M. (2017). Correlation between lipid and carotenoid synthesis in torularhodin-producing *Rhodotorula glutinis*. *Annals of Microbiology*, 67(8), 541–551. <https://doi.org/10.1007/s13213-017-1284-0>
14. González, J., Romero-Aguilar, L., Matus-Ortega, G., Pablo Pardo, J., Alejandro Flores-Alanis, Segal-Kischinevzky, C. (2020). Yeasts adapted to the cold: the biotechnological treasure of Antarctica. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 23, 1–14. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.267> (In Spanish)
15. Wirth, F., Goldani, L. Z. (2012). Epidemiology of *Rhodotorula*: An emerging pathogen. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, 2012, Article 465717 <https://doi.org/10.1155/2012/465717>
16. Yurkov, A. M., Kachalkin, A. V., Daniel, H. M., Groenewald, M., Libkind, D., de Garcia, V. et al. (2015). Two yeast species *Cystobasidium psychroaquaticum* f. sp. nov. and *Cystobasidium rietchieii* f. sp. nov. isolated from natural environments, and the transfer of *Rhodotorula minuta* clade members to the genus *Cystobasidium*. *Antonie Van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology*, 107(1), 173–185. <https://doi.org/10.1007/s10482-014-0315-0>
17. Liu, Q., Wang, X. (2020). Characterization and phylogenetic analysis of the complete mitochondrial genome of a basidiomycetous yeast

Cystobasidium sp. (Cystobasidiales: Cystobasidiaceae). *Mitochondrial DNA Part B*, 5(3), 2449–2450. <https://doi.org/10.1080/23802359.2020.1777910>

18. Gradova, N. B., Babusenko E. S., Gornova N. B. (2004). Laboratory Workshop on General Microbiology Moscow: DeLi Print, 2004. (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p>Баженова Алла Евгеньевна — научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, г. Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: +7-495-963-64-09 E-mail: bajenova.a@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6994-8524 * автор для контактов</p>	<p>Alla E. Bazhenova — researcher, department of modern methods for assessing the quality of confectionery products, All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-495-963-64-09 E-mail: bajenova.a@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6994-8524 * corresponding author</p>
<p>Руденко Оксана Сергеевна — кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: +7-495-962-17-40 E-mail: oxana0910@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2436-4100</p>	<p>Oxana S. Rudenko — candidate of technical sciences, deputy director, All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-495-962-17-40 E-mail: oxana0910@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2436-4100</p>
<p>Пестерев Михаил Алексеевич — младший научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: +7-495-962-17-34 E-mail: pesterevmisha@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0980-1862</p>	<p>Mikhail A. Pesterev — junior researcher, department of modern methods for assessing the quality of confectionery products, All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-495-962-17-34 E-mail: pesterevmisha@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0980-1862</p>
<p>Щербакова Наталья Алексеевна — кандидат технических наук, заместитель заведующего сектором, технологический отдел, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: +7-495-962-17-35 E-mail: labmki@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0466-9612</p>	<p>Natalia A. Shcherbakova — candidate of technical sciences, deputy head of the sector, technology department, All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-495-962-17-35 E-mail: labmki@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0466-9612</p>
<p>Мистенева Светлана Юрьевна — научный сотрудник, технологический отдел, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: +7-495-962-17-35 E-mail: svetlana_mst@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1439-7972</p>	<p>Svetlana Yu. Misteneva — researcher, technology department, All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-495-962-17-35 E-mail: svetlana_mst@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1439-7972</p>
<p>Критерии авторства</p>	<p>Contribution</p>
<p>Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат</p>	<p>Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism</p>
<p>Конфликт интересов</p>	<p>Conflict of interest</p>
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов</p>	<p>The authors declare no conflict of interest</p>

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-117-125>

Поступила 12.05.2021

Поступила после рецензирования 14.06.2021

Принята в печать 28.06.2021

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОПАРТИКУЛЯТА СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СМЕТАНЫ

Мельникова Е. И., Станиславская Е. Б.*

Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

молочная сыворотка,
кластерная модификация,
мембранный метод,
 β -лактоглобулин,
ультрафильтрация,
термомеханическая обработка

АННОТАЦИЯ

Одним из перспективных направлений реализации ценного белкового кластера молочной сыворотки является получение микропартикулята сывороточных белков. Цель работы — модификация белкового кластера молочной сыворотки для получения микропартикулята сывороточных белков и реализации его в технологии производства сметаны. В качестве объектов исследования рассматривали подсырную сыворотку, микропартикулят сывороточных белков, а также сметану. Технология получения микропартикулята включала очистку подсырной сыворотки от казеина и жира, ультрафильтрацию, термомеханическую обработку. Показатели состава объектов исследования, их физико-химические свойства определяли в соответствии с российскими стандартами. В ходе работы подтверждены бифидогенные свойства микропартикулята, его высокая антиоксидантная активность, водо-, жиросвязывающая и эмульгирующая способности. Представлены сведения о влиянии микропартикулята на физико-химические и биохимические процессы при производстве сметаны. Внесение микропартикулята стимулировало сбраживание лактозы, оказывало влияние на консистенцию сметаны, повышая вязкость продукта и снижая синерезис. Рекомендуемая доля микропартикулята в составе сметаны составила 15%. Качественные показатели сметаны отвечали требованиям нормативной документации. Внесение микропартикулята придавало продукту более выраженный аромат. В готовом продукте было отмечено более высокое содержание молочнокислых микроорганизмов, чем в контрольном образце. Пребиотические свойства микропартикулята улучшали выживаемость микрофлоры заквасочных культур при хранении. Образование свободных жирных кислот опытного образца в процессе хранения происходило более интенсивно, чем в контроле, в то время как окисление жира было менее выраженным. Применение микропартикулята сывороточных белков в производстве сметаны характеризуется многочисленными преимуществами: позволяет добиться повышения эффективности переработки молока, способствует экологичности, рентабельности производства, улучшает качество готового продукта.

Received 12.05.2021

Accepted in revised 14.06.2021

Accepted for publication 28.06.2021

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

PREPARATION AND USE OF THE WHEY PROTEIN MICROPARTICULATE IN THE SOUR CREAM PRODUCTION TECHNOLOGY

Elena I. Melnikova, Ekaterina B. Stanislavskaya*

Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

KEY WORDS:

milk whey, cluster modification,
membrane method,
 β -lactoglobulin, ultrafiltration,
thermomechanical treatment

ABSTRACT

One of the promising directions in the application of the valuable whey protein cluster is production of the whey protein microparticulate. The aim of the study was modification of the whey protein cluster to obtain the whey protein microparticulate and its use in the sour cream production technology. Cheese whey, whey protein microparticulate and sour cream were used as the objects of the research. The microparticulate production technology included purification of cheese whey from casein and fat, ultrafiltration, thermomechanical treatment. The composition of the objects of the research, their physico-chemical properties were determined according to the Russian standards. During investigations, the bifidogenic properties of the microparticulate, its high antioxidant activity, water- and fat-binding capacities as well as emulsifying capacity were confirmed. The data about an effect of the microparticulate on the physico-chemical and biochemical processes in sour cream production are presented. Addition of the microparticulate stimulated lactose fermentation, influenced sour cream consistency increasing product viscosity and reducing syneresis. The recommended dose of the microparticulate in the sour cream composition was 15%. Quality indicators of sour cream corresponded to the requirements of the normative documentation. Addition of the microparticulate imparted more pronounced aroma to the product. Higher content of lactic acid microorganisms was observed in the finished product compared to the control sample. The prebiotic properties of the microparticulate improved viability of starter cultures during storage. Formation of free fatty acids in the experimental sample during storage was more intensive compared to the control, while fat oxidation was less pronounced. The use of the whey protein microparticulate in sour cream production is characterized by many advantages: it allows achieving an increase in the effectiveness of milk processing, facilitates sustainability, production profitability, improves finished product quality.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мельникова, Е. И., Станиславская, Е. Б. (2021). Получение и применение микропартикулята сывороточных белков в технологии производства сметаны. *Пищевые системы*, 4(2), 117-125. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-117-125>

FOR CITATION: Melnikova, E.I., Stanislavskaya, E.B. (2021). Preparation and use of the whey protein microparticulate in the sour cream production technology. *Food systems*, 4(2), 117-125. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-117-125>

1. Введение

Современные технологические решения переработки молока основаны на комплексном и рациональном использовании сырья, при котором задействованы побочные продукты отрасли. Среди них особое значение имеет сыворотка, ежегодные объемы которой в Российской Федерации составляют почти 8 млн т [1]. Проблема переработки молочной сыворотки актуальна не только для России, но и для других стран с развитой молочной промышленностью. Мировые объемы сыворотки превышают 200 млн т. в год и имеют тенденцию к росту [2]. Использование всего комплекса питательных веществ сыворотки затруднительно ввиду особенностей ее биотехнологического потенциала: низкой массовой доли сухих веществ, высокой гетерогенности по молекулярной массе, высокой титруемой кислотности, наличия специфических ароматических веществ [3,4]. В этой связи, на наш взгляд, наиболее рентабельным направлением переработки молочной сыворотки является ее кластерная модификация с применением мембранных методов. Это позволит в наибольшей мере реализовать биотехнологический потенциал сыворотки, максимально использовать ее ценные нутриенты. Раздельное использование компонентов сыворотки позволяет получить: подсырные сливки, казеино-альбуминную массу, концентраты сывороточных белков, молочный сахар, концентраты белков с полисахаридами (пектин, хитозан), молочную кислоту, минеральные соли, глюкозо-галактозный сироп, лактулозу, лактитол и др. [5–7].

Наиболее ценным компонентом сыворотки являются сывороточные белки. Они выполняют различные функции в человеческом организме, среди которых можно выделить защитную, структурную, транспортную и другие. Наиболее важным в качественном и количественном отношении сывороточным белком является β -лактоглобулин. Молекула его состоит из 162 аминокислотных остатков и имеет молекулярную массу около 18300. Белок включает две дисульфидные связи, соединяющие остатки цистеина в положениях 66 и 160 и 106 и 119 (или 106 и 121) и одну свободную дисульфидную группу у остатка цистеина в положении 121 (или 119). Свободная сульфгидрильная (тиольная группа) располагается внутри свернутой полипептидной цепи, но выходит наружу при тепловой денатурации. В процессе нагревания высвобождающиеся тиольные группы молекулы белка приводят к их самоассоциации. В результате ассоциации белковых молекул образуются димеры, полимеры или происходит формирование комплексов с мицеллами казеина. Вторым белком сыворотки по количественному соотношению является α -лактоальбумин. Это компактный глобулярный белок, который характеризуется самыми малыми размерами по сравнению с другими сывороточными белками. Биологическая функция α -лактоальбумина заключается в регулировании синтеза лактозы из УДФ-D-галактозы и D-глюкозы. В присутствии α -лактоальбумина активизируется фермент галактозилтрансфераза, который катализирует перенос галактозы в N-ацетилглюкозаминиловые остатки на боковых углеводных цепях гликопротеина. Альбумин сыворотки крови — крупный глобулярный белок с молекулярной массой около 66000. Полипептидная цепь его состоит из 582 аминокислотных остатков, содержит 17 внутримолекулярных дисульфидных связей и только одну свободную сульфгидрильную группу. Сывороточный альбумин характеризуется способностью связывать и транспортировать жирные кислоты и некоторые другие слаборастворимые соединения. Молекулы иммуноглобулинов представляют собой мономеры и полимеры, построенные из одинаковых структурных единиц или субъединиц. Иммуноглобулины

относятся к гликопротеидам — к тяжелым цепям субъединиц присоединены олигосахариды. Последние представлены остатками гексоз, гексозаминов и сиаловой кислоты. К группе минорных белков относят β_2 -микроглобулин, лактоферрин, трансферрин, церулоплазмин и компонент протеозо-пептонов. Молекула β_2 -микроглобулина состоит из 98 аминокислотных остатков, молекулярная масса составляет 11636. Лактоферрин и церулоплазмин — белки, связывающие железо и медь. Лактоферрин является гликопротеидом, имеет два участка для связывания металла, по структуре и функциям идентичен трансферрину крови. Главной функцией лактоферрина является, в связи с этим, транспорт железа. Кроме того, лактоферрин способен выполнять важнейшую защитную функцию, он проявляет бактериостатическое действие на микрофлору кишечника, способствуя усилению бактерицидного действия лизоцима. Церулоплазмин является медьсодержащим белком с молекулярной массой около 15000. Церулоплазмин регулирует содержание меди в организме, обладает ферментативными свойствами ферроксидазы — катализирует окисление Fe^{2+} в Fe^{3+} . Церулоплазмин является наиболее сильным среди сывороточных белков ингибиторов образования гипохлорита в системе «миелопероксидаза — H_2O_2 — Cl^- »; супрессивный эффект обусловлен его прямым взаимодействием с миелопероксидазой. В физиологических условиях церулоплазмин на порядок более эффективно захватывает OCI^- , чем трансферрин, альбумид, супероксиддисмутаза, и выполняет таким образом ведущую роль в антиоксидантной защите клеток в острой фазе воспаления. Ангиогенин — специфическая рибонуклеаза, являющаяся активным фактором роста кровеносных сосудов и основой создания лекарственных препаратов для лечения ран различного генезиса. Сывороточные белки способны оказывать стимулирующее действие на иммунитет, выступать в качестве фактора, повышающего уровень инсулиноподобный фактор роста, принимать участие в понижении уровня холестерина в крови. Они имеют низкий гликемический индекс, что позволяет оптимизировать выделение инсулина, тем самым оказывая регулирующее действие на уровень глюкозы в крови. Такое свойство сывороточных белков позволяет рассматривать их как компонент, оказывающий профилактическое действие в отношении диабета второго типа. Сывороточные белки являются естественным источником аминокислот: цистина, гистидина, метионина, лизина, треонина, триптофана и аргинина [8–10].

Одним из перспективных направлений реализации ценного белкового кластера молочной сыворотки является получение пищевого продукта с уникальными свойствами, имитирующими флейвор молочного жира — микропартикулята сывороточных белков. Направленное изменение физико-химических, органолептических, функционально-технологических свойств белковых сывороточных концентратов реализовано в технологии микропартикуляции. Эта операция открывает новые возможности использования белков молочной сыворотки в технологии широкого ассортимента пищевых продуктов как имитаторов свойства жира, позволяя замещать ценное жиросодержащее молочное сырье [11–13]. Известно применение микропартикулятов подсырной и творожной сыворотки как в Российской Федерации, так и за рубежом. Высокую эффективность показало их использование в производстве кисломолочных напитков [14], позволяющее модифицировать их реологические свойства; в составе творога, приводящее к увеличению выхода продукта. Большой научный и практический интерес приобретает применение микропартикулята в технологии создания высококалорийных молочных продуктов для снижения доли жира. К таким продуктам относится сметана. Цель работы —

модификация белкового кластера молочной сыворотки для получения микропартикулята сывороточных белков и реализации его в технологии производства сметаны.

2. Объекты и методы

В качестве объектов исследования рассматривали подсырную сыворотку, полученную при производстве сыров Российского, Калачеевского и Тильзитер в условиях сыродельного завода «Калачеевский» (г. Калач, Воронежская область, РФ), микропартикулят сывороточных белков, выработанный на основе подсырной сыворотки, а также сметана. В качестве технологически вспомогательных средств применяли заквасочные культуры мезофильных молочнокислых лактококков производства компании Chr. Hansen. Процесс микропартикуляции подсырной сыворотки проводили в аппаратном цехе ПАО Молочный комбинат «Воронежский» (г. Воронеж, РФ). Технология получения микропартикулята включала очистку подсырной сыворотки от казеина и жира, ультрафильтрацию, а также термомеханическую обработку [15,16]. Полученный микропартикулят использовали для получения опытных образцов нормализованной молочной смеси для производства сметаны. Для этого часть сливок заменяли микропартикулятом в количестве от 10 до 20 масс. %.

Пробы объектов исследования отбирали и подготавливали к анализам в соответствии со стандартом ISO 707:2008 (IDF 50:2008) Milk and milk products. Guidance on sampling. Оценку органолептических показателей проводили в соответствии со стандартом ISO 22935-2:2009 «Milk and milk products. Sensory analysis. Part 2: Recommended methods for sensory evaluation». Показатели состава объектов исследования, их физико-химические свойства определяли в соответствии с Российскими стандартами. Массовую долю сухого вещества оценивали по потере массы в процентах при высушивании пробы продукта при постоянной температуре. Определение массовой доли белка проводили методом Кьельдаля. Он основан на определении количества аммиака, образующегося из сернокислого аммония титриметрическим методом. Образование последнего происходит при минерализации образца серной кислотой. Для определения массовой доли лактозы в объектах исследования использовали метод Бертрана. Сущность этого метода заключается в титровании железа (II) раствором $KMnO_4$. Двухвалентное железо получается в результате окислительно-восстановительной реакции железоаммонийных квасцов с оксидом меди (I), который образуется в результате восстановления двухвалентной меди редуцирующими сахарами. Определение массовой доли жира проводили кислотным методом, который заключается в выделении жира из объекта исследования и измерении его количества с помощью жиromeра. Определение диацетила и свободных жирных кислот в сметане проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Условия хроматографирования: колонка 300x7,8 мм, защитная колонка Carbo-N+4x3 мм, режим разделения — изократический, подвижная фаза — серная кислота, расход 0,6 мл/мин, температура колонки 60 °С, объем пробы 20 мкл. Антиоксидантную активность определяли амперометрическим методом на приборе Цвет-Яуза-01-АА путем измерения электрического тока, возникающего при окислении исследуемого вещества на поверхности рабочего электрода при определенном потенциале и сравнении полученного сигнала с сигналом стандарта (дигидрокверцитина), измеренного в тех же условиях. Оценку антиоксидантной активности *in vivo* при индукции свободнорадикальной патологии проводили в условиях воспроизведения экспериментальной модели CCl_4 -индуцированного повреждения печени. Для исследования биохимических параметров

сыворотки крови крыс по принципу аналогов были сформированы четыре группы белых неинбредных особей с массой тела 200–220 г, по 10 особей в каждой. Продолжительность эксперимента составила 21 день. Контрольная группа экспериментальных животных получала обычный рацион, вторая группа дополнительно тетрахлорметан посредством внутрижелудочного введения в дозе 1,25 мл/кг в виде 50% раствора в растительном масле в течение трех дней. Другие группы дополнительно получали микропартикулят сывороточных белков. Оценку антиоксидантной активности и гепатопротекторных свойств проводили на основе значений показателей сыворотки крови: аланинаминотрансферазы, аспартатаминотрансферазы, щелочной фосфатазы, общего белка, альбумина, билирубина, холестерина, а также гистологических срезов печени лабораторных животных. Для определения кислотного числа жира применяли метод, основанный на титровании свободных кислот жира спиртовым раствором гидроксида калия. Перекисное число жира определяли йодометрическим методом, основанным на окислении йодистого калия пероксидами и гидропероксидами жира в растворе уксусной кислоты и хлороформа и титровании выделившегося йода раствором тиосульфата натрия. Эмульгирующую способность микропартикулята оценивали следующим образом. Для приготовления эмульсий использовали раствор микропартикулята с массовой долей белка 1% и дезодорированное подсолнечное масло. Готовили серию эмульсий с содержанием жировой фазы от 10 до 80%. Эмульгирование производили на лабораторном гомогенизаторе с частотой вращения 3000 мин⁻¹ при скорости добавления масла 1 капля в секунду. После добавления заданного объема масла перемешивание продолжали в течение 1 мин. Полученную эмульсию с помощью шприца разливали в пробирки (диаметром 5 мм и высотой 100 мм) и термостатировали при 85 °С в течение 20 мин. Далее пробирки охлаждали проточной водой и центрифугировали в течение 20 мин. при частоте вращения 6000 мин⁻¹. Критерием стабильности эмульсий при исходном соотношении жировой и водной фаз служило отношение высоты эмульсионного слоя, к общей высоте (в % по объему). На основании полученных результатов строили диаграммы стабильности эмульсии в осях: исходная объемная доля жировой фазы — соотношение объемов фаз в процентах. Активную кислотность определяли потенциометрическим методом, основанном на измерении разности потенциалов между двумя электродами (измерительным и электродом сравнения), погруженными в анализируемую пробу. Титруемую кислотность устанавливали титриметрическим методом. Определение динамической вязкости проводили методом камертонной вибрации на вибровискозиметре SV-10. Определение эффективной вязкости проводили на ротационном вискозиметре Brookfield RVDV-II+Pro. Для определения синергетической способности сгустка применяли центрифугирование с последующим определением доли выделившейся сыворотки. Бифидогенную активность микропартикулята оценивали в опытах *in vitro*. Для этого применяли модифицированную среду Блаурокка, на которой культивировали микроорганизмы *Bifidobacterium bifidum*. Модификация питательной среды заключалась в добавлении в нее микропартикулята сывороточных белков, а также инулина (для сравнения). Применяли предварительно растворенный препарат «Бифидобактерин сухой», который активизировали в течение 24 ч при температуре 37–38 °С. Подготовленный препарат вносили в модифицированные среды из расчета 5 доз на 1 л среды. Культивирование осуществляли в анаэробных условиях. Для оценки роста культуры проводили расчет количества клеток на фиксированных мазках в соответствии с методом

Виноградского-Шульгиной-Брига. Математическую обработку эксперимента проводили методами математической статистики по данным 5–10 опытов в трехкратной последовательности. Графические зависимости на рисунках представлены после обработки экспериментальных данных по методу наименьших квадратов.

3. Результаты и их обсуждение

Для получения микропартикулята сывороточных белков использовали технологическую схему, состоящую из следующих операций: приемка и подготовка сыворотки; очистка от казеиновой пыли, жира и механических загрязнений (сепарирование, очистка на виброситах); тепловая обработка для подавления активности заквасочных культур; концентрирование белковой фракции сыворотки с применением различных методов (преимущественно ультрафильтрации); термомеханическая обработка полученного концентрата. Для предотвращения формирования излишне крупных скоплений денатурированных белков необходимо придерживаться показателя рациональной массовой доли белка в ультрафильтрационном концентрате. По мере повышения фактора концентрирования (ФК) происходило увеличение доли всех составных частей сыворотки. Наибольшему концентрированию подвергались белковые соединения (Рисунок 1).

Из представленных данных видно, что состав УФ-концентратов подсырной и творожной сыворотки отличается, как и состав нативных видов сыворотки. Это связано с различной степенью перехода сухих веществ молока в сыворотку при производстве сыра и творога. Для дальнейших исследований был выбран ультрафильтрационный концентрат подсырной сыворотки. Он характеризовался невысоким значением титруемой кислотности в сравнении с концентратом творожной сыворотки.

При нагреве УФ-концентрата происходила денатурация сывороточных белков. Развертывание структуры белковых молекул при нагреве сопровождалось образованием агрегатов. Для формирования сферических частиц микропартикулята из скоплений денатурированных сывороточных белков была проведена механическая обработка. В результате интенсивной механической обработки при получении микропартикулята белковые скопления УФ-концентратов дробятся с образованием частиц правильной сферической формы. Это позволяет имитировать флейвор молочного жира, приближая микропартикулят по сенсорным свойствам к молочным сливкам.

Полученный микропартикулят сывороточных белков представляет собой однородную непрозрачную в меру вязкую жидкость белого цвета с чистым молочным вкусом и ароматом. Цвет микропартикулята обусловлен рассеиванием света частицами агломерированного белка, характеризующимися высокой степенью дисперсности и схожими по размеру и форме с шариками жира. При микропартикуляции изменяется аромат УФ-концентрата, происходит нивелирование специфических органолептических характеристик сыворотки. В зависимости от состава и целей дальнейшего использования микропартикуляты сывороточных белков по физико-химическим показателям (Таблица 1) и свойствам сравнимы с обезжиренным, цельным молоком или сливками.

Таблица 1

Физико-химические показатели микропартикулятов сывороточных белков

Наименование показателя	Значение показателя для микропартикулята			
	подсырной сыворотки с ФК		творожной сыворотки с ФК	
	4	13	4	13
Титруемая кислотность, °Т	19	25	60	75
Активная кислотность, ед. рН	6,3	6,2	4,5	4,4
Динамическая вязкость, мПа·с	10,1	27,0	9,7	25,3

Химический состав микропартикулята позволяет рассматривать микропартикулят как пищевой компонент с функциональными свойствами, который целесообразно использовать в составе кисломолочных продуктов. Значительная доля белков, пептидов и аминокислот обуславливает бифидогенные свойства микропартикулята. Молочный сахар в составе микропартикулята также выступает в качестве пребиотического компонента, поскольку не всасывается в верхних отделах ЖКТ и оказывает стимулирующее воздействие на естественную микрофлору организма. Достигая толстой кишки в неизменном виде, лактоза расщепляется интестинальной микрофлорой (в основном бифидобактериями), вырабатывающей ферменты типа гидролаз. Она используется данной микрофлорой в качестве источника энергии и утилизируется до CO₂ и органических кислот, понижает рН среды кишечника и препятствует развитию вредных микроорганизмов. В ходе работы подтвержден значительный рост количества бифидобактерий на среде, модифицированной микропартикулятом (Таблица 2). Клетки бифидобактерий характеризовались большим количеством

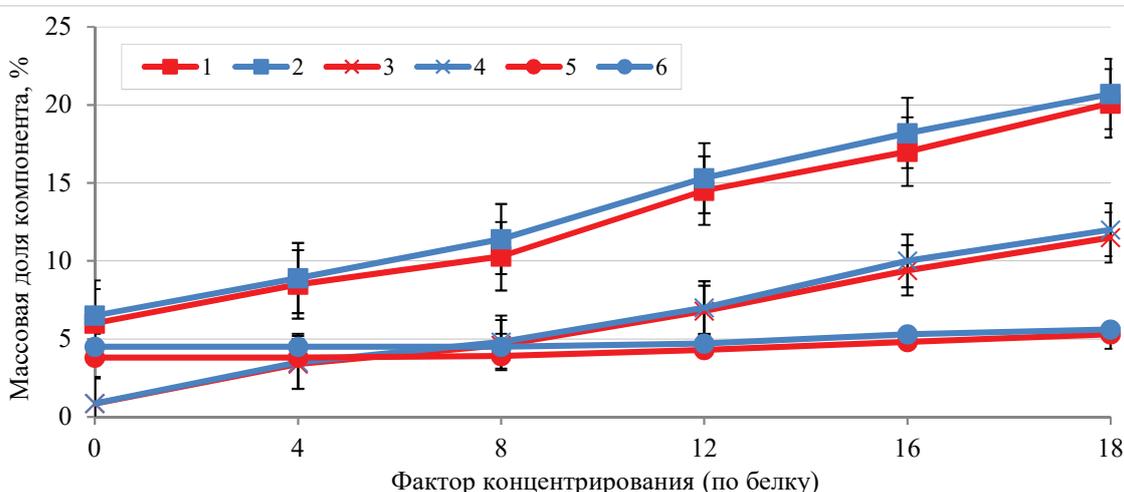


Рисунок 1. Изменение массовой доли сухих веществ (1, 2), белка (3, 4), лактозы (5, 6) при ультрафильтрационном концентрировании подсырной (2, 4, 6) и творожной (1, 3, 5) сыворотки

цепочек, состоящих из типичных форм, превышая их содержание в контроле.

Таблица 2

Определение количества бифидобактерий в модифицированных средах

Продолжительность культивирования, ч	Содержание микроорганизмов, кл/г		
	среда без модификации (контроль)	среда, модифицированная инулином	среда, модифицированная микропартикулятом
18	$7 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^8$	$9 \cdot 10^9$
24	$1 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^{10}$
48	$6 \cdot 10^7$	$7 \cdot 10^{10}$	$7 \cdot 10^{11}$

Следствием денатурации сывороточных белков является активирование сульфгидрильных групп. Группы -SH в нативных белках так структурно расположены, что могут стать реакционноспособными только после развертывания α -спирали. Активирование начинается при нагревании уже при температуре 75 °С и с повышением ее усиливается. При высвобождении сульфгидрильных групп снижается окислительно-восстановительный потенциал, а антиоксидантные свойства белков повышаются. SH-содержащим соединениям принадлежит ведущая роль в защите клеток от гидроксильного радикала, образующегося в реакции Фентона или в результате разложения молекул воды под действием ионизирующих излучений. Тиоловые соединения – важный элемент поддержания окислительно-восстановительного баланса в клетках и тканях. Кроме того, антиоксидантной активностью характеризуются и некоторые продукты реакции Майяра, полученные в ходе высокотемпературной обработки концентрата. Результаты исследования антиок-

сидантного эффекта микропартикулята с УФ-концентратом такого же состава показывают его увеличение на 13–17% (Рисунок 2).

Усиление антиоксидантных свойств микропартикулята подтверждают и результаты исследования крови лабораторных животных (Таблица 3). Биохимические исследования были подтверждены гистологической экспертизой тканей печени.

Печень животных, получавших микропартикулят сывороточных белков (3-я группа), имела заметное улучшение в архитектуре клеток различных зон вокруг центральных вен (Рисунок 3а). Большинство клеток печени животных 4-й экспериментальной группы имели нормальное строение (Рисунок 3б), что доказывает повышение антиоксидантного действия, достигнутого в ходе микропартикуляции.

Микропартикулят характеризуется высокой водосвязывающей способностью, что объясняется присутствием адсорбирующих воду гидрофильных элементов аминокислот. Жиросвязывание микропартикулята обусловлено адсорбцией жира посредством присоединения его к гидрофобным участкам аминокислот. Вокруг белковых частиц микропартикулята формируется гидратная оболочка. Гидратация нативных сывороточных белков слабая, однако повышается по мере возрастания степени денатурации. Ввиду хороших гидратационных свойств микропартикуляты являются связующим звеном между водной фазой и другими составными частями матрикса молочных продуктов. Гидрофильные группы белка в составе микропартикулята ориентируются в направлении воды, а гидрофобные – к маслу. Это создает прочный адсорбционный слой на границе раздела фаз, снижая поверхностное натяжение, и формирует агрегативно устойчивые системы и одновременно вязкие.

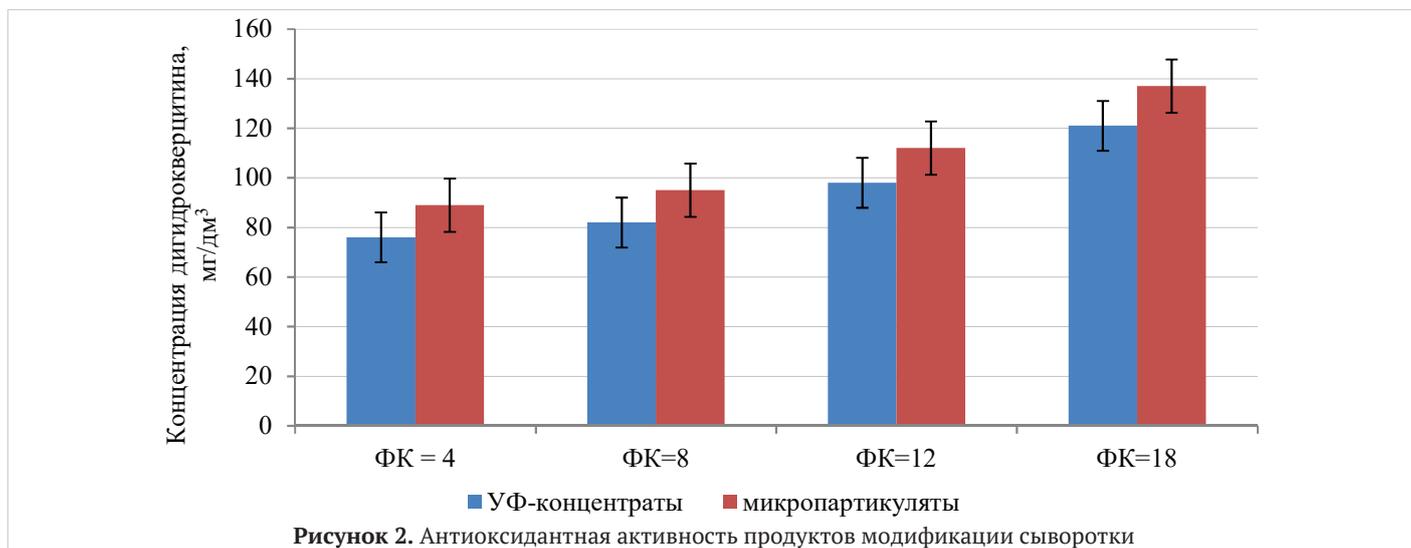


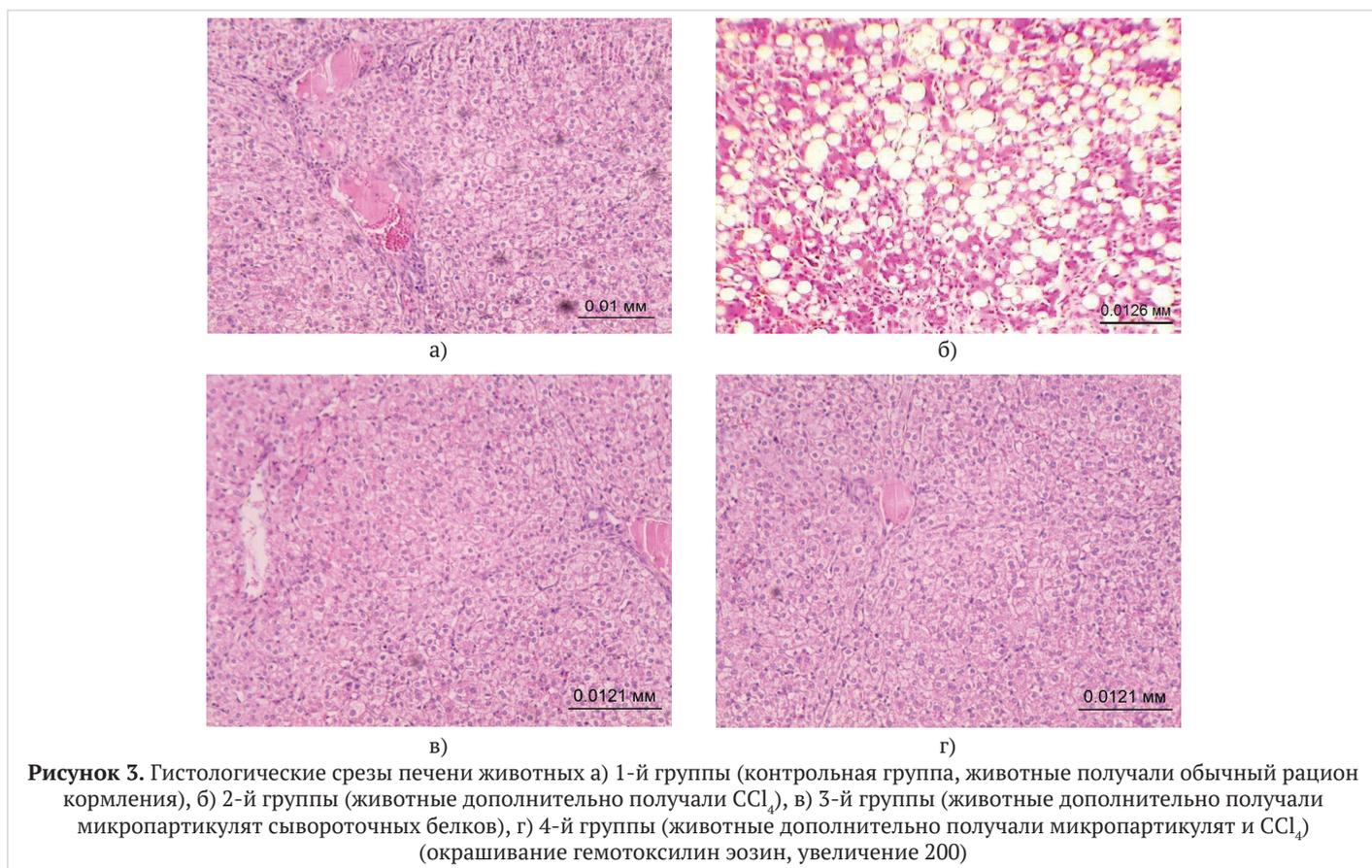
Рисунок 2. Антиоксидантная активность продуктов модификации сыворотки

Таблица 3

Влияние микропартикулята подсырной сыворотки на биохимические параметры сыворотки крови крыс

Наименование показателя	Значение показателя для группы животных*			
	1	2	3	4
Аланинаминотрансфераза (Е/л)	70 ± 1	81,9 ± 3,10	69 ± 0,7	70 ± 0,8
Аспаратаминотрансфераза (Е/л)	58 ± 3	66,1 ± 2,55	57 ± 2,4	58 ± 1,7
Щелочная фосфатаза (Е/л)	332 ± 10	401,7 ± 18,95	329 ± 8	331 ± 7
Общий белок (г/л)	69 ± 0,6	52,4 ± 1,37	69 ± 0,6	69 ± 0,6
Альбумин (мг/дл)	29 ± 0,4	22,3 ± 1,47	29 ± 0,4	28,7 ± 0,56
Билирубин общий (мг/дл)	1,7 ± 0,10	2,3 ± 0,57	1,6 ± 0,10	1,6 ± 0,07
Холестерин общий (ммоль/л)	1,8 ± 0,03	3,5 ± 0,03	1,8 ± 0,03	1,8 ± 0,11

* 1 – контрольная группа, животные получали обычный рацион кормления; 2–4 – опытные группы; животные 2-й группы дополнительно получали CCl₄, животные 3-й группы дополнительно получали микропартикулят сывороточных белков, животные 4-й группы дополнительно получали микропартикулят и CCl₄



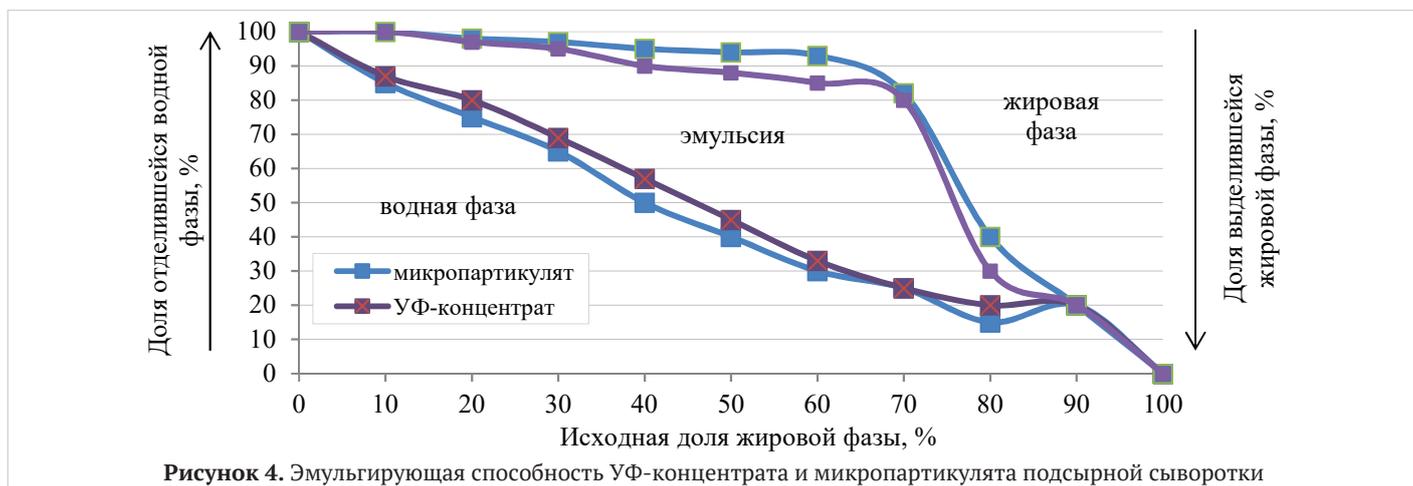
Денатурированные сывороточные белки характеризуются высокими эмульгирующими свойствами. Диаграмма стабильности эмульсий (Рисунок 4) свидетельствует о более высокой эмульгирующей способности микропартикулята по сравнению с нативным УФ-концентратом, что приводит к увеличению объема стабильной эмульсии.

На основе жироземмульгирующих свойств микропартикулят подсырной сыворотки целесообразно использовать в производстве высокожирных молочных продуктов, в частности, сметаны. Исследовано влияние микропартикулята на физико-химические и биохимические процессы при производстве сметаны. В качестве контрольного образца была выбрана сметана с массовой долей жира 15%. Часть сливок заменяли микропартикулятом подсырной сыворотки с фактором концентрирования, равном 15. Внесение микропартикулята стимулировало сбраживание лактозы (Таблица 4), способствовало формированию плотного густка кислотностью 55–70 °Т за 6–8 ч (Рисунок 5).

Таблица 4
Лактозосбраживающая активность заквасочных культур для сметаны в присутствии микропартикулята

Массовая доля микропартикулята, %	Начальная кислотность, °Т	Конечная кислотность, °Т	Количество сброженной лактозы, г
0	18	75	0,46
10	18	80	0,50
15	19	81	0,50
20	19	78	0,48

Применение микропартикулята оказывало влияние на консистенцию сметаны. Продукт характеризовался коагуляционно-конденсационной пространственной структурой с преобладанием тиксотропнообратимых связей. Сывороточные белки, ввиду высокой гидратации, улучшали структуру



сметаны. Увеличение доли микропартикулята повышало вязкость продукта (Рисунок 6) и снижало синерезис (Рисунок 7).

Вместе с тем основную роль в формировании консистенции сметаны выполняет молочный жир, который в результате отвердевания и кристаллизации повышает прочность структуры и вязкость сметаны. Дополнительно структуру стабилизируют жировые скопления. При повышении доли микропартикулята выше 15% вязкость сметаны понижалась, что объясняется значительным уменьшением доли жира в продукте. В этой связи рекомендуемая доля микропартикулята в составе сметаны составляет 15%.

Аромат сметаны обусловлен рядом ароматических веществ, образующихся в результате биохимических прев-

ращений лактозы. Дегустационная комиссия отмечала улучшение органолептических свойств сметаны в присутствии микропартикулята, продукт пониженной жирности оценивался как высокожирный. Внесение микропартикулята придавало сметане более выраженный аромат, который обусловлен образованием таких веществ, как диацетил, летучие жирные кислоты, этаналь, а также некоторые лактоны, диметилсульфид и др. Качественные показатели сметаны отвечали требованиям нормативной документации (Таблица 5). В готовом продукте было отмечено более высокое содержание молочнокислых микроорганизмов, чем в контрольном образце.

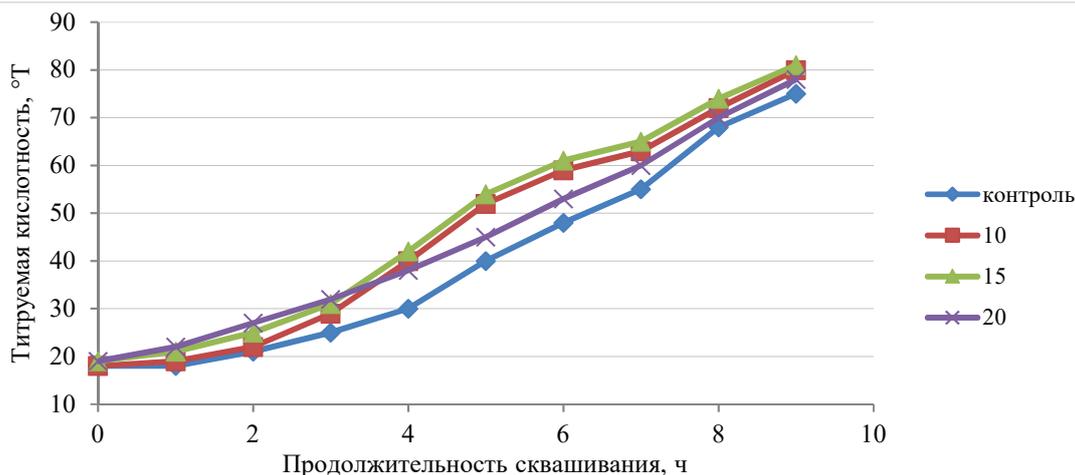


Рисунок 5. Изменение титруемой кислотности при сквашивании сливок при производстве сметаны при разных массовых долях микропартикулята

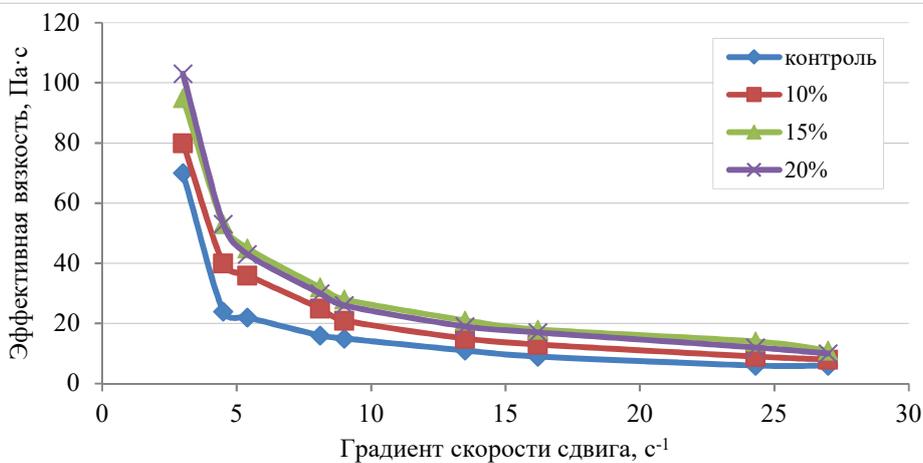


Рисунок 6. Зависимость эффективной вязкости сметаны от градиента скорости сдвига при разных долях микропартикулята

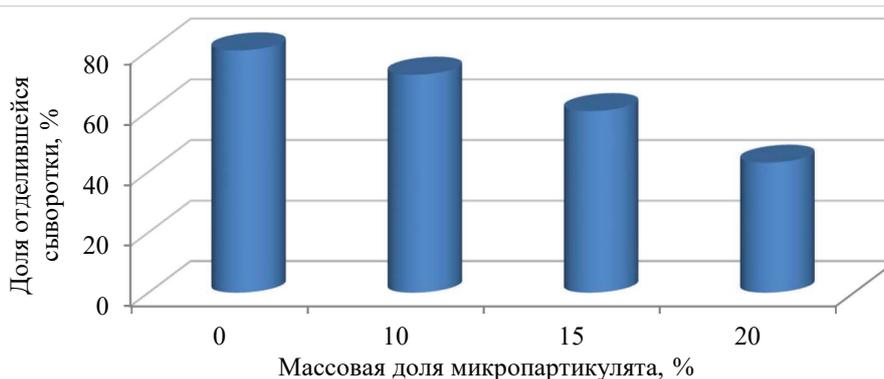


Рисунок 7. Влияние массовой доли микропартикулята на синеретическую способность сгустка

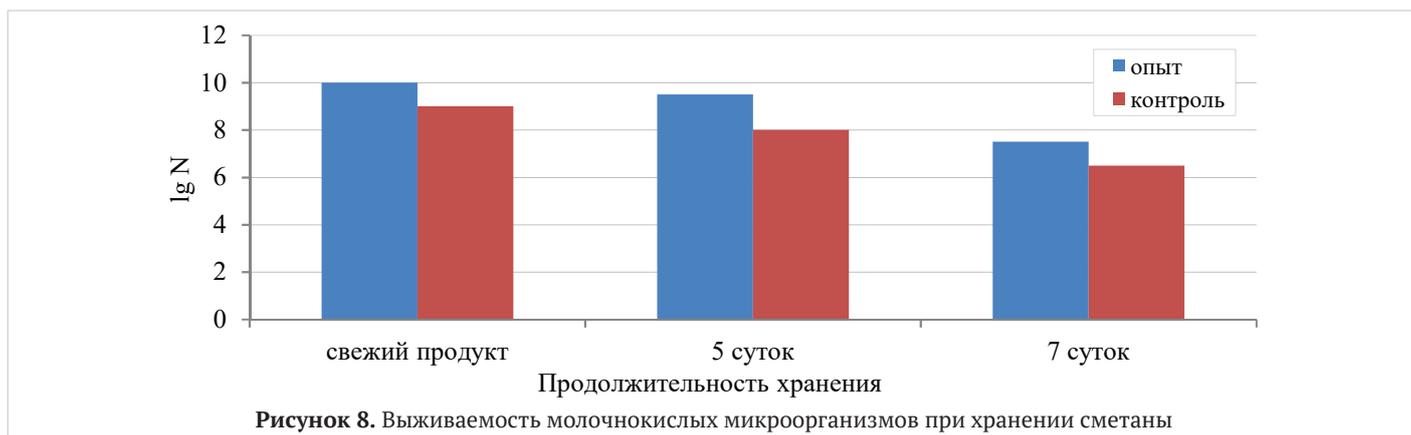


Рисунок 8. Выживаемость молочнокислых микроорганизмов при хранении сметаны

Таблица 5

Показатели качества сметаны	Значение показателя		
	требования нормативной документации	контроль	опыт
Массовая доля жира, %	10–58	15,0	12,8
Массовая доля белка, %	не менее 1,2	3,0	3,7
СОМО, %	не менее 3,6	5,0	6,3
Молочнокислые микроорганизмы, КОЕ/г	не менее 1 · 10 ⁷	1 · 10 ⁹	1 · 10 ¹⁰
Титруемая кислотность, °Т	не более 160	70	75
Содержание диацетила, мг%	не регламентируется	0,3	0,7

Энергетическая ценность разработанного продукта составила 144 ккал/100 г, что на 10% ниже контрольного образца. Присутствие микропартикулята сывороточных белков оказывало влияние на хранимоспособность сметаны. Пребиотические свойства микропартикулята улучшали выживаемость микрофлоры заквасочных культур при хранении (Рисунок 8).

Интенсивность процессов превращения липидов в результате гидролиза и окисления оценивали по изменению кислотного и перекисного чисел жира (Таблица 6).

Таблица 6

Показатели, характеризующие интенсивность гидролиза и окисления молочного жира в сметане при хранении	Значение показателя на период хранения	
	контроль	опыт
готовый продукт		
Кислотное число, мг КОН/г	1,5	1,7
Свободные жирные кислоты, мг%	14	16
Перекисное число, % J	0,008	0,008
5 суток хранения		
Кислотное число, мг КОН/г	2,3	2,5
Свободные жирные кислоты, мг%	22	26
Перекисное число, % J	0,019	0,013
7 суток хранения		
Кислотное число, мг КОН/г	3,1	3,4
Свободные жирные кислоты, мг%	45	56
Перекисное число, % J	0,023	0,016

Образование свободных жирных кислот опытного образца происходило более интенсивно, чем в контроле. Это обусловлено повышенной долей влаги и белка в результате внесения микропартикулята. Вместе с тем рост доли свободных жирных кислот в исследуемых образцах сметаны был незначительным и не оказывал влияния на органолептические свойства продукта. Интенсивность протекания начальной стадии окисления липидов характеризовали по величине перекисного числа. На первой стадии окисления происходит образование перекисей и гидроперекисей. Появление этих веществ в продукте не оказывает заметного влияния на его вкус и аромат. Вместе с тем перекиси и гидроперекиси могут оказывать негативное влияние на организм ввиду токсического действия, оказывающего разрушительное влияние на витамины и снижающего долю полиненасыщенных жирных кислот. Кроме того, продукты начальной стадии окисления могут образовывать комплексы с аминокислотами, плохо усваиваемые организмом. Это приводит к значительному снижению пищевой и биологической ценности продукта. Перекиси, образующиеся на начальной стадии окисления, в ходе дальнейших химических превращений преобразуются в насыщенные и ненасыщенные альдегиды и кетоны. Вторичные продукты окисления липидов оказывают влияние на органолептические свойства продукта, придают посторонние привкусы и запахи. В опытном образце сметаны происходило менее интенсивное окисление жира, что объясняется высокой выживаемостью микрофлоры заквасочных культур, вырабатывающей ферменты с антиоксидантными свойствами и антиоксидантной активностью микропартикулята.

4. Выводы

Применение микропартикулята сывороточных белков в производстве сметаны характеризуется многочисленными преимуществами. Использование подсырной сыворотки в качестве основы для получения микропартикулята позволяет добиться повышения эффективности переработки молока, способствует экологичности, рентабельности производства. Уникальная структура и консистенция микропартикулята, а также его высокая вязкость позволяют исключить из рецептуры низкожирного продукта стабилизационные системы. Полученный продукт характеризуется пониженной калорийностью, вместе с тем имеет насыщенный вкус, гладкую, сливочную консистенцию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Короткий, И.А., Плотников, И.Б., Мазеева, И.А. (2019). Современные тенденции в переработке молочной сыворотки. *Техника и технология пищевых производств*, 49(2), 227–234. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-227-234>
- Информационно-аналитический отчет о ситуации в молочной отрасли. Предварительные итоги 2019 года. Электронный ресурс: <http://www.souzmoloko.ru/materiali/Predvaritelnye-itogi-2019.pdf>. Дата обращения 14.04.2021

3. Ahmad, T., Aadil, R. M., Ahmed, H., Rahman, U. U., Soares, B. C. V., Souza, S. L. Q. et al. (2019). Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 88, 361–372. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>

4. Евдокимов И. А., Кравцов В. А., Федорцов Н. М., Богоровская М. А., Бобрышева Т. Н., Золоторева М. С. и др. (2021). Состав и свойства микропартикулятов сывороточных белков. *Молочная промышленность*, 4, 40–44. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-04-40-44>

5. Золоторева М. С., Володин Д. Н., Евдокимов И. А., Харитонов В. Д. (2018). Мембранные технологии для обеспечения эффективности и безопасности молочного производства. *Молочная промышленность*, 5, 36–39.

6. Tamime, A.Y. (2013). *Membrane Processing: Dairy and Beverage Applications*. US: Wiley-Blackwell, 2013.

7. Khrantsov, A.G., Babenyshv, S.P., Zhidkov, V.E., Mamay, D.S., Nurullo, M., Mamay, A.V. (2021, 18–20 ноября). *Membrane purification of secondary milk raw materials: intensification of processes*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2021. P. 32060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/3/032060>

8. de Castro, R. J. S., Domingues, M. A. F., Ohara, A., Okuro, P. K., dos Santos, J. G., Vreho, R. P. et al. (2017). Whey protein as a key component in food systems: Physicochemical properties, production technologies and applications. *Food Structure*, 14, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2017.05.004>

9. Баранов, С.А., Евдокимов, И.А., Гордиенко, Л.А., Шрамко, М.И. (2020). Влияние микропартикулята сывороточных белков на показатели кисломолочных напитков. *Молочная промышленность*, 9, 59–62. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-09-59-61>

10. Гунькова, П.И., Горбатова, К.К. (2015). Биотехнологические свойства белков молока. СПб.: ГИОРД, 2015.

11. Liu, K., Tian, Y., Stieger, M., Van der Linden, E., Van de Velde, F. (2016). Evidence for ball-bearing mechanism of microparticulated whey protein as fat replacer in liquid and semi-solid multi-component model foods. *Food Hydrocolloids*, 52, 403–414. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.07.016>

12. Olivares, M. L., Shahrivar, K., de Vicente, J. (2019). Soft lubrication characteristics of microparticulated whey proteins used as fat replacers in dairy systems. *Journal of Food Engineering*, 245, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.10.015>

13. Ipsen, R. (2017). Microparticulated whey proteins for improving dairy product texture. *International Dairy Journal*, 67, 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.08.009>

14. Torres, I. C., Amigo, J. M., Knudsen, J. C., Tolkach, A., Mikkelsen, B. Ø., Ipsen, R. (2018). Rheology and microstructure of low-fat yoghurt produced with whey protein microparticles as fat replacer. *International Dairy Journal*, 81, 62–71. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.01.004>

15. Лосев А. Н., Станиславская Е. Б., Мельникова Е. И. (2017). Новые технологические решения в переработке творожной сыворотки. Часть 1. Исследование процесса микропартикуляции творожной сыворотки. *Молочная промышленность*, 1, 56–57.

16. Melnikova, E.I., Stanislavskaya, E.B., Fedorova, A.R. (2021, *Modification of the whey protein cluster for the utilization in low-calorie food technology*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials. Voronezh, Russia, 2021. P. 032014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/3/032014>

REFERENCES

1. Korotkiy, I.A., Plotnikov, I.B., Mazeeva, I.A. (2019). Current trends in whey processing. *Food Processing: Techniques and Technology*, 49(2), 227–234. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-227-234> (In Russian)

2. Information and analytical report on the situation in the dairy industry. Preliminary results of 2019. Retrieved from <http://www.souzmoloko.ru/materiali/Predvaritelnye-itogi-2019.pdf>. Accessed April 14, 2021 (In Russian)

3. Ahmad, T., Aadil, R. M., Ahmed, H., Rahman, U. U., Soares, B. C. V., Souza, S. L. Q. et al. (2019). Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 88, 361–372. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>

4. Evdokimov, I.A., Kravtsov, V.A., Fedortsov, N.M., Bogorovskaya, M.A., Bobrysheva, T.N., Zolotoreva, M.S. et al. (2021). Composition and properties of whey protein microparticulates. *Dairy Industry*, 4, 40–44. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-04-40-44> (In Russian)

5. Zolotareva, M.S., Volodin, D.N., Evdokimov, I.A., Haritonov, V.D. (2018). Membrane technologies for ensuring efficiency and safety of milk processing. *Dairy Industry*, 5, 36–39. (In Russian)

6. Tamime, A.Y. (2013). *Membrane Processing: Dairy and Beverage Applications*. US: Wiley-Blackwell, 2013.

7. Khrantsov, A.G., Babenyshv, S.P., Zhidkov, V.E., Mamay, D.S., Nurullo, M., Mamay, A.V. (2021, 18–20 ноября). *Membrane purification of secondary milk raw materials: intensification of processes*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2021. P. 32060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/3/032060>

8. de Castro, R. J. S., Domingues, M. A. F., Ohara, A., Okuro, P. K., dos Santos, J. G., Vreho, R. P. et al. (2017). Whey protein as a key component in food systems: Physicochemical properties, production technologies and applications. *Food Structure*, 14, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2017.05.004>

9. Baranov, S.A., Evdokimov, I.A., Gordienko, L.A., Shramko, M.I. (2020). The effect of whey protein microparticulate on properties of fermented milk drinks. *Dairy Industry*, 9, 59–62. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-09-59-61> (In Russian)

10. Gunkova, P.I., Gorbatova, K.K. (2015). Biotechnological properties of milk proteins. Saint-Petersburg: GIORД, 2015.

11. Liu, K., Tian, Y., Stieger, M., Van der Linden, E., Van de Velde, F. (2016). Evidence for ball-bearing mechanism of microparticulated whey protein as fat replacer in liquid and semi-solid multi-component model foods. *Food Hydrocolloids*, 52, 403–414. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.07.016>

12. Olivares, M. L., Shahrivar, K., de Vicente, J. (2019). Soft lubrication characteristics of microparticulated whey proteins used as fat replacers in dairy systems. *Journal of Food Engineering*, 245, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.10.015>

13. Ipsen, R. (2017). Microparticulated whey proteins for improving dairy product texture. *International Dairy Journal*, 67, 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.08.009>

14. Torres, I. C., Amigo, J. M., Knudsen, J. C., Tolkach, A., Mikkelsen, B. Ø., Ipsen, R. (2018). Rheology and microstructure of low-fat yoghurt produced with whey protein microparticles as fat replacer. *International Dairy Journal*, 81, 62–71. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.01.004>

15. Losev, A.N., Stanislavskaya, E.B., Melnikova, E.I. (2017). New technological solutions in curds whey processing. Part 1. Study of the process of curds whey microparticulation. *Dairy Industry*, 1, 56–57. (In Russian)

16. Melnikova, E.I., Stanislavskaya, E.B., Fedorova, A.R. (2021, *Modification of the whey protein cluster for the utilization in low-calorie food technology*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials. Voronezh, Russia, 2021. P. 032014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/3/032014>



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p>Мельникова Елена Ивановна — доктор технических наук, профессор, профессор, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий 394036, Воронеж, пр. Революции, 19 Тел.: +7-919-241-44-04 E-mail: melnikova@molvest.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3474-2534</p>	<p>Elena I. Melnikova — doctor of technical sciences, professor, professor, Department of Technology of Animal Products, Voronezh State University of Engineering Technologies 19, Revolution Av., 394036, Voronezh, Russia Tel.: +7-919-241-44-04 E-mail: melnikova@molvest.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3474-2534</p>
<p>Станиславская Екатерина Борисовна — доктор технических наук, доцент, профессор, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий 394036, Воронеж, пр. Революции, 19 Тел.: +7-953-509-90-44 E-mail: tereshkova-katia@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-6238 * автор для контактов</p>	<p>Ekaterina B. Stanislavskaya — doctor of technical sciences, docent, professor, Department of Technology of Animal Products, Voronezh State University of Engineering Technologies 19, Revolution Av., 394036, Voronezh, Russia Tel.: +7-953-509-90-44 E-mail: tereshkova-katia@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-6238 * corresponding author</p>
Критерии авторства	Contribution
<p>Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат</p>	<p>Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism</p>
Конфликт интересов	Conflict of interest
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов</p>	<p>The authors declare no conflict of interest</p>

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-126-133>

Поступила 22.04.2021

Поступила после рецензирования 16.06.2021

Принята в печать 25.06.2021

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО СОСТАВА ПЛЕСНЕВОЙ И ЗАКВАСОЧНОЙ МИКРОФЛОРЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЯГКИХ СЫРОВ

Свириденко Г. М.*, Мордвинова В. А., Остроухова И. Л.

Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия, Углич, Ярославская область, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

мягкий сыр с плесенью,
кислотообразующая
микробиота, плесневая
микробиота, протеолиз,
липолиз, органолептические
показатели,
хранимость

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты исследования особенностей роста, в т. ч. совместного, плесневых культур *Penicillium camemberti* и дрожжеподобных грибов *Geotrichum candidum* на плотной питательной среде, а так же закономерностей изменения органолептических, физико-химических и микробиологических характеристик сыров типа Камамбер в процессе выработки, созревания и хранения в зависимости от комбинаций бактериальной и плесневой заквасочной микрофлоры. В качестве объектов исследования использовали культуры *Penicillium camemberti* и *Geotrichum candidum*, сыры с белой плесенью, изготовленные по типу сыра «Камамбер», выработанные из коровьего молока с мезофильной и термофильной заквасочной микрофлорой, плесневыми культурами *Penicillium camemberti* и дрожжеподобными грибами *Geotrichum candidum*. Исследование сыров проводили в процессе созревания и хранения через 15, 30, 60 суток с момента изготовления. Установлено, что при совместном культивировании *Penicillium camemberti* и *Geotrichum candidum* на чашках Петри при визуальной оценке наблюдается симбиотический эффект развития культур, проявляющийся в стимулирующем влиянии дрожжеподобных грибов на рост плесневых грибов, по сравнению с культивированием каждой культуры по отдельности. В условиях проведенного эксперимента основной плесневой культурой, оказывающей влияние на органолептические показатели сыра, явилась плесневая культура *Penicillium camemberti*. Комбинация плесневых культур не оказала влияния на улучшение органолептических показателей сыров. Показано, что состав основной кислотообразующей заквасочной микрофлоры, как мезофильной, так и термофильной, оказывает значимое влияние на молочнокислый процесс и вкусообразование сыра типа «Камамбер». Сыры, выработанные на основе мезофильной заквасочной микрофлоры, отличались ускоренным процессом созревания и меньшей хранимостью за счет более глубокого протеолиза. Одновременно сыры, выработанные на основе термофильной заквасочной микрофлоры, сохраняли стабильность качества до 60 суток. Таким образом, использование различных комбинаций заквасочных культур позволит создавать вкусовую линейку сыров с белой плесенью в зависимости от потребительских предпочтений с разной хранимостью.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по Государственному заданию № 0585–2019–0011 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 22.04.2021

Accepted in revised 16.06.2021

Accepted for publication 25.06.2021

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF MOLD AND STARTER MICROFLORA ON THE FORMATION OF ORGANOLEPTIC CHARACTERISTICS OF SOFT-RIPENED CHEESES

Galina M. Sviridenko*, Valentina A. Mordvinova, Irina L. Ostroukhova

All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking of RAS, Uglich, Yaroslavl Region, Russia

KEY WORDS:

soft-ripened cheese with mold,
acid-forming microflora, mold
microflora, proteolysis, lipolysis,
organoleptic characteristics,
storage capacity

Abstract The article presents the results of a study of the characteristics of growth, incl. joint, mold cultures of *Penicillium camemberti* and yeast-like fungi of *Geotrichum candidum* on a dense nutrient medium and the regularities of changes in the organoleptic, physicochemical and microbiological characteristics of Camembert-type cheeses in the process of production, ripening and storage, depending on the combinations of bacterial and mold starter microflora. The objects of the study were the cultures of *Penicillium camemberti* and *Geotrichum candidum*, cheeses with white mold, made according to the type of "Camembert" cheese, produced from cow's milk with mesophilic and thermophilic fermenting microflora, mold cultures of *Penicillium camemberti* and yeast-like fungi of *Geotrichum candidum*. The study of cheeses was carried out in the process of ripening and storage after 15, 30, 60 days from the date of manufacture. It was found that when *Penicillium camemberti* and *Geotrichum candidum* were co-cultivated on Petri dishes, visual assessment showed a symbiotic effect of culture development, which manifests itself in the stimulating effect of yeast-like fungi on the growth of mold fungi compared to the cultivation of each culture separately. Under the conditions of the experiment carried out, the main mold culture influencing the organoleptic characteristics of the cheese was the mold culture of *Penicillium camemberti*. The combination of mold cultures did not affect the improvement of the organoleptic characteristics of the cheeses.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Свириденко, Г. М., Мордвинова, В. А., Остроухова, И. Л. (2021). Исследование влияния композиционного состава плесневой и заквасочной микрофлоры на формирование органолептических показателей мягких сыров. *Пищевые системы*, 4(2), 126-133. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-126-133>

FOR CITATION: Sviridenko, G.M., Mordvinova, V.A., Ostroukhova, I.L. (2021). Study of the influence of the composition of mold and starter microflora on the formation of organoleptic characteristics of soft-ripened cheeses. *Food systems*, 4(2), 126-133. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-126-133>

It is shown that the composition of the main acid-forming starter microflora, both mesophilic and thermophilic, has a significant effect on the lactic acid process and flavoring of Camembert-type cheese. The cheeses produced on the basis of mesophilic starter microflora were distinguished by an accelerated ripening process and less storage capacity due to deeper proteolysis. At the same time, cheeses produced on the basis of thermophilic fermenting microflora retained quality stability for up to 60 days. Thus, the use of various combinations of starter cultures will make it possible to create a flavor line of cheeses with white mold, depending on consumer preferences with different storage capacity.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. 0585–2019–0011 of the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

Мягкие сыры с белой плесенью в настоящее время являются популярным продуктом сыроделия. За последние два года объем рынка сыров с белой плесенью в России вырос на 22,2% и составил 2,35 тыс. т в натуральном выражении, чему способствовало сокращение объемов импорта из Европы. Сыры с белой плесенью — продукт премиального сегмента с уникальными органолептическими свойствами, рентабельность производства которого обуславливается короткими сроками созревания. Поэтому технологии их изготовления внедрены как на промышленных предприятиях, так и в небольших производствах в условиях крестьянско-фермерского хозяйства [1].

Отличительной особенностью технологий этих сыров является композиционное использование бактериальной и плесневой заквасочной микрофлоры. Мониторинг современных бактериальных заквасочных культур показал, что в качестве основной кислотообразующей микрофлоры чаще всего используются или лактококковые мезофильные культуры, или термофильные, основным компонентом которых является термофильный стрептококк, или поливидовые, состоящие из мезофильных и термофильных микроорганизмов. Для созревания также применяют плесневые грибы вида *Penicillium camemberti* и дрожжеподобные грибы вида *Geotrichum candidum* [2,3].

Исследования зарубежных ученых показали, что *Penicillium camemberti* является необходимым элементом микрофлоры сыров с развитием плесени на поверхности сыра и обеспечивает формирование белого плотного бархатистого мицелия. Некоторые исследователи рекомендуют применять *Geotrichum candidum* как дополнительную культуру для уменьшения горечи в сырах с белой плесенью, считая, что при совместном использовании *Geotrichum candidum* и *Penicillium camemberti* между ними создается конкуренция за питательные вещества, что приводит к сбалансированности вкусового букета [4]. Существует мнение, что протеолитические и липолитические системы *Penicillium camemberti* и *Geotrichum candidum* отличаются большим разнообразием и обеспечивают образование искомого вкуса и аромата [5–10].

В советский период отечественными учеными были проведены исследования по разработке технологий сыров с белой плесенью. Базовой технологией стала технология сыра «Русский камамбер», который и в настоящее время входит в ассортимент сыров ГОСТ 32263–2013 «Сыры мягкие. Технические условия». Рекомендованный по ГОСТ состав основной кислотообразующей заквасочной микрофлоры — только мезофильные лактококки и плесневая культура *Penicillium camemberti*, что ограничивает возможности создания ассортиментной палитры сыров данной группы [11].

Результаты проведенного мониторинга научной литературы позволяют сделать заключение о недостаточности и неоднозначности выводов об использовании различных групп заквасочных микроорганизмов, в том числе плесневой микрофлоры для производства сыров с белой плесенью, а также их влияния на формирование органолептических показателей и хранимоспособность продукта [11,12].

Исходя из актуальности проблемы, целью данной работы является исследование закономерностей изменения органолептических, физико-химических и микробиологических характеристик мягких сыров из коровьего молока в процессе выработки, созревания и хранения в зависимости от комбинаций бактериальной и плесневой заквасочной микрофлоры.

2. Материалы и методы

Для изучения ростовых характеристик плесневой микрофлоры проводили посевы разведений плесневых культур *Penicillium camemberti* (PC) и *Geotrichum candidum* (GC) на плотную питательную среду КМАФАнМ по вариантам: 1 вариант — PC, 2 вариант — GC, 3 вариант — PC + GC в соотношении 50/50 по расчетному содержанию жизнеспособных клеток. Посевы культивировали при температуре (30 ± 1) °С. Динамику развития популяций отслеживали ежедневно подсчетом количества образующихся колоний на поверхности питательной среды.

При выполнении исследований сыров в качестве объектов служили образцы сыров с белой плесенью, изготовленных в экспериментальном сыродельном цехе ВНИИМС по типу сыра «Камамбер» (далее — сыр). Сыры вырабатывали из коровьего молока с мезофильной и термофильной заквасочной микрофлорой, плесневыми культурами *Penicillium camemberti* (PC) и дрожжеподобными грибами *Geotrichum candidum* (GC по вариантам, указанным в Таблице 1).

В исследуемых образцах сыров стандартизованными методами определяли физико-химические показатели (активную кислотность и массовую долю влаги), а также бактериальную обсемененность по количеству жизнеспособных клеток мезофильных (КМАФАнМ) и термофильных (КТАФАнМ), аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, дрожжей, плесневых грибов и спорных микроорганизмов.

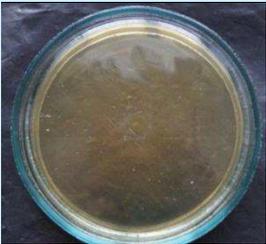
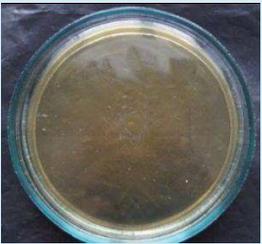
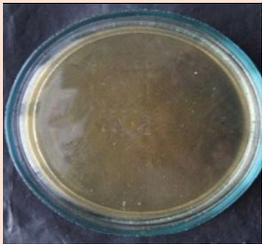
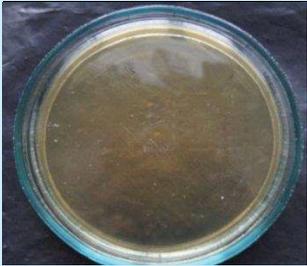
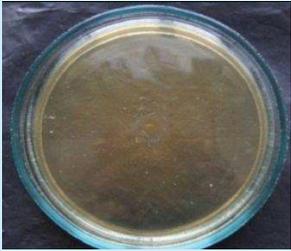
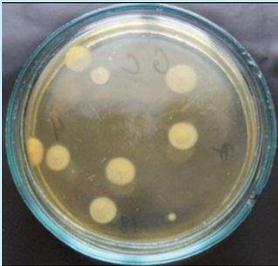
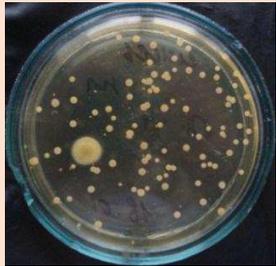
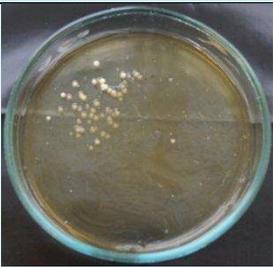
Органолептическую оценку сыров проводили с помощью дескрипторно-профильного метода, принимая во внимание выраженность основных характеристик вкуса и запаха (сырный, кислый, посторонний, прогорклый), оцениваемых по шкале от 0 до 10 баллов.

Таблица 1
Варианты выработок мягких сыров с различными комбинациями заквасочных культур

Варианты опыта	Основная кислотообразующая заквасочная микрофлора			Плесневая микрофлора	
	<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i> , <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>cremoris</i>	<i>Streptococcus thermophilus</i>		<i>Penicillium camemberti</i> (PC)	<i>Penicillium camemberti</i> , <i>Geotrichum candidum</i> (PC + GC)
1–1	+	-		-	+
1–2	+	-		+	-
2–1	-	+		-	+
2–2	-	+		+	-

Таблица 2

Визуальная оценка развития культур плесневых грибов *Penicillium camemberti* (PC) и *Geotrichum candidum* (GC) на среде КМАФАнМ

Периодичность осмотра	Развитие культуры плесневых грибов при культивировании через сутки, вид на чашке Петри, КОЕ		
	Варианты опыта		
	1 вариант – PC	2 вариант – GC	3 вариант – PC+GC
1 сут			
	рост отсутствует	рост отсутствует	мелкие, слегка видимые колонии
2 сут			
	рост отсутствует	8 КОЕ	70 КОЕ
3 сут			
	рост отсутствует	8 КОЕ	78 КОЕ
7 сут			
	45 КОЕ мелкие колонии	9 КОЕ	80 КОЕ
10 сут			
	68 КОЕ	9 КОЕ	80 КОЕ

Смесь из цельного и обезжиренного молока составляли таким образом, чтобы получить массовую долю жира в сухом веществе сыра 50%. Смесь пастеризовали при температуре 72 °C с выдержкой 20 секунд.

В пастеризованную смесь, охлажденную до температуры свертывания, вносили раствор хлористого кальция концентрацией 40% из расчета 30 г/100 кг смеси, производственную бактериальную закваску в количестве 1,5% и плесневые культуры из расчета 10 U на 5 т молока. Температура свертывания смеси молокосвертывающим ферментным препаратом устанавливалась в зависимости от вида заквасочной микрофлоры. Для сыра с мезофильной микрофлорой температура составляла 33 ± 1 °C; для сыра с термофильной микрофлорой — 37 ± 1 °C.

Молокосвертывающий ферментный препарат животного происхождения СП-90 «Экстра» вносили в смесь после ее выдержки с закваской в течение 30 минут. Процесс образования и укрепления геля до его разрезки составил 1,5 часа. После разрезки сырное зерно обрабатывали в течение 20 ± 5 мин до начала формования. Сырная масса в формах подвергалась самопрессованию с 4–5-кратным переворачиванием сырной головки. После самопрессования сыр солился в течение 35 мин. в рассоле концентрацией 20 ± 1% и температурой 11 ± 1 °C, после чего обсушивался в течение 24 часов. Масса сырной головки составляла 200 ± 20 г.

Сыры созревали в камере при температуре 10–11 °C и относительной влажности воздуха (80 ± 2)% в течение 8–9 суток. По истечении этого периода на сырах образовывался мицелий белой плесени и головки упаковывали в пергамент, затем в фольгу и оставляли при температуре созревания до 30-суточного возраста. После 1 месяца созревания упакованные сыры переносили в камеру с температурой 3 ± 1 °C, где хранили до возраста 60 суток.

Исследование сыров по физико-химическим, органолептическим и микробиологическим показателям проводили через 15, 30, 60 суток с момента изготовления.

Математическую обработку полученных результатов проводили с использованием программы Microsoft Excel 2010.

3. Результаты и обсуждение

На первом этапе исследований изучали ростовые характеристики плесневых культур на питательной среде, результаты представлены в Таблице 2.

Анализ полученных результатов показывает, что культура дрожжеподобных грибов *Geotrichum candidum* (2 вариант) продемонстрировала быстрый рост: уже на вторые сутки культивирования на питательной среде обнаруживаются типичные поверхностные колонии среднего размера с ровным

краем сероватого цвета. В процессе дальнейшего наблюдения за развитием данной культуры (с 3 по 10 сутки) их количество и размер остаются без изменения.

В отличие от *Geotrichum candidum* у культуры *Penicillium camemberti* (1 вариант) наблюдался медленный «старт»: в возросте до 3 суток рост колоний не отмечен. Первые заметные признаки роста были выявлены на 7-е сутки культивирования. К 10-суточному возрасту количество выявленных колоний *Penicillium camemberti* увеличилось в 1,5 раза, и их размер укрупнился. При этом мицелий отличался плотностью, имел характерную белую окраску.

При совместном культивировании *Penicillium camemberti* и *Geotrichum candidum* (3 вариант) наблюдается симбиотический эффект развития культур, проявляющийся в стимулирующем влиянии дрожжеподобных грибов на рост плесневых грибов, по сравнению с культивированием каждой культуры по отдельности.

На втором этапе исследований проводилось изучение физико-химических, микробиологических и органолептических показателей сыров, выработанных с различными комбинациями заквасочной и плесневой микрофлоры с целью установления их влияния на формирование качественных характеристик сыров с белой плесенью.

В Таблице 3 представлены данные изменения количества мезофильных и термофильных заквасочных микроорганизмов в зависимости от комбинации культур.

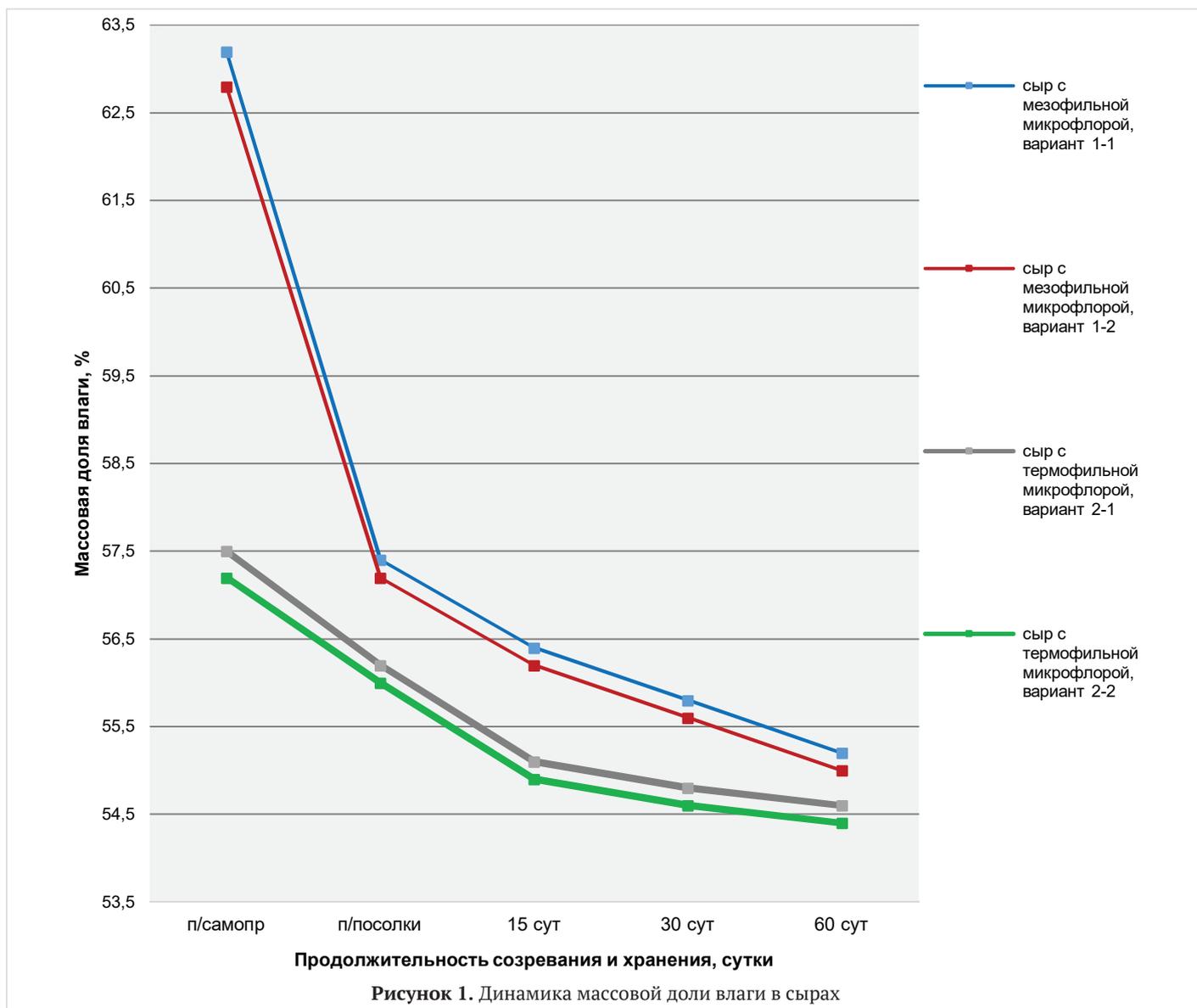
Данные, представленные в Таблице 3, свидетельствуют, что молочнокислый процесс во время выработки и самопрессования шел достаточно активно во всех вариантах опыта, а также был накоплен необходимый уровень заквасочной микрофлоры. Благоприятными факторами для развития бактериальной закваски являлись повышенная массовая доля влаги в сырном тесте и продолжительное самопрессование при температуре 20 ± 2 °C.

При этом между вариантами опыта выявлены различия в количестве жизнеспособных клеток заквасочных микроорганизмов. Так, в смеси для выработки сыра с мезофильной микрофлорой (варианты 1–1, 1–2) наблюдался уровень микроорганизмов примерно на полпорядка выше, чем в смеси с термофильными микроорганизмами (варианты 2–1, 2–2), при одинаковой дозе закваски. Во всех вариантах в процессе выработки сыров наблюдалась высокая активность кислотообразующей микрофлоры с учетом некоторого разброса данных; количество жизнеспособных клеток заквасочных микроорганизмов достигает максимума уже в сыре после самопрессования и на начальных этапах созревания. В процессе созревания сыров количество заквасочных микроорганизмов

Таблица 3

Изменение мезофильной и термофильной микрофлоры (МФ) в сырах во время выработки и созревания (средние данные по трем выработкам)

Варианты опыта	Состав заквасочной микрофлоры в сыре	Время отбора проб			
		смесь перед свертыванием	сыр п/самопрессования	сыр 15 сут	сыр 30 сут
Количество микроорганизмов, КОЕ/г					
1–1	мезофильная, плесневая (PC + GC)	(1,4 ± 0,6) · 10 ⁷	(2,9 ± 1,4) · 10 ⁹	(1,6 ± 0,5) · 10 ⁹	(8,4 ± 1,2) · 10 ⁸
1–2	мезофильная, плесневая (PC)	(1,5 ± 0,5) · 10 ⁷	(4,3 ± 0,8) · 10 ⁹	(1,5 ± 0,7) · 10 ⁹	(7,8 ± 1,6) · 10 ⁸
2–1	термофильная, плесневая (PC + GC)	(3,4 ± 0,6) · 10 ⁶	(7,4 ± 1,0) · 10 ⁸	(1,8 ± 1,0) · 10 ⁹	(8,0 ± 1,2) · 10 ⁸
2–2	термофильная, плесневая (PC)	(3,4 ± 0,7) · 10 ⁶	(9,9 ± 0,6) · 10 ⁸	(1,5 ± 0,8) · 10 ⁹	(7,8 ± 1,2) · 10 ⁸



закономерно уменьшается. К 30 суткам популяция заквасочных микроорганизмов в сырной массе уменьшилась в 2 раза во всех вариантах сыров.

Наблюдения за динамикой изменения массовой доли влаги в сырах в процессе созревания (Рисунок 1) показали следующее. После самопрессования значения массовой доли влаги в сырах с мезофильной микрофлорой, в сравнении с сырами с термофильной микрофлорой, было больше в среднем на 6,0% при равном времени образования сгустка и одинаковой продолжительности обработки сырного зерна. Далее в процессе посолки и созревания сыра разница между вариантами сократилась и составляла от 1,0 до 0,5%.

Изменение активной кислотности в сырах представлено на Рисунке 2.

Динамика изменения активной кислотности сыров зависела только от вида основной кислотообразующей микрофлоры, а не от состава плесневой микрофлоры. Более активное изменение кислотности сырной массы во время выработки, созревания и хранения было отмечено в сырах с мезофильной микрофлорой.

В процессе созревания сыров после 15 суток наблюдается изменение характера процесса кислотообразования. На первом этапе процесса созревания падение активной кислотности до 4,74 ед. рН идет за счет гликолиза лактозы при участии ферментов, продуцируемых кислотообразующей заквасочной микрофлорой. К 15 суткам созревания в сырах лактоза

сброжена, и лидирующее значение приобретают процессы протеолиза за счет ферментов, продуцируемых преимущественно плесневой микрофлорой, что приводит к резкому росту значений рН, вплоть до нейтральных.

Полученные данные свидетельствуют о значимом влиянии состава заквасочной микрофлоры на уровень молочнокислого процесса в сырах различных вариантов, что, в свою очередь, непосредственно оказывает влияние на формирование как вкусового букета, так и консистенции.

При оценке органолептических показателей сыров в точках контроля были отмечены различия во вкусе сыров разных вариантов, которые не являлись стабильными и менялись в зависимости от возраста сыров.

В Таблице 4 представлены такие составляющие вкуса, как степень выраженности сырного и выраженность кисломолочного вкусов, являющиеся доминирующими вкусового букета сыра типа «Камамбер» различного возраста.

Совокупность полученных данных показала, что на 15-е сутки вкус сыров с мезофильной микрофлорой (варианты 1-1, 1-2) был исключительно кисломолочный с творожистой консистенцией. К 30-ти суткам созревания во вкусовом букете присутствовали различные ноты, придающие сыру более насыщенный вкус (кисломолочный, сырный, горьковатый, грибной). Консистенция характеризовалась как текучая под корочкой с наличием творожистого ядра в центре.

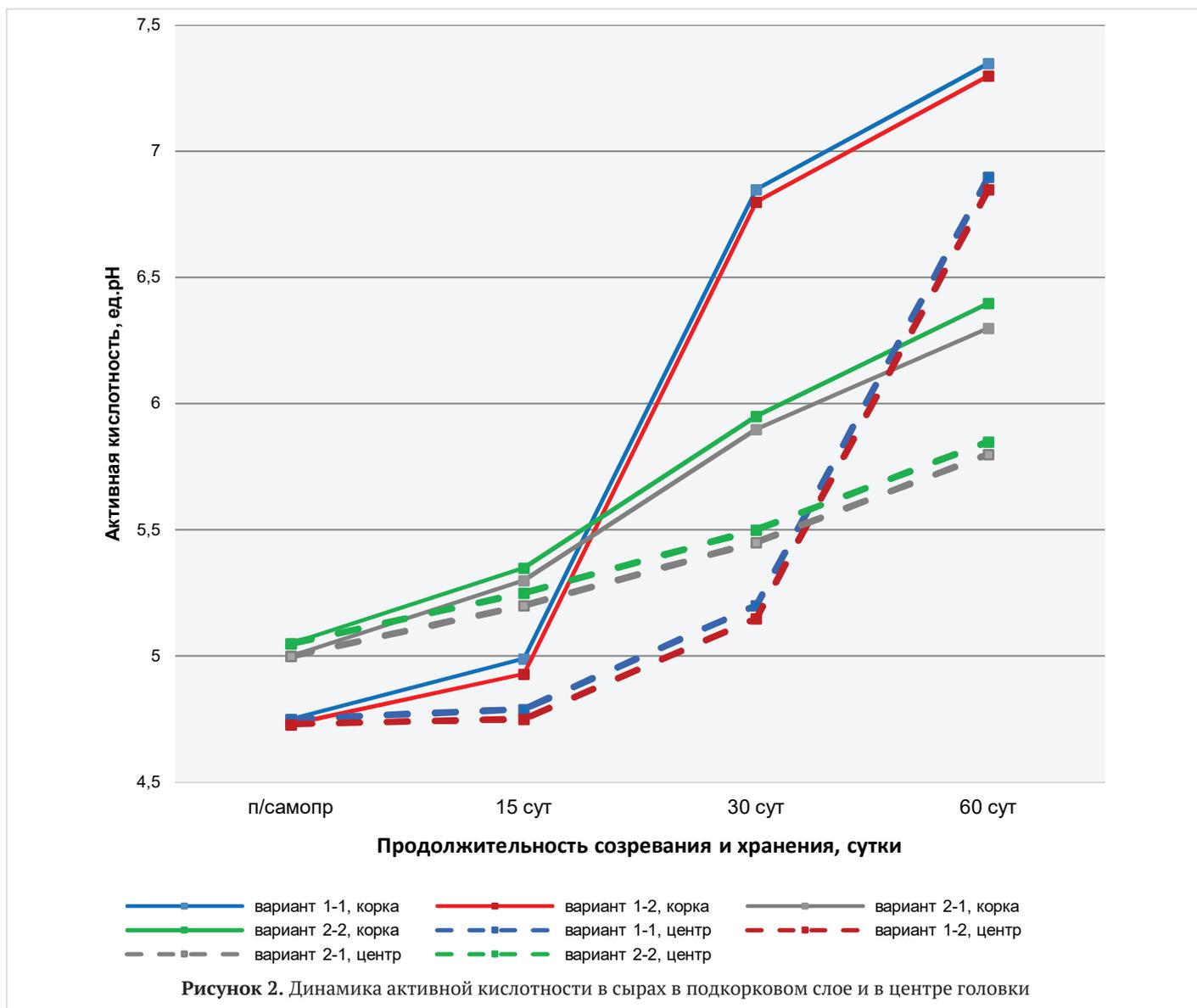


Таблица 4
Степень выраженности сырного и кисломолочного вкусов в сырах в процессе созревания

Варианты	Состав заквасочной микрофлоры в сыре	Составляющая вкуса	Характеристика, степень выраженности		
			15 суток	30 суток	60 суток
1-1	мезофильная, плесневая (PC + GC)	кисломолочный	+++	++	+
		сырный	-	++	+++
1-2	мезофильная, плесневая (PC)	кисломолочный	+++	++	-
		сырный	-	++	+++
2-1	термофильная, плесневая (PC + GC)	кисломолочный	++	+	+
		сырный	+	++	++
2-2	термофильная, плесневая (PC)	кисломолочный	++	+	+
		сырный	+	++	++

+ – степень выраженности вкуса от одного до трех крестов.

К 60-ти суткам хранения в сырах с мезофильной микрофлорой усилился сырный вкус, появились признаки перезрелости. Консистенция отличалась сильной текучестью.

В сырах с термофильной микрофлорой (варианты 2-1, 2-2) слабый кисломолочный вкус присутствовал только в возрасте

15 суток, при дальнейшем созревании эта составляющая вкуса не была обнаружена. При этом уже в 15 суток созревания в сырах был отмечен слабый сырный вкус, который усилился до умеренного к 30 суткам созревания. В процессе хранения до 60 суток сырный вкус оставался умеренным.

Сыры с термофильной микрофлорой показали более стабильное сохранение умеренно выраженного вкуса без ярких нот при отсутствии горечи. Консистенция сыра – от умеренно плотной и стабилизированной до кремообразной, напоминающей консистенцию плавленого сливочного сыра.

Для наглядности основные различия во вкусе и консистенции сыров в возрасте 30 суток (кондиционной зрелости) представлены на дескрипторных профилограммах (Рисунок 3).

Сравнение дескрипторных профилограмм показало, что комплексное использование плесневых культур, независимо от состава основной кислотообразующей заквасочной микрофлоры, не выявило их преимущества в формировании вкусового букета в сравнении с сырами, выработанными с *Penicillium camemberti*.

В ходе визуальной оценки внешнего вида сыров различных вариантов не было выявлено отличий в развитии плесени на поверхности сырной головки, однако совместное использование *Penicillium camemberti* и *Geotrichum candidum* позволило получить более тонкую и упругую сырную корочку.

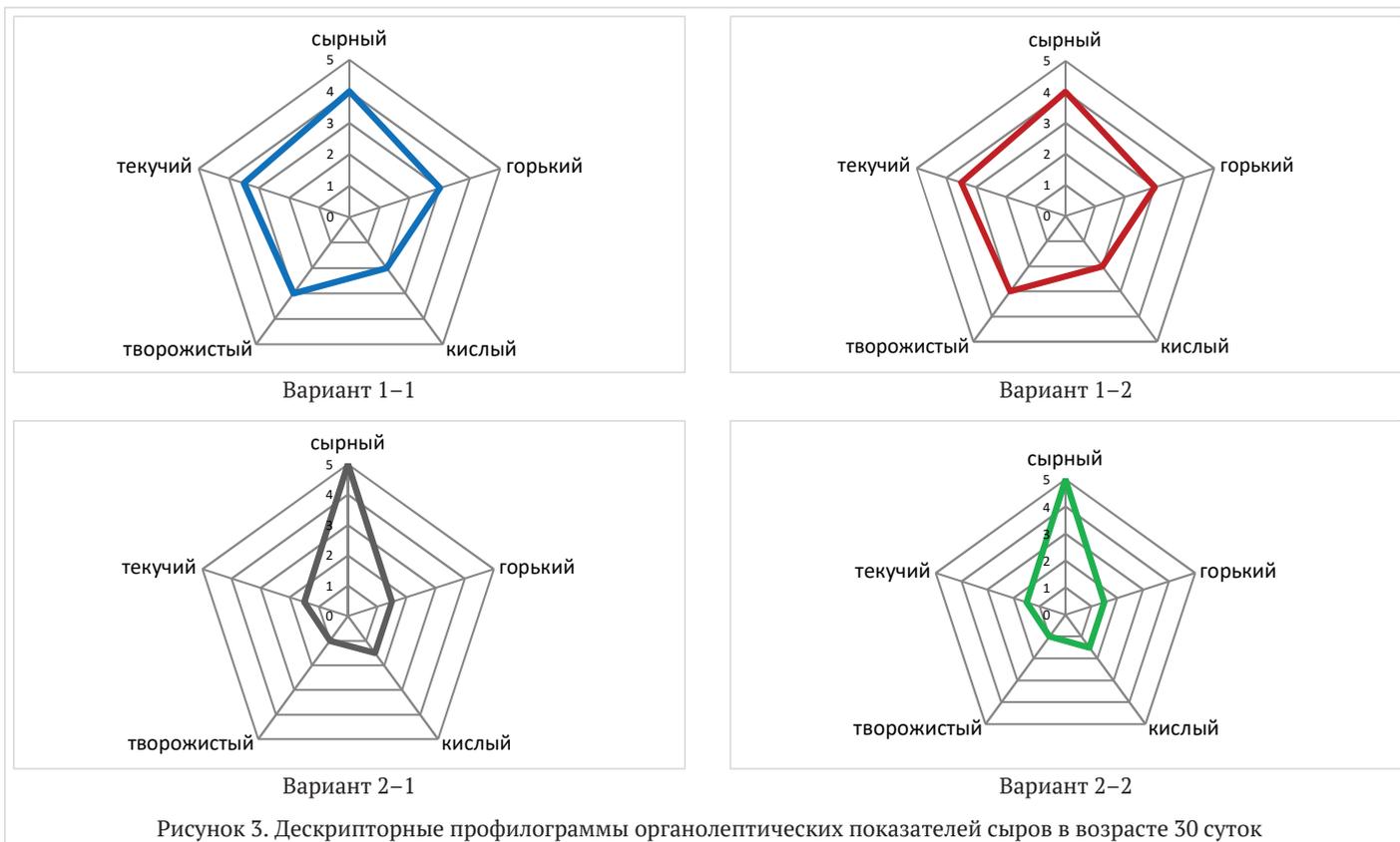


Рисунок 3. Дескрипторные профилограммы органолептических показателей сыров в возрасте 30 суток

4. Заключение

В условиях эксперимента не была доказана целесообразность использования дополнительной культуры дрожжеподобных грибов *Geotrichum candidum* к основной плесневой микрофлоре *Penicillium camembertic* с целью улучшения органолептических показателей сыров. Однако в результа-

те проведенных исследований установлено, что, используя различные комбинации заквасочных и плесневых культур, можно создавать вкусовую линейку сыров с белой плесенью, удовлетворяющих различные потребительские предпочтения, а также имеющие различную хранимоспособность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Остроухова, И.Л., Мордвинова, В.А., Свириденко, Г.М., Остроухов, Д.В. (2019). Влияние температуры пастеризации и кислотности молока на показатели качества сыров с белой плесенью. *Сыроделие и маслоделие*, 6, 8–10. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2019-6-8-10>
2. Мордвинова, В.А., Остроухова, И.Л., Остроухов, Д.В. (2018). Технологические аспекты изготовления сыра Камамбер. *Переработка молока*, 9(227), 38–41.
3. Шиллер, Г.Г. (1989). Производство сыра: технология и качество. М.: Агропромиздат, 1989.
4. Spinnler, H.-E., Gripon, J.-C. (2004). Surface mould-ripened cheeses. Chapter in a book: *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, Volume 2, Academic Press, 2004.
5. Остроухова, И.Л., Мордвинова, В.А., Свириденко, Г.М., Остроухов, Д.В., Мягконосков, Д.С. (2019). К вопросу вкусообразования сыров с белой плесенью. *Сыроделие и маслоделие*, 2, 17–19. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2019-2-17-19>
6. Batty, D., Waite-Cusic, J. G., Meunier-Goddik, L. (2019). Influence of cheese-making recipes on the composition and characteristics of Camembert-type cheese. *Journal of Dairy Science*, 102 (1), 164–176. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14964>
7. Los, P. R., Simões, D. R. S., Benvenuti, L., Zielinski, A. A. F., Alberti, A., Nogueira, A. (2021). Combining chemical analysis, sensory profile, CATA, preference mapping and chemometrics to establish the consumer quality standard of camembert-type cheeses. *International Journal of Dairy Technology*, 74(2), 371–382. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12753>
8. Lessard, M.-H., Viel, C., Boyle, B., St-Gelais, D., Labrie, S. (2014). Meta-transcriptome analysis of fungal strains *Penicillium camemberti* and *Geotrichum candidum* reveal cheese matrix breakdown and potential development of sensory properties of ripened Camembert-type cheese. *BMC Genomics*, 15(1), Article 235. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-235>
9. D'amico, D. J. (2014). Microbiological quality and safety issues in cheesemaking. *Microbiology Spectrum*, 2(1), 1–44. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.CM-0011-2012>
10. Martin, N., Savonitto, S., Molimard, P., Berger, C., Brousse, M., Spinnler, H. E. (1999). Flavor Generation in Cheese Curd by Coculturing with Selected Yeast, Mold, and Bacteria. *Journal of Dairy Science*, 82(6), 1072–1080. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75329-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75329-4)
11. ГОСТ 32263–2013 «Сыры мягкие. Технические условия». — Москва: Стандартинформ, 2014. — 15 с.
12. Leclercq-Perlat, M.-N., Buono, F., Lambert, D., Latrielle, E., Spinnler, H.-E., Corrieu, G. (2004). Controlled production of camembert-type cheeses. Part I: Microbiological and physicochemical evolutions. *Journal of Dairy Research*, 71(3), 346–354. <https://doi.org/10.1017/S0022029904000196>
13. Lessard, M.-H., Bélanger, G., St-Gelais, D., Labrie, S. (2012). The composition of camembert cheese-ripening cultures modulates both mycelial growth and appearance. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(6), 1813–1819. <https://doi.org/10.1128/AEM.06645-11>

REFERENCES

1. Ostrouhova, I.L., Mordvinova, V.A., Sviridenko, G.M., Ostrouhov, D.V. (2019). Effects of pasteurization temperature and milk acidity on the quality of cheese with white mould. *Cheesemaking and buttermaking*, 6, 8–10. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2019-6-8-10> (In Russian)
2. Mordvinova, V.A., Ostrouhova, I.L., Ostrouhov, D.V. (2018). Technological aspects of making Camembert cheese. *Milk branch*, 9(227), 38–40. (In Russian)
3. Shiller, G.G. (1989). Cheese production: technology and quality. Moscow: Agropromizdat, 1989. (In Russian)
4. Spinnler, H.-E., Gripon, J.-C. (2004). Surface mould-ripened cheeses. Chapter in a book: *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, Volume 2, Academic Press, 2004.
5. Ostrouhova, I. L., Mordvinova, V.A., Sviridenko, G.M., Ostrouhov, D.V., Myagkonosov, D.S. (2019). To the item of taste formation in the cheese

with white mould. *Cheesemaking and buttermaking*, 2, 17–19. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2019-2-17-19> (In Russian)

6. Batty, D., Waite-Cusic, J. G., Meunier-Goddik, L. (2019). Influence of cheese-making recipes on the composition and characteristics of camembert-type cheese. *Journal of Dairy Science*, 102(1), 164–176. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14964>
7. Los, P. R., Simões, D. R. S., Benvenuti, L., Zielinski, A. A. F., Alberti, A., Nogueira, A. (2021). Combining chemical analysis, sensory profile, CATA, preference mapping and chemometrics to establish the consumer quality standard of camembert-type cheeses. *International Journal of Dairy Technology*, 74(2), 371–382. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12753>
8. Lessard, M.-H., Viel, C., Boyle, B., St-Gelais, D., Labrie, S. (2014). Meta-transcriptome analysis of fungal strains *Penicillium camemberti* and *Geotrichum candidum* reveal cheese matrix breakdown and potential development of sensory properties of ripened Camembert-type cheese. *BMC Genomics*, 15(1), Article 235. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-235>
9. D’Amico, D. J. (2014). Microbiological quality and safety issues in cheesemaking. *Microbiology Spectrum*, 2(1), 1–44. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.CM-0011-2012>
10. Martin, N., Savonitto, S., Molimard, P., Berger, C., Brousse, M., Spinnler, H. E. (1999). Flavor generation in cheese curd by coculturing with selected yeast, mold, and bacteria. *Journal of Dairy Science*, 82(6), 1072–1080. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75329-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75329-4)
11. GOST 32263–2013 “Soft cheeses. Specifications”. Moscow: Standartinform, 2014. — 15 p. (In Russian)
12. Leclercq-Perlat, M.-N., Buono, F., Lambert, D., Latrille, E., Spinnler, H.-E., Corrieu, G. (2004). Controlled production of camembert-type cheeses. Part I: Microbiological and physicochemical evolutions. *Journal of Dairy Research*, 71(3), 346–354. <https://doi.org/10.1017/S0022029904000196>
13. Lessard, M.-H., Bélanger, G., St-Gelais, D., Labrie, S. (2012). The composition of camembert cheese-ripening cultures modulates both mycelial growth and appearance. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(6), 1813–1819. <https://doi.org/10.1128/AEM.06645-11>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p>Свириденко Галина Михайловна — доктор технических наук, главный научный сотрудник, руководитель направления микробиологических исследований молока и молочной продукции, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская обл., Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-48532-5-48-64 E-mail: sg_microbiology@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1231-8388 * автор для контактов</p> <p>Мордвинова Валентина Александровна — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель направления исследований по технологии сыров, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская обл., Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-48532-5-09-38 E-mail: valentina-mordvinova@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8588-7103</p> <p>Остроухова Ирина Леонидовна — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, отдел сыроделия, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская обл., Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-48532-9-81-77 E-mail: frolics@rambler.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8578-4163</p>	<p>Galina M. Sviridenko — doctor of technical sciences, chief researcher, head of the department of microbiological studies of milk and dairy products, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, 152613, Yaroslavl Region, Uglich, Russia Tel.: +7-48532-5-48-64 E-mail: sg_microbiology@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1231-8388 * corresponding author</p> <p>Valentina A. Mordvinova — candidate of technical sciences, leading researcher, head of research department on cheesemaking technology, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, 152613, Yaroslavl Region, Uglich, Russia Tel.: +7-48532-5-09-38 E-mail: valentina-mordvinova@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8588-7103</p> <p>Irina L. Ostroukhova — candidate of technical sciences, leading researcher, research department on cheese making technology and whey processing All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, 152613, Yaroslavl Region, Uglich, Russia Tel.: +7-48532-9-81-77 E-mail: frolics@rambler.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8578-4163</p>
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	The authors declare no conflict of interest

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-134-143>

Поступила 23.04.2021

Поступила после рецензирования 21.06.2021

Принята в печать 25.06.2021

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОФИЛЬТРАЦИОННЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ПАХТЫ И СЫВОРОТКИ ДЛЯ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ С ПОВЫШЕННОЙ МАССОВОЙ ДОЛЕЙ БЕЛКА

Острецова Н. Г.*, Боброва А. В.

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина, Вологда, с. Молочное, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

пахта, подсырная сыворотка,
нанофильтрация, концентрат,
кисломолочный продукт,
ацидофильная палочка,
термофильный стрептококк

АННОТАЦИЯ

Широкие возможности в области получения молочных продуктов с повышенным содержанием белка с точки зрения качества и энергосбережения открывают баромембранные методы, в частности, нанофильтрация. В данной работе описывается целесообразность использования концентратов пахты и подсырной сыворотки, полученных нанофильтрацией, в производстве кисломолочных продуктов. Комплекс физико-химических, реологических и органолептических исследований нанофильтрационных концентратов пахты и подсырной сыворотки позволил выбрать для дальнейших исследований концентраты с массовой долей сухих веществ 20%. Электронно-микроскопические исследования микроstructures пахты, сыворотки и их концентратов с массовой долей сухих веществ 20% показали, что при концентрировании пахты нанофильтрацией средний диаметр дисперсных частиц не увеличился и составил (130 ± 30) нм. При этом размер ячеек пространственной сетки уменьшился в 3,2 раза, а при концентрировании сыворотки размер частиц увеличился в 1,7 раза при уменьшении размера ячеек пространственной сетки в 1,3 раза. Полученные данные позволяют прогнозировать положительное влияние данного способа концентрирования на консистенцию кисломолочных продуктов. Обосновано использование комбинированной молочной основы с соотношением концентрата пахты (20% сухих веществ) к концентрату сыворотки (20% сухих веществ) 50:50 и 75:25, что обеспечивает содержание полноценного белка 4,4–5,6% в кисломолочных продуктах. Установлена высокая скорость кислотообразования и хорошая влагоудерживающая способность кислотных сгустков при сквашивании закваской, содержащей термофильный стрептококк и ацидофильную палочку в соотношении 4:1. Полученные результаты позволяют расширить ассортимент кисломолочных продуктов с повышенной массовой долей белка для полноценного питания населения.

Received 23.04.2021

Accepted in revised 21.06.2021

Accepted for publication 25.06.2021

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

USE OF NANOFILTRATION CONCENTRATES OF BUTTERMILK AND WHEY FOR FERMENTED DAIRY PRODUCTS WITH INCREASED MASS CONTENT OF PROTEIN

Nadezhda G. Ostreczova*, Anna V. Bobrova

Vologda State Dairy Farming Academy named after N. V. Vereshchagin, Molochnoe, Vologda, Russia

KEY WORDS:

buttermilk, cheese whey,
nanofiltration, concentrate,
fermented milk product,
acidophilus bacillus, thermophilic
streptococcus

ABSTRACT

Baromembrane methods, in particular, nanofiltration, open up broad opportunities in the field of obtaining dairy products with a high protein content in terms of quality and energy saving. This paper describes the feasibility of using buttermilk and cheese whey concentrates obtained by nanofiltration in the production of fermented milk products. The physicochemical, rheological and organoleptic studies of nanofiltration concentrates of buttermilk and cheese whey made it possible to select concentrates with a mass fraction of dry substances of 20% for further research. Electron microscopic studies of the microstructure of buttermilk, whey and their concentrates with a mass fraction of dry substances of 20% showed that when buttermilk was concentrated by nanofiltration, the average diameter of dispersed particles did not increase and amounted to (130 ± 30) nm. The grid cells size decreased by 3.2 times; in serum concentration, the particle size increased by 1.7 times with a decrease in the grid cells size by 1.3 times. The obtained data make it possible to predict the positive effect of this concentration method on the consistency of fermented milk products. The use of the combined milk base with a ratio of buttermilk concentrate (20% dry matter) to whey concentrate (20% dry matter) of 50:50 and 75:25 is substantiated, providing a complete protein content of 4.4–5.6% in fermented milk products. A high rate of acid formation and a good water-holding capacity of acid clots were established when fermenting with a starter culture containing thermophilic streptococcus and acidophilic bacillus in a ratio of 4:1. The obtained results make it possible to expand the range of fermented milk products with an increased mass fraction of protein for good nutrition of the population.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Острецова, Н.Г., Боброва, А.В. (2021). Использование нанофильтрационных концентратов пахты и сыворотки для кисломолочных продуктов с повышенной массовой долей белка. *Пищевые системы*, 4(2), 134–143. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-134-143>

FOR CITATION: Ostreczova, N.G., Bobrova, A.V. (2021). Use of nanofiltration concentrates of buttermilk and whey for fermented dairy products with increased mass content of protein. *Food systems*, 4(2), 134–143. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-134-143>

1. Введение

Перспективным направлением создания пищевой продукции, направленным на снижение дефицита макронутриентов и микронутриентов в рационе питания, является разработка технологий продуктов с повышенным содержанием белка [1–3]. Потребность в белке — эволюционно сложившаяся доминанта в питании человека, обусловленная необходимостью обеспечивать оптимальный физиологический уровень поступления незаменимых аминокислот. При положительном азотистом балансе в периоды развития растущего организма, а также при интенсивных репаративных процессах потребность в белке на единицу массы тела выше, чем у взрослого здорового человека [4].

Важность правильного решения вопроса о показателях белкового питания бесспорна, так как достаточность белка в пищевом рационе и высокое его качество позволяют создать оптимальные условия внутренней среды, необходимые для роста, развития, нормальной жизнедеятельности человека и его работоспособности. Вместе с тем организм, обладая незначительными резервами белка, не в состоянии длительно обеспечивать процессы синтеза и ресинтеза за счет имеющихся запасов. В результате при пониженном его поступлении вместе с пищей быстро сокращается обновление клеток и тканей, замедляется и полностью останавливается рост, резко уменьшается образование ферментов и гормонов [5].

Таким образом, изменения, возникающие в организме под влиянием белкового дефицита, весьма многообразны и охватывают, по-видимому, все его органы и системы. Можно также сказать, что белок определяет характер всего питания, и на фоне его оптимального уровня сильнее проявляются биологические свойства всех других пищевых веществ. Доказано, что более полному усвоению белков способствует сбалансированность аминокислотного состава [5].

Известно, что источниками полноценного белка, содержащего полный набор незаменимых аминокислот в количестве, достаточном для биосинтеза белка в организме человека, являются пахта и молочная сыворотка.

Белки пахты представлены казеинат-кальций-фосфатным комплексом, включающим четыре фракции: α_{s1} , α_{s2} , β и κ , среднее содержание которых составляет 40, 10, 38 и 12% соответственно. По данным ряда авторов пахта отличается повышенным содержанием сывороточных белков, составляющим 28,4% от общего содержания белков, что на 8,6% больше, чем в исходном молоке и на 10,5% — по сравнению с обезжиренным молоком. Исследование аминокислотного состава пахты показывает, что доля незаменимых аминокислот в ней выше, чем в цельном молоке. Особую ценность пахта представляет как источник фосфолипидов. Содержание фосфолипидов составляет 0,02–0,06%, из них на долю лецитина приходится 33,8%, кефалина — 36,3%, сфингомиелина — 20,8%, фосфатидилсерина — 39%, фосфатидилинозита и цереброзидов — по 6% [6–9].

Источником полноценных сывороточных белков при производстве кисломолочных напитков могут служить сыворотка или ее концентраты. Белки, содержащиеся в молочной сыворотке, по своему составу относятся к наиболее ценным белкам животного происхождения, являясь источником незаменимых аминокислот. Они имеют наивысшую скорость расщепления в пищеварительном тракте, усвояемость белков молочной сыворотки составляет 98%. Сывороточные белки представляют собой группу различных глобулярных белков, отличающихся друг от друга по структуре и свойствам. Наиболее представлены сывороточными белками являются β -лактоглобулин (50–54%) и α -лактальбумин (20–25%). Остальное количество сывороточных белков приходится на альбумин сыворотки крови, иммуноглобулины, протеозо-пептоны [10–12].

Таким образом, анализ пищевой и биологической ценности пахты и молочной сыворотки указывает на целесообразность их использования в составе кисломолочных продуктов пониженной калорийности и высокой биологической ценности. Пахта и ее концентраты могут использоваться как источник казеина и сывороточных белков в составе продуктов на комбинированной молочной основе, для дополнительного обогащения которой сывороточными белками целесообразно включать концентраты сыворотки.

Поэтому актуальной является разработка технологии жидких кисломолочных продуктов с повышенным содержанием белка для удовлетворения запросов современных потребителей, предпочитающих продукты с низким содержанием жира и повышенным содержанием белка. Основой для производства таких продуктов могут стать концентраты пахты и молочной сыворотки.

Для увеличения массовой доли белка в сырье для производства жидких кисломолочных продуктов целесообразно использовать нанофильтрацию, т. к. данный мембранный процесс протекает без фазовых превращений сырья, что способствует значительному снижению потерь биологически активных веществ [13]. Нанофильтрация характеризуется отсечкой по молекулярной массе от 100 до 1000 дальтон. Учитывая молекулярную массу сывороточных белков: β -лактоглобулина — 18,3 кДа, α -лактоальбумина — 14,2 кДа, иммуноглобулинов — 150–900 кДа, сывороточного альбумина — 66 кДа, лактоферрина — 80 кДа, лактопероксидазы — 80,6 кДа, содержание всех фракций сывороточных белков в концентрате увеличивается пропорционально кратности концентрирования [14,15].

При концентрировании молочной сыворотки методом нанофильтрации получают концентраты сыворотки с чистым, слегка сладким или кисло-сладким вкусом. Традиционно молочная сыворотка имеет невысокие вкусовые характеристики, обусловленные наличием сывороточного привкуса, непривычного для потребителей. Этот вкус в сыворотке вызван присутствием минерального комплекса. Частичная деминерализация молочной сыворотки позволяет улучшить органолептические показатели сыворотки и ее концентратов. Концентраты молочной сыворотки, полученные нанофильтрацией, применяют для разработки технологий новых молочных продуктов [14].

Изучению процесса нанофильтрации молочного сырья с целью получения молочной основы для йогуртов и дальнейшей ферментации ее молочнокислыми микроорганизмами посвящен ряд работ зарубежных исследователей. Установлено, что хороших текстурных и сенсорных качеств кисломолочного продукта можно добиться при использовании нанофильтрационного или ультрафильтрационного концентрирования пахты или обезжиренного молока [7,16]. Авторами [16,17] установлено изменение микроструктуры мицелл казеина после нанофильтрации: они агрегируются с увеличенными размерами частиц, но их агрегация незначительная, со сниженной гидрофобностью поверхности и с содержанием свободных сульфгидрильных групп.

Несмотря на ряд исследований по изучению интенсивности кислотообразования и формирования сгустка в концентратах мембранного разделения с различным содержанием белка, эта стадия технологического процесса требует более глубоких исследований.

Цель данной работы — подбор молочной основы, которая имеет повышенную массовую долю полноценного белка и включает концентраты пахты и сыворотки, полученные нанофильтрацией — а она, в свою очередь, обеспечивает активизацию заквасочной микрофлоры. Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

теоретически обосновать выбор молочной основы для использования в составе кисломолочных продуктов с повышенной массовой долей белка; изучить состав и свойства концентратов пахты и концентратов сыворотки, их микроструктуру, обосновать компонентный состав молочной основы для кисломолочных продуктов с повышенной массовой долей белка; провести исследования по подбору видового состава заквасочной микрофлоры для придания продуктам высоких потребительских характеристик.

2. Объекты и методы

Объектами исследований являлись пахта, полученная при производстве масла методом преобразования высокожирных сливок, обезжиренная подсырная сыворотка; концентраты пахты и сыворотки с массовой долей сухих веществ от 10 до 20%, полученные нанофильтрацией; кисломолочные продукты на молочной основе, состоящей из концентрата пахты и концентрата сыворотки в соотношении 75:25; 50:50; 25:75.

Для исследования физико-химических показателей пахты и их концентратов использовали стандартные общепринятые методы. Определение массовой доли белка в молочном сырье проводили методом инфракрасной спектроскопии на экспресс-анализатор МРА Bruker.

Для изучения структурно-механических характеристик кислотных сгустков использовали ротационный вискозиметр «Реотест 2.1». Синергетическую способность сгустков концентратов определяли по объему выделившейся из сгустка сыворотки при центрифугировании его в течение 10 минут с частотой 3000 оборотов в минуту при 20 °С.

Электронно-микроскопические исследования пахты, сыворотки и их концентратов, полученных нанофильтрацией, были проведены на трансмиссионном электронном микроскопе (ТЭМ) EM-410 («Филипс», Нидерланды). Подготовка препаратов для прямой микроскопии проводилась контрастированием солями тяжелых металлов [18].

3. Результаты и обсуждение

Для концентрирования пахты и сыворотки использовали нанофильтрационную установку фирмы TIA (Франция), укомплектованную мембранами на основе полипиптеразинамида с отсечкой по молекулярной массе 200 Д.

Известно, что с повышением температуры скорость фильтрации увеличивается, а селективность мембран изменяется незначительно. Повышение температуры фильтрации выше 40 °С может привести к переходу растворимых солей кальция и магния в нерастворимые и, как следствие, закупорке пор мембраны и снижению скорости фильтрации [19]. С учетом

рекомендаций производителя мембран процесс концентрирования осуществляли при температуре 20 °С и давлении 2,5 МПа.

Предварительными исследованиями установлено, что скорость фильтрации при указанных условиях существенно снижается при увеличении массовой доли сухих веществ в концентратах выше 22%. Это связано, по-видимому, с высокой концентрационной поляризацией на поверхности мембраны вследствие вязкостных и гидродинамических условий истечения продукта [14]. С учетом вышеизложенного, концентрирование пахты и сыворотки проводили до массовой доли сухих веществ в концентратах — 20%.

Изменение удельного расхода и массовой доли сухих веществ в исходном сырье в процессе нанофильтрации показано на Рисунке 1.

Установлено, что процесс нанофильтрации сыворотки до массовой доли сухих веществ 20% идет более интенсивно, чем пахты при выбранных условиях концентрирования. В целом затраты времени на процесс концентрирования исходного сырья не превышали 40 мин.

Для изучения состава и свойств концентратов пахты и концентратов подсырной сыворотки, полученных нанофильтрацией, дополнительно определяли массовую долю белка, титруемую и активную кислотность. В Таблице 1 приведены значения исследуемых показателей по пятикратной повторности опытов.

Таблица 1

Состав и свойства концентратов пахты и сыворотки, полученных нанофильтрацией

Исследуемый продукт	Массовая доля сухих веществ, %	Массовая доля белка, %	Кислотность, °Т	pH, ед.	
Пахта	8,10±0,40	3,30±0,50	14,7±2,0	7,14±0,06	
Концентраты пахты	Концентрат 1	10,40±0,20	3,60±0,70	16,4±2,8	7,06±0,08
	Концентрат 2	12,00±0,30	4,60±0,30	19,2±1,5	7,03±0,07
	Концентрат 3	13,90±0,30	5,50±0,50	23,0±1,1	6,99±0,06
	Концентрат 4	16,30±0,40	6,20±1,02	26,6±2,0	6,97±0,06
	Концентрат 5	18,40±0,20	6,60±0,70	30,1±2,5	6,94±0,04
	Концентрат 6	20,10±0,50	7,03±0,30	32,0±1,0	6,87±0,21
Сыворотка	6,06±0,20	0,63±0,15	9,7±1,5	6,66±0,05	
Концентраты сыворотки	Концентрат 1	9,80±0,39	0,90±0,10	13,7±0,5	6,49±0,01
	Концентрат 2	12,30±0,33	1,13±0,06	15,7±1,1	6,46±0,01
	Концентрат 3	13,94±0,13	1,30±0,10	18,7±1,1	6,43±0,01
	Концентрат 4	15,99±0,30	1,87±0,16	23,3±0,6	6,39±0,01
	Концентрат 5	17,92±0,18	2,09±0,08	26,3±0,5	6,37±0,01
	Концентрат 6	19,99±0,09	2,28±0,06	29,3±1,2	6,36±0,12

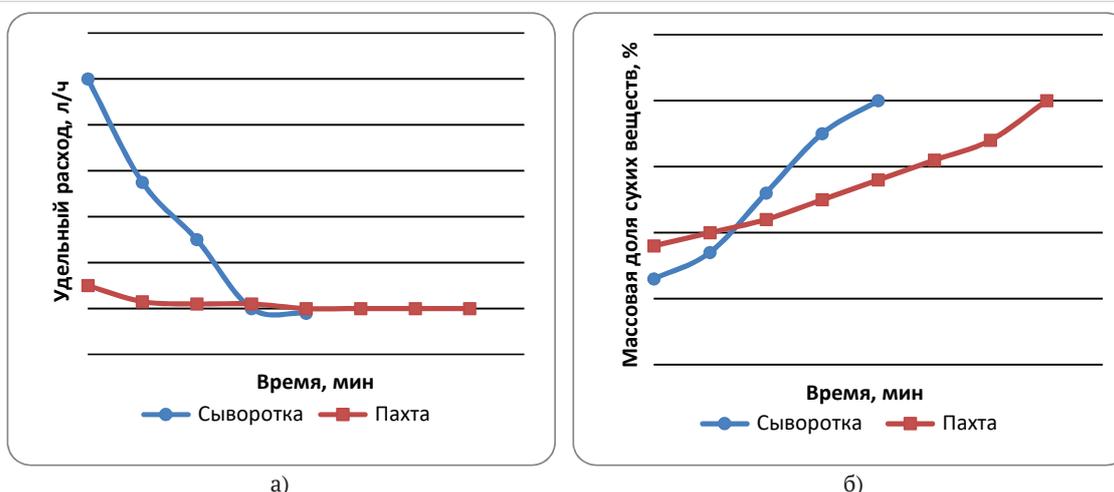


Рисунок 1. Изменение удельного расхода (а) и массовой доли сухих веществ (б) пахты и сыворотки в процессе нанофильтрации

Таким образом, при концентрировании пахты нанофильтрацией в 2,5–2,65 раза были получены концентраты с массовой долей белка до $(7,03 \pm 0,3)\%$. При концентрировании подсырной сыворотки в 3,2–3,3 раза массовая доля сывороточного белка увеличивается с 0,63 до 2,28%. Полученные концентраты целесообразно использовать для производства кисломолочных продуктов с повышенной биологической ценностью.

При выработке кисломолочных продуктов на развитие заквасочной микрофлоры существенное влияние оказывает pH среды. Изменение титруемой кислотности и pH в концентратах пахты и подсырной сыворотки представлены на Рисунке 2.

С повышением массовой доли сухих веществ концентратов линейно увеличивается титруемая кислотность и снижается значение pH.

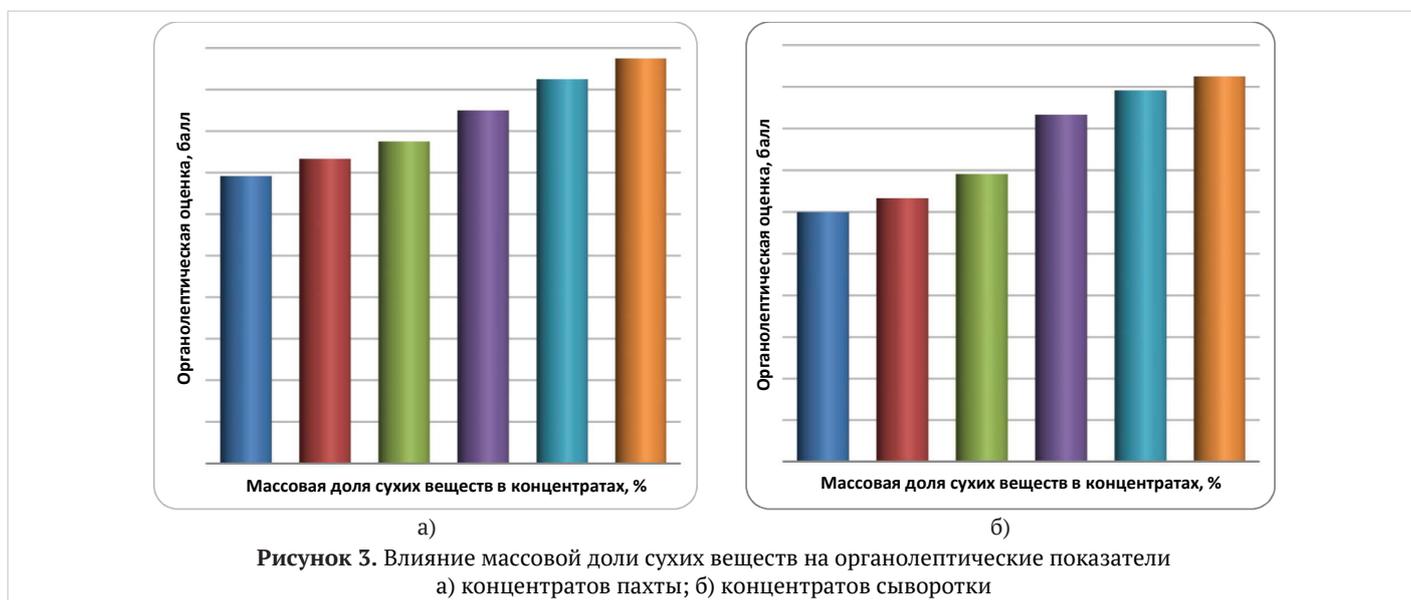
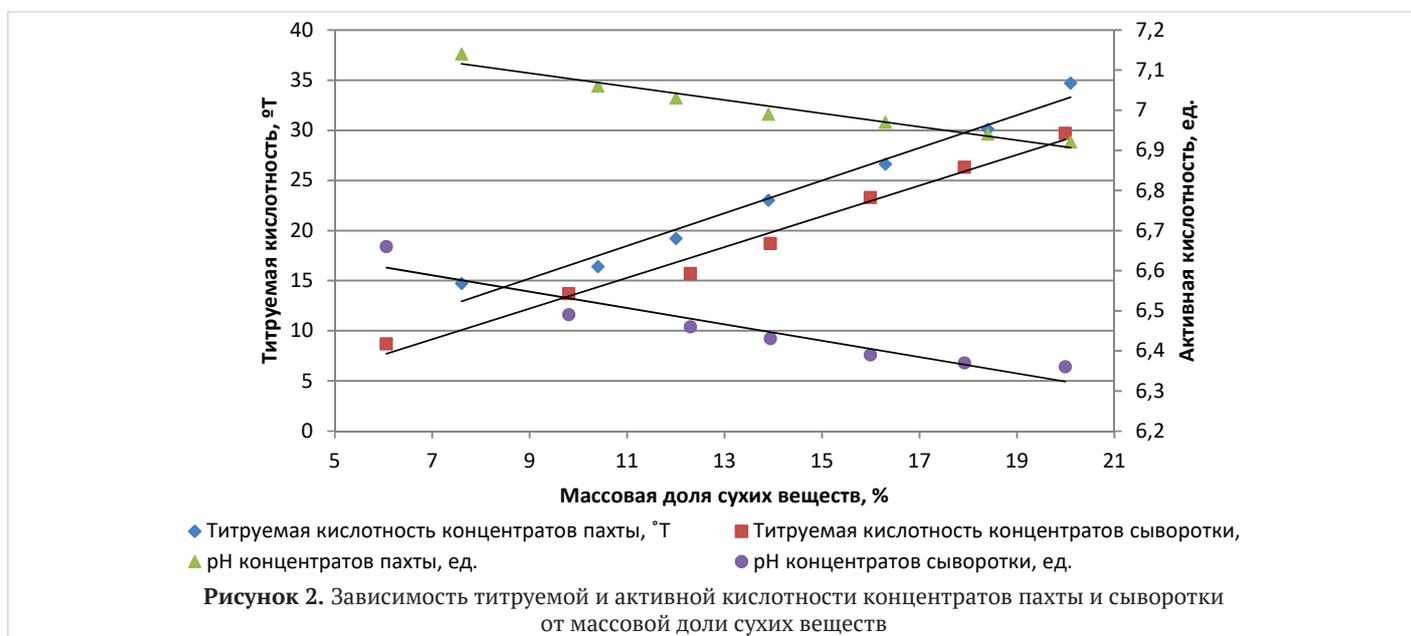
В результате исследований отмечено, что снижение активной кислотности с ростом массовой доли сухих веществ идет менее значительно по сравнению с увеличением титруемой кислотности. При повышении кислотности в 2,2–2,6 раза в процессе концентрирования пахты с 8,1 до 20% pH изменяется незначительно — на 0,27 ед. В концентратах сыворотки при повышении титруемой кислотности в 3–4 раза при

концентрировании с 6,06 до 20% pH изменяется на 0,3 ед. По-видимому, это связано с наличием в концентратах ряда буферных систем — белковой, фосфатной, цитратной, лактатной.

Увеличение буферной емкости в концентратах пахты и сыворотки, полученных нанофильтрацией, позволяет прогнозировать интенсификацию молочнокислого процесса при сквашивании концентратов микроорганизмами закваски.

Известно, что органолептические свойства продуктов гораздо больше, чем химический состав и пищевая ценность, влияют на выбор потребителей и в конечном счете формируют их спрос, что обуславливает необходимость изучения органолептических показателей на всех стадиях производства. Формирование органолептических свойств кисломолочных продуктов со сложным сырьевым составом зависит в первую очередь от качества исходной молочной основы.

Наиболее значимыми показателями, влияющими на потребительские характеристики молочной основы для кисломолочных продуктов, являются вкус, запах и консистенция. Для оценки этих показателей разработана балльная система с максимальной оценкой за вкус и запах — 5 баллов, за консистенцию — 5 баллов.



Средний балл по сумме баллов за вкус, запах и консистенцию концентратов пахты и сыворотки с массовой долей сухих веществ от 10 до 20% представлен на Рисунке 3.

Органолептическая оценка показала (Рисунок 3а), что концентраты пахты, полученные нанофильтрацией, с массовой долей сухих веществ от 10 до 20% имели чистый, приятный, слегка сладковатый вкус, выраженность которого увеличивалась с повышением степени концентрирования. Несмотря на то, что массовая доля жира в концентратах невелика, формируется вкусовое ощущение полножирного продукта. Органолептическая оценка концентратов сыворотки (Рисунок 3б) показала, что по мере увеличения массовой доли сухих веществ до 20% в них ощущается сывороточный привкус при одновременном увеличении сладковатого привкуса за счет увеличения содержания лактозы, что в целом обеспечивает приемлемые органолептические показатели концентрата сыворотки с массовой долей сухих веществ до 20%. На улучшение органолептических показателей концентратов сыворотки влияет, по-видимому, частичная деминерализация в процессе нанофильтрации [14].

На основе комплексных исследований для получения кисломолочных продуктов с повышенной массовой долей полноценного белка были выбраны концентраты пахты и сыворотки, полученные нанофильтрацией, с массовой долей сухих веществ 20%.

Для объективной оценки консистенции полученных концентратов изучено изменение их эффективной вязкости в зависимости от скорости сдвига. Согласно полученным данным, начальная эффективная вязкость нанофильтрационного концентрата пахты в 2,5 раза выше вязкости пахты, а начальная эффективная вязкость концентрата сыворотки в 1,7 раза выше вязкости исходной сыворотки. При этом вязкость концентрата пахты в 2 раза выше вязкости концентрата сыворотки. По-видимому, использование концентратов с повышенной массовой долей белка будет оказывать существенное влияние на формирование консистенции кисломолочных напитков при сквашивании наряду с такими известными факторами, как состав и свойства закваски, температура и продолжительность ферментации [1,18].

На следующем этапе проводились электронно-микроскопические исследования микроstructures пахты, сыворотки и их концентратов с массовой долей сухих веществ 20% с целью прогнозирования показателей качества кисломолочных продуктов на основе концентратов пахты и сыворотки (в первую очередь консистенции). На реологические и синергетические свойства кисломолочных створок оказывает влияние дисперсный состав белковых частиц исходного сырья [20]. Поэтому исследование изменений структурной составляющей вязкости пахты и сыворотки, обусловленной белками, в зависимости от воздействия на нее нанофильтрации и характер возникающих структурных элементов белков имеют важное теоретическое и практическое значение.

В Таблице 2 представлены данные электронно-микроскопических исследований по определению размера дисперсных частиц в пахте, подсырной сыворотке и их концентратах, полученных нанофильтрацией.

Таблица 2
Характеристика микроstructures пахты, сыворотки и их концентратов, полученных нанофильтрацией

Объект исследования	Размер дисперсных частиц, нм	Размер ячеек пространственной сетки, мкм
Пахта	130 ± 30	4.2 ± 0.7
Концентрат пахты (20% сухих веществ)	130 ± 30	1.3 ± 0.4
Сыворотка	34 ± 7	2.3 ± 0.5
Концентрат сыворотки (20% сухих веществ)	58 ± 9	1.8 ± 0.5

Отмечено наличие в пахте дисперсных частиц, как в изолированной форме, так и в виде слабосвязанных агрегатов, в то время как дисперсные частицы в нанофильтрационном концентрате пахты находятся в основном в связанной форме. При концентрировании пахты нанофильтрацией средний диаметр дисперсных частиц не увеличился и составил (130 ± 30) нм, а размер ячеек пространственной сетки уменьшился в 3,2 раза что, вероятно, связано с усилением межмолекулярного взаимодействия элементов структуры в единице объема дисперсионной среды.

При концентрировании сыворотки размер частиц увеличился в 1,7 раза при уменьшении размера ячеек пространственной сетки в 1,3 раза, что связано, вероятно, с укрупнением дисперсных частиц и формированием отдельных свободных агрегатов. Таким образом, в процессе нанофильтрации отмечено структурирование белковой фазы пахты и сыворотки. По-видимому, при формировании кисломолочного створок в процессе сквашивания элементы белковой фазы концентратов будут являться центрами образования новой непрерывной белковой фазы.

Известно, что отношение содержания казеина к сывороточным белкам в коровьем молоке составляет 80:20. Приближение белкового состава молочных продуктов к рациональному составу для человека достигается приведением в соответствие соотношения казеина к сывороточным белкам, равного 40:60. Такое приближение носит условный характер. Более важно сбалансировать состав белков по их биологической ценности. Систематическое отсутствие или дефицит хотя бы одной из незаменимых аминокислот неизбежно нарушит синтез тканевых белков, обменных процессов, приведет к белковому голоданию, истощению и другим нежелательным явлениям [4,5]. Повышение биологической ценности можно получить, меняя соотношения казеина и белков сыворотки — биологическая ценность последних выше биологической ценности казеина, так как белки сыворотки содержат больше незаменимых аминокислот.

Таким образом, исходя из литературных данных, расчета предполагаемой биологической ценности и ранее проведенных опытов, для получения продуктов с высокой биологической ценностью были выбраны три вида молочной основы с соотношением концентрата пахты (массовая доля сухих веществ 20%) к концентрату сыворотки (массовая доля сухих веществ 20%): 75:25; 50:50; 25:75 (варианты 1, 2, 3, соответственно).

Характеристики концентратов и комбинированных молочных смесей приведены в Таблице 3.

Таблица 3

Состав и свойства концентратов и молочной основы

Образец	Массовая доля, %			Кислотность, °Т	рН, ед
	сухих веществ	белка	жира		
Концентрат пахты	20,10 ± 0,50	7,03 ± 0,12	0,78 ± 0,08	32,00 ± 1,00	6,57 ± 0,21
Концентрат сыворотки	19,99 ± 0,09	2,28 ± 0,26	0,10 ± 0,01	29,30 ± 1,15	6,39 ± 0,12
Молочная основа					
Вариант 1	20,07 ± 0,35	5,17 ± 0,46	0,70 ± 0,06	31,30 ± 0,57	6,52 ± 0,19
Вариант 2	20,05 ± 0,29	4,44 ± 0,33	0,55 ± 0,05	31,00 ± 1,00	6,46 ± 0,20
Вариант 3	20,01 ± 0,15	3,29 ± 0,15	0,23 ± 0,06	30,30 ± 0,57	6,41 ± 0,14

Титруемая кислотность всех трех комбинаций из концентратов пахты и сыворотки изменилась незначительно. Отмечено незначительное изменение активной кислотности: с увеличением массовой доли концентрата пахты увеличивается pH смеси, по-видимому, в этом случае более активно работает белковая буферная система. С точки зрения состава и физико-химических свойств образцов для производства кисломолочных продуктов, подходят все три вида молочной основы, представленные в таблице 3. В первую очередь это касается высокой буферной емкости полученных смесей, т. к. молочнокислые бактерии чувствительны к низким значениям pH, особенно на начальном этапе развития. Кроме того, увеличение содержания лактозы в смесях может исключить истощение основного источника питания заквасочных микроорганизмов в процессе сквашивания [21].

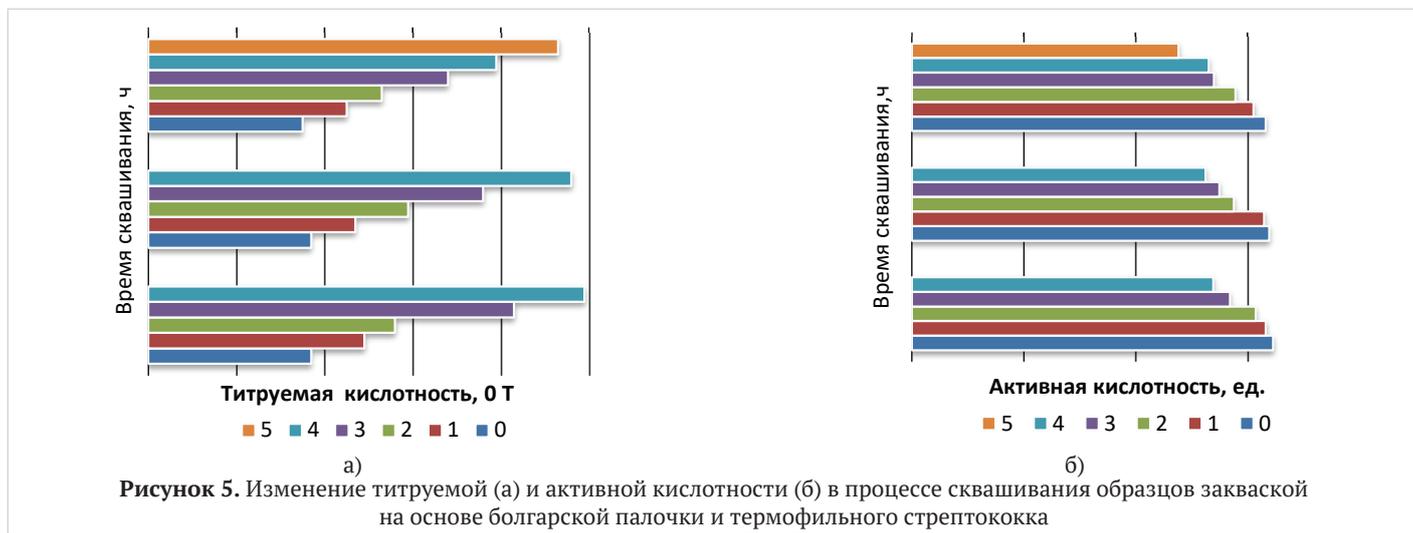
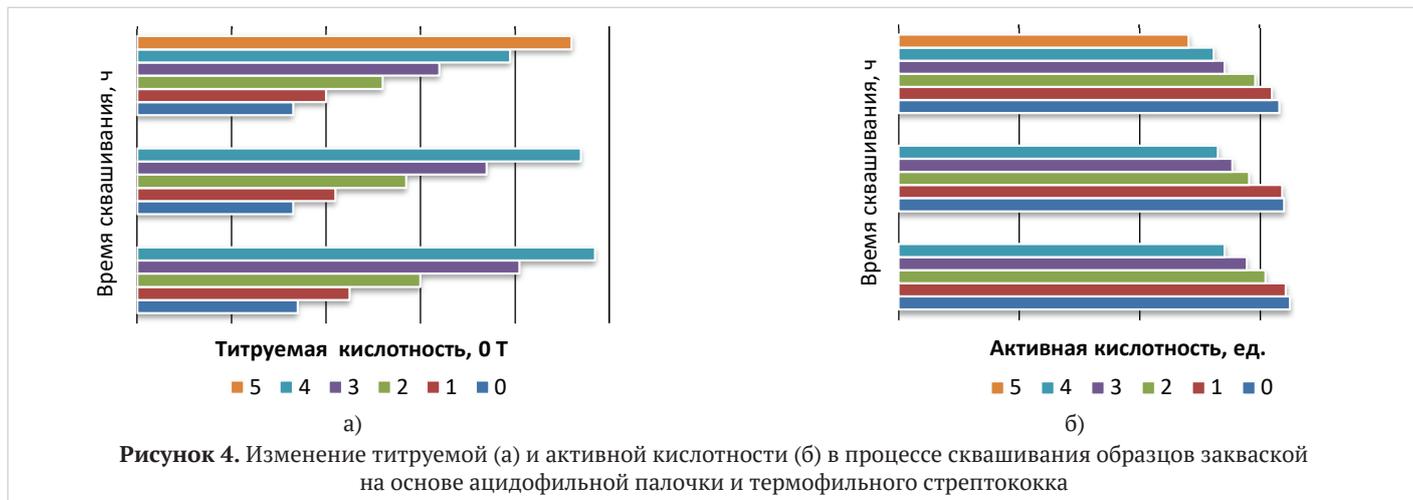
Для окончательного выбора был изучен процесс сквашивания всех трех вариантов молочной основы (Таблица 3) молочнокислыми микроорганизмами. Учитывая органолептические показатели изучаемых вариантов молочной основы, в частности, сладковатый привкус из-за повышенной массовой доли сухих веществ, было решено включить в состав заквасок лактобациллы (ацидофильную или болгарскую палочку) в комбинации с термофильным стрептококком. Ацидофильная и болгарская палочки как гомоферментативные микроорганизмы при своем развитии образуют в основном молочную кислоту и ряд ароматических веществ, что способствует формированию приятного кисломолочного вкуса и запаха. Кроме того, проявляя протеолитическую активность в первые часы культивирования, лактобациллы

способствуют накоплению свободных аминокислот, в которых нуждаются термофильные стрептококки на всем протяжении своего развития. Молочнокислые палочки образуют, как правило, колющийся сгусток, не характерный для кисломолочных продуктов. Включение термофильного стрептококка в комбинированную закваску позволяет получить сгустки, обладающие высокой вязкостью, хорошо удерживающие сыворотку [22–24].

Для заквашивания применяли два вида закваски: закваску, состоящую из *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* и *Lactobacillus bulgaricus* в соотношении 4:1; закваску на основе *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* и *Lactobacillus acidophilus* в соотношении 4:1. Сквашивание до получения в меру плотного сгустка проводили при температуре $(38 \pm 2)^\circ\text{C}$, доза закваски составляла 5%.

Изменение титруемой и активной кислотности в процессе сквашивания при использовании трех видов молочной основы и двух видов заквасок представлено на Рисунках 4 и 5.

В образцах с долей концентрата пахты 75 и 50% (вариант 1 и 2) при использовании закваски на основе термофильного стрептококка и ацидофильной палочки (Рисунок 4) в меру плотный сгусток был получен в течение четырех часов, для образца с долей концентрата пахты 25% (вариант 3) в течение 5 часов был получен слабый, рыхлый сгусток. Аналогичная зависимость наблюдалась при сквашивании всех вариантов молочной основы с использованием закваски на основе болгарской палочки и термофильного стрептококка. Плотность сгустков повышалась по мере увеличения содержания концентрата пахты в молочной основе.



Титруемая кислотность образцов, сквашенных болгарской палочкой и термофильным стрептококком, отличалась незначительно и варьировала в интервале (93–99) °Т, более низкая активная кислотность отмечена в образцах с долей концентрата пахты 25% (вариант 3) (Рисунок 5).

Отмечена тенденция уменьшения средней скорости кислотообразования при использовании закваски на основе болгарской палочки и термофильного стрептококка в сравнении с закваской на основе ацидофильной палочки и термофильного стрептококка (Рисунок 6).

Увеличение доли концентрата пахты в молочной основе в результате повышения буферных свойств и факторов роста оказывает положительное влияние на активизацию роста заквасочных культур и, соответственно, на скорость кислотообразования. Средняя скорость кислотообразования за весь процесс сквашивания при увеличении доли концентрата пахты с 25 до 75% повышалась в 1,2–1,3 раза.

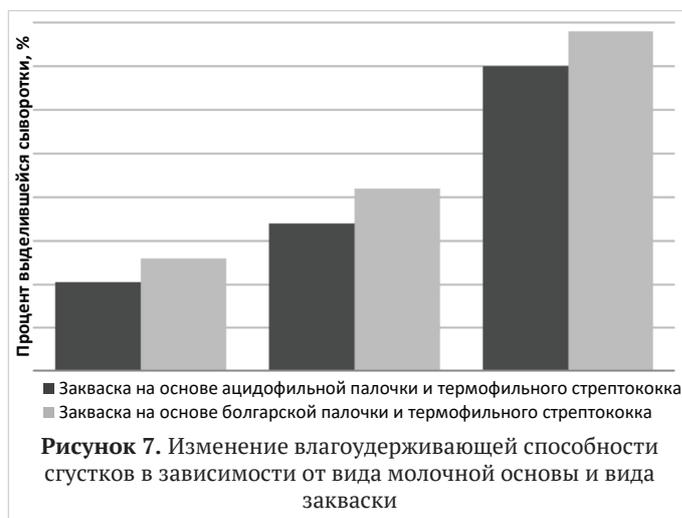
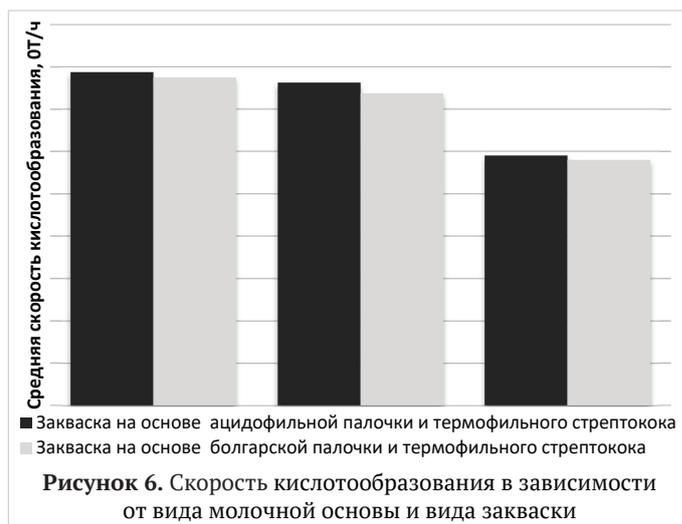
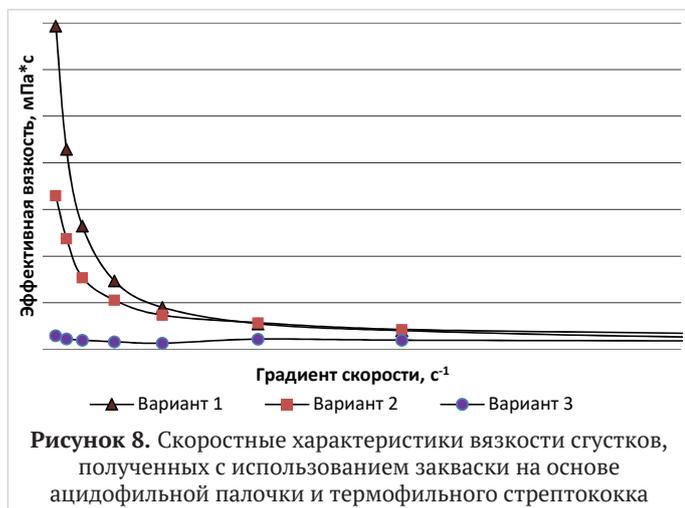
Изменение влагоудерживающей способности сгустков, определенной методом центрифугирования по количеству выделившейся сыворотки из разрушенного сгустка, представлено на Рисунке 7.

Увеличение доли концентрата сыворотки в составе молочной основы (варианты 1 и 2) уменьшает влагоудерживающую способность сгустков при использовании исследуемых видов заквасок. Отмечена тенденция улучшения влагоудерживающей способности у сгустков, полученных с использованием закваски на основе ацидофильной палочки и термофильного стрептококка.

На следующем этапе при разработке кисломолочных продуктов изучали влияние состава молочной основы и вида закваски на формирование структурно-механических и органолептических свойств продукта. Кисломолочные продукты относятся к структурированным дисперсным системам, которые имеют сплошной пространственный каркас, образующийся в результате соприкосновения частиц дисперсной фазы при определенной концентрации.

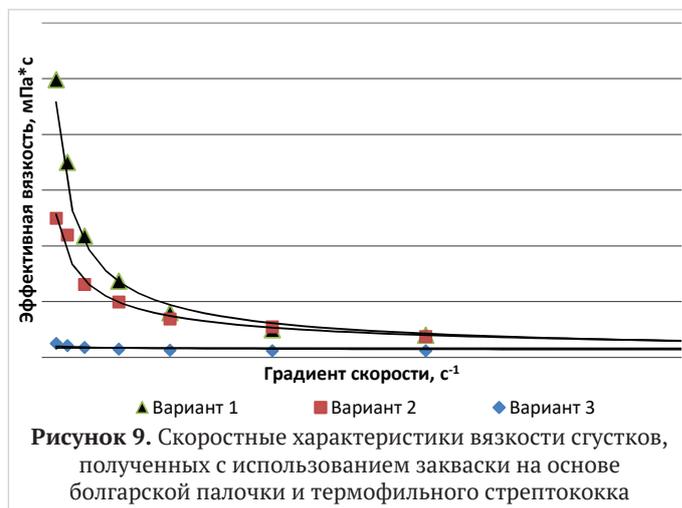
Скоростные характеристики сгустков представлены на Рисунках 8 и 9.

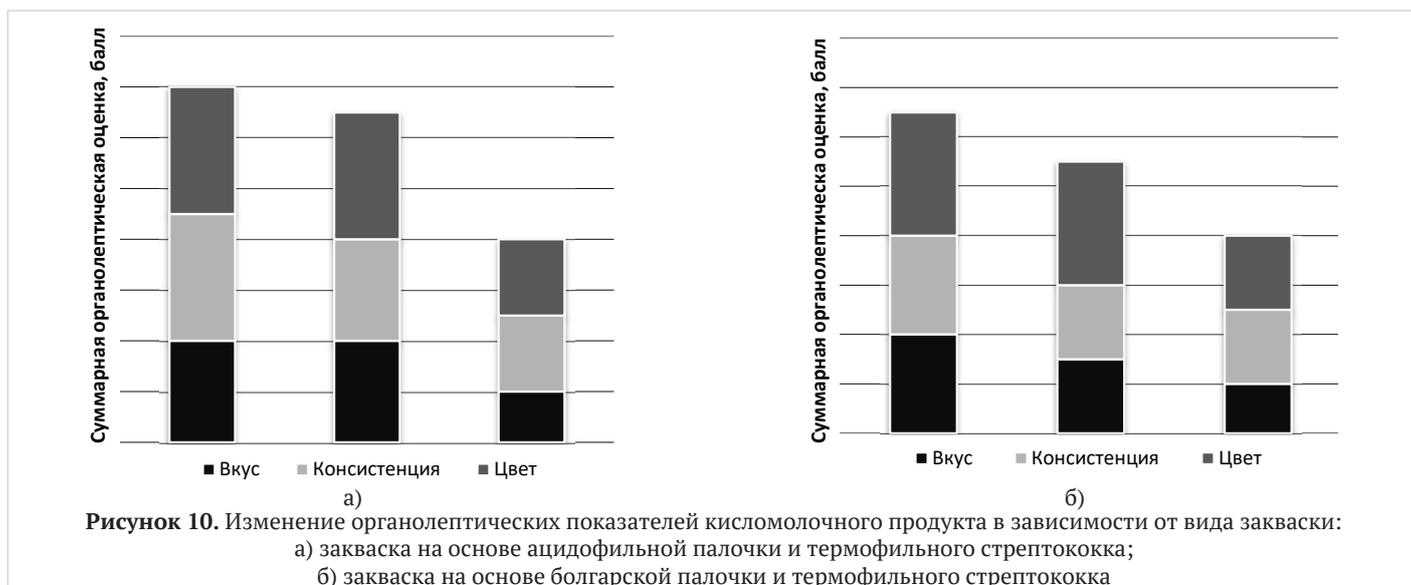
Отмечено, что с увеличением доли концентрата пахты в сгустке его вязкость увеличивается. По-видимому, это связано не только с концентрированием сухих веществ, но и агрегированием в первую очередь белков пахты, а также образованием внутренних структур [20]. В области малых значений скорости сдвига (0–10 с⁻¹) наблюдается резкое снижение вязкости, которая начинает стабилизироваться с ростом градиента сдвига. Во всех сгустках, полученных с использованием закваски на основе болгарской палочки и термофильного стрептококка, начальная эффективная вязкость ниже в 1,2–1,4 раза, чем



в образцах, полученных с использованием закваски на основе ацидофильной палочки и термофильного стрептококка.

Результаты органолептической оценки показали (Рисунок 10 б), что продукт, полученный на молочной основе варианта 1, сквашенный закваской на основе болгарской палочки и термофильного стрептококка, имеет недостаточно выраженные кисломолочный вкус и запах, а также в меру вязкую консистенцию без отделения сыворотки. По мере увеличения содержания концентрата сыворотки в смеси наблюдалось ухудшение консистенции продукта и снижение выраженности кисломолочного вкуса и аромата.





Анализ органолептических показателей продукта на основе ацидофильной палочки и термофильного стрептококка (варианты молочной основы 1 и 2) показал (Рисунок 10 а), что данные образцы отличаются чистым кисломолочным вкусом и однородной в меру вязкой консистенцией.

Отмечено, что для продукта на молочной основе с высоким содержанием сухих веществ наиболее предпочтительна закваска на основе ацидофильной палочки, обеспечивающая более выраженный кисломолочный вкус и аромат. При увеличении доли концентрата пахты в продукте наблюдалось улучшение структурно-механических и органолептических свойств продукта.

На основании комплексных исследований выбраны два вида молочной основы для новых кисломолочных продуктов с повышенной массовой долей белка с соотношением концентрата пахты к концентрату сыворотки 75:25 и 50:50. В состав закваски предусматривается включить ацидофильную палочку и термофильный стрептококк.

4. Выводы

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена целесообразность использования концентрата

тов пахты и подсырной сыворотки, полученных нанофильтрацией, в качестве молочной основы для производства кисломолочных продуктов с повышенной массовой долей белка.

На основании определения размеров дисперсных частиц в пахте, сыворотке и их концентратах установлено, что при концентрировании нанофильтрацией до массовой доли сухих веществ 20% происходит структурирование белковой фазы с уменьшением размера ячеек пространственной сетки в 3,2 раза в концентрате пахты и в 1,3 раза в концентрате сыворотки, а также увеличение размера частиц в концентрате сыворотки в 1,7 раза.

Обосновано использование комбинированной молочной основы с соотношением концентрата пахты (20% сухих веществ) к концентрату сыворотки (20% сухих веществ) 50:50 и 75:25, обеспечивающее содержание полноценного белка 4,4–5,6% в кисломолочных продуктах. Сквашивание указанной молочной основы закваской, содержащей термофильный стрептококк и ацидофильную палочку в соотношении 4:1 позволяет получить кисломолочные продукты с привлекательными потребительскими характеристиками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Банникова, А.В., Евдокимов, И.А. (2012). Инновационный подход к созданию обогащенных молочных продуктов с повышенным содержанием белка. — М.: ДеЛи плюс, 2015. — 136 с.
- Банникова, А.В., Евдокимов, И.А. (2015). Молочные продукты, обогащенные сывороточными белками: технологические аспекты создания. *Молочная промышленность*, 1, 64–66.
- Володин, Д.Н., Золотарев, М.С., Топалов, В.К., Евдокимов, И.А., Храпцов, А.Г., Чаблин, Б.В. и др. (2015). Сывороточные ингредиенты: анализ рынка и перспективы производства. *Молочная промышленность*, 3, 60–62.
- Тутельян, В.А., Никитюк, Д.Б., Батулин, А.К., Васильев, А.В., Гаппаров, М.Г., Жилинская, Н.В. и др. (2020). Нутриом как направление «главного удара»: определение физиологических потребностей в макро — и микронутриентах, минорных биологически активных веществах пищи. *Вопросы питания*, 89(4), 24–34. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10039>.
- Гришин, Д.В., Подобед, О.В., Гладилина, Ю.А., Покровская, М.В., Александрова, С.С., Покровский, В.С. и др. (2017). Биоактивные белки и пептиды: современное состояние и новые тенденции практического применения в пищевой промышленности и кормопроизводстве. *Вопросы питания*, 86(3), 19–31.
- Топникова, Е.В., Иванова, Н.В., Оносовская, Н.Н. (9–18 июня 2017). *Новый стандарт на пахту и продукты ее переработки*. Сборник материалов Международной молочной недели. Углич, Россия.
- Ahmed, J.A.O., Razig, K.A.A. (2017). Effect of levels of buttermilk on quality of set yoghurt. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 7, 634. <https://doi.org/10.4172/21559600.1000634>
- Вышемирский, Ф.А., Ожгихина, Н.Н. (2011). Пахта: минимум калорий — максимум биологической ценности, *Молочная промышленность*, 9, 54–56.
- Новокшанова, А.Л., Топникова, Е.В., Абабкова, А.А. (2019). Анализ аминокислотного состава обезжиренного молока и пахты для производства кисломолочного напитка при внесении гидролизата сывороточных белков. *Вопросы питания*, 88(3), 90–96. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10034>.
- Пономарев, А. Н., Мельникова, Е.И., Богданова, Е.В. (2018). Молочная сыворотка как сырьевой ресурс для производства пищевых ингредиентов. *Молочная промышленность*, 7, 38–39.
- Fennema, O.R., Damodaran, S., Parkin, K.L. (2012). *Fennema's Food chemistry*. London: CRC Press, 2012.
- Bannikova, A. V., Evdokimov, I. A. (2015). The scientific and practical principles of creating products with increased protein content. *Foods and Raw Materials*, 3(2), 3–12.
- Cao, J., Wang, G., Wu, S., Zhang, W., Liu, C., Li, H. et al. (2016). Comparison of nanofiltration and evaporation technologies on the storage stability of milk protein concentrates. *Dairy Science and Technology*, 96(1), 107–121. <https://doi.org/10.1007/s13594-015-0244-3>.

14. Шохалова, В.Н., Кузин, А.А., Дыкало, Н.Я., Шохалов, В.А. (2014). Состав НФ-концентратов творожной сыворотки. *Молочная промышленность*, 12, 56–57.
15. Meyer, P., Hartinger, M., Sigler, S., Kulozik, U. (2017). Concentration of milk and whey by membrane technologies in alternative cascade modes. *Food and Bioprocess Technology*, 10(4), 674–686. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1848-1>
16. Cao, J., Zhang, W., Wu, S., Liu, C., Li, Y., Li, H. et al. (2015). Short communication: Effects of nanofiltration and evaporation on the physicochemical properties of milk protein during processing of milk protein concentrate. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 100–105. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8619>
17. Wang, H., Wang, Y., Cao, J., Yuan, D., Chen, L., Han, J. (2018). Short communication: Effects of nanofiltration and evaporation on the gel properties of milk protein concentrates with different preheat treatments. *Journal of Dairy Science*, 101(6), 4977–4982. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13811>
18. Смыков, И.Т. (2012). Исследование кинетики формирования белковой структуры в процессе гелеобразования. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 6, 30–37.
19. Tamime, A.Y. (2013). *Membrane Processing: Dairy and Beverage Applications*. US: Wiley-Blackwell, 2013.
20. Smykov, I.T. (2019). Study of the enzymatic stage of milk gelation: changes in viscosity and microstructure. *Food systems*, 2(3), 4–8. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-3-4-8>
21. Рязанцева, К.А., Кручинин, А.Г., Агаркова, Е.Ю., Харитонов, В.Д. (2015). Применение баромембранных процессов в технологии йогурта функциональной направленности. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 5, 36–41.
22. Madhubasani, G. B. L., Prasanna, P. H. P., Chandrasekara, A., Gunasekara, D. C. S., Senadeera, P., Chandramali, D. V. P., Vidanarachchi, J. K. (2020). Exopolysaccharide producing starter cultures positively influence on microbiological, physicochemical, and sensory properties of probiotic goats' milk set-yoghurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(3), Article e14361. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14361>
23. Xu, Y., Cui, Y., Yue, F., Liu, L., Shan, Y., Liu, B. et al. (2019). Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria and bifidobacteria: Structures, physicochemical functions and applications in the food industry. *Food Hydrocolloids*, 94, 475–499. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.032>
24. Han, X., Yang, Z., Jing, X., Yu, P., Zhang, Y., Yi, H., Zhang, L. (2016). Improvement of the texture of yogurt by use of exopolysaccharide producing lactic acid bacteria. *BioMed Research International*, 2016, Article 7945675. <https://doi.org/10.1155/2016/7945675>

REFERENCES

1. Bannikova, A.V., Evdokimov, I.A. (2012). An innovative approach to the creation of fortified dairy products with a high protein content. Moscow: DeLi plus, 2015, 136 p. (In Russian)
2. Bannikova, A.V., Evdokimov, I.A. (2015). Milk products enriched with whey proteins. Technological aspects of developing. *Dairy Industry*, 1, 64–66. (In Russian)
3. Volodin, D.N., Zolotarev, M.S., Topalov, V.K., Evdokimov, I.A., Khrantsov, A.G., Chablin, B.V. et al. (2015). Analysis of the market and production of the whey ingredients. *Dairy Industry*, 3, 60–62. (In Russian)
4. Tutelyan, V.A., Nikityuk, D.B., Baturin, A.K., Vasiliev, A.V., Gapparov, M.G., Zhilinskaya, N.V. et al. (2020). Nutriome as the direction of the “main blow”: determination of physiological needs in macroand micronutrients, minor biologically active substances. *Problems of Nutrition*, 89(4), 24–34. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10039> (In Russian)
5. Grishin, D.V., Podobed, O.V., Gladilina, Yu.A., Pokrovskaya, M.V., Aleksandrova S. S., Pokrovsky V. S. et al. (2017). Bioactive proteins and peptides: current state and new trends of practical application in the food industry and feed production. *Problems of Nutrition*, 86(3), 19–31. (In Russian)
6. Topnikova, E.V., Ivanova, N.V., Onosovskaya, N.N. (2017, June 9–18). *New Standard for Buttermilk and Its Processed Products*. International Dairy Week Proceedings. Uglich, Russia. (In Russian)
7. Ahmed, J.A.O., Razig, K.A.A. (2017). Effect of levels of buttermilk on quality of set yoghurt. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 7, 634. <https://doi.org/10.4172/21559600.1000634>
8. Vyshemirskii, F.A., Ozhgihina, N.N. (2011). Buttermilk: minimum of calories-maximum of biological value. *Dairy Industry*, 9, 54–56. (In Russian)
9. Novokshanova, A.L., Topnikova, E.V., Ababkova, A.A. (2019). Analysis of amino acid composition of skim milk and buttermilk for the production of dairy drink when introducing whey protein hydrolysate. *Problems of Nutrition*, 88(3), 90–96. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10034> (In Russian)
10. Ponomarev, A. N., Melnikova, E. I., Bogdanova, E. V. (2018). Milk whey as a raw material for the production of food ingredients. *Dairy Industry*, 7, 38–39. (In Russian)
11. Fennema, O.R., Damodaran, S., Parkin, K.L. (2012). *Fennema's Food chemistry*. London: CRC Press, 2012.
12. Bannikova, A. V., Evdokimov, I. A. (2015). The scientific and practical principles of creating products with increased protein content. *Foods and Raw Materials*, 3(2), 3–12.
13. Cao, J., Wang, G., Wu, S., Zhang, W., Liu, C., Li, H. et al. (2016). Comparison of nanofiltration and evaporation technologies on the storage stability of milk protein concentrates. *Dairy Science and Technology*, 96(1), 107–121. <https://doi.org/10.1007/s13594-015-0244-3>
14. Shohalova, V.N., Kuzin, A.A., Dykalo, N. Ya., Shokhalov, V.A. (2014). Composition of the NF concentrates of curds whey. *Dairy Industry*, 12, 56–57. (In Russian)
15. Meyer, P., Hartinger, M., Sigler, S., Kulozik, U. (2017). Concentration of milk and whey by membrane technologies in alternative cascade modes. *Food and Bioprocess Technology*, 10(4), 674–686. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1848-1>
16. Cao, J., Zhang, W., Wu, S., Liu, C., Li, Y., Li, H. et al. (2015). Short communication: Effects of nanofiltration and evaporation on the physicochemical properties of milk protein during processing of milk protein concentrate. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 100–105. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8619>
17. Wang, H., Wang, Y., Cao, J., Yuan, D., Chen, L., Han, J. (2018). Short communication: Effects of nanofiltration and evaporation on the gel properties of milk protein concentrates with different preheat treatments. *Journal of Dairy Science*, 101(6), 4977–4982. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13811>
18. Smykov, I.T. (2011). Investigation of kinetics of protein structure formation during gelation. *Storage and Processing of Farm Products*, 6, 30–37. (In Russian)
19. Tamime, A.Y. (2013). *Membrane Processing: Dairy and Beverage Applications*. US: Wiley-Blackwell, 2013.
20. Smykov, I.T. (2019). Study of the enzymatic stage of milk gelation: changes in viscosity and microstructure. *Food systems*, 2(3), 4–8. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-3-4-8>
21. Rjazanceva, K.A., Kruchinin, A.G., Agarkova, E. Yu., Kharitonov, V.D. (2015). Usage of baromembrane processes in the production technology of yoghurt of functional orientation for dietary-prophylactic nutrition. *Storage and Processing of Farm Products*, 5, 36–41. (In Russian)
22. Madhubasani, G. B. L., Prasanna, P. H. P., Chandrasekara, A., Gunasekara, D. C. S., Senadeera, P., Chandramali, D. V. P., Vidanarachchi, J. K. (2020). Exopolysaccharide producing starter cultures positively influence on microbiological, physicochemical, and sensory properties of probiotic goats' milk set-yoghurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(3), Article e14361. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14361>
23. Xu, Y., Cui, Y., Yue, F., Liu, L., Shan, Y., Liu, B. et al. (2019). Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria and bifidobacteria: Structures, physicochemical functions and applications in the food industry. *Food Hydrocolloids*, 94, 475–499. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.032>
24. Han, X., Yang, Z., Jing, X., Yu, P., Zhang, Y., Yi, H., Zhang, L. (2016). Improvement of the texture of yogurt by use of exopolysaccharide producing lactic acid bacteria. *BioMed Research International*, 2016, Article 7945675. <https://doi.org/10.1155/2016/7945675>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p>Острецова Надежда Геннадьевна — кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии молока и молочных продуктов, Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н. В. Верещагина 160555, Вологда, Молочное, ул. Шмидта, 2 Тел: +7-921-714-65-56 E-mail: lugovaya22@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5073-756X * автор для контактов</p>	<p>Nadezhda G. Ostreczova — candidate of technical sciences, docent, Department of Milk and Dairy Products Technology, Vologda State Dairy Farming Academy named after N. V. Vereshchagin 2, Shmidta str., 160555, Vologda, Molochnoe, Russia Tel.: +7-921-714-65-56 E-mail: lugovaya22@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5073-756X * corresponding author</p>
<p>Боброва Анна — кандидат технических наук, кафедра технологии молока и молочных продуктов, Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н. В. Верещагина 160555, Вологда, Молочное, ул. Шмидта, 2 Тел.: +7-953-509-90-44 E-mail: anna.chekaleva@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0335-8820</p>	<p>Anna V. Bobrova — candidate of technical sciences, Department of Milk and Dairy Products Technology, Vologda State Dairy Farming Academy named after N. V. Vereshchagin 2, Shmidta str., 160555, Vologda, Molochnoe, Russia Tel.: +7-953-509-90-44 E-mail: anna.chekaleva@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0335-8820</p>
Критерии авторства	Contribution
<p>Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат</p>	<p>Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism</p>
Конфликт интересов	Conflict of interest
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов</p>	<p>The authors declare no conflict of interest</p>

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-144-153>

Поступила 10.04.2021

Поступила после рецензирования 05.06.2021

Принята в печать 25.06.2021

<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА НИЗКО- И БЕЗЛАКТОЗНЫХ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Никитина Ю. В.*, Топникова Е. В., Лепилкина О. В., Кашникова О. Г.

Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия, Углич, Ярославская область, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

лактазная недостаточность, низколактозные молочные продукты, безлактозные молочные продукты, β-галактозидаза, особенности технологий, методы контроля

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены особенности технологий низко- и безлактозных молочных продуктов, предусматривающие проведение специальных операций по гидролизу лактозы или удалению ее с помощью ультра- или нанофильтрации с последующим гидролизом остаточного количества. Представлена молочная продукция, изготавливаемая по этим технологиям в разных странах, и предприятия, лидирующие в этой сфере производства. Проведен анализ методов, применяемых для определения количественного содержания остаточной лактозы в низко- и безлактозных молочных продуктах: ферментативные, ВЭЖХ, НРАЕС-PAD, амперометрические биосенсоры, рамановская спектроскопия. В связи с потребностью молочной промышленности в методах анализа для определения лактозы в молоке и молочных продуктах с низким или безлактозным содержанием, группа заинтересованных сторон АОАС по стратегическим методам анализа пищевых продуктов утвердила Стандартные требования к эффективности биосенсорных методов (SMPR®) 2018.009. Данные требования введены для количественного определения лактозы в молоке, а также в молочных и молокосодержащих продуктах с низким содержанием лактозы или ее полным отсутствием. Биосенсорный метод рекомендован для использования в качестве официального метода АОАС первого действия. Наряду с этим целесообразно использовать в статусе международного стандартного метода анализа для определения лактозы в молоке с низким или безлактозным содержанием высокоэффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ) с масс-спектрометрическим детектированием, а также высокоэффективную анионообменную хроматографию с импульсным амперометрическим детектированием (НРАЕС-PAD).

Received 10.04.2021

Accepted in revised 05.06.2021

Accepted for publication 25.06.2021

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

TECHNOLOGICAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF PRODUCTION OF LOW- AND LACTOSE-FREE DAIRY PRODUCTS

Julia V. Nikitina*, Elena V. Topnikova, Olga V. Lepilkina, Olga G. Kashnikova

All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking, Uglich, Yaroslavl Region, Russia

KEY WORDS:

lactase deficiency, low-lactose dairy products, lactose-free dairy products, β-galactosidase, technology features, control methods

ABSTRACT

The features of technologies for low- and lactose-free dairy products, which provide for special operations to hydrolyze lactose or remove it using ultra- or nanofiltration followed by hydrolysis of the residual amount, are considered. Dairy products manufactured using these technologies in different countries as well as enterprises leading in this field of production are presented. The analysis of the methods used to determine the quantitative content of residual lactose in low- and lactose-free dairy products is carried out: enzymatic, HPLC, HPAEC-PAD, amperometric biosensors, Raman spectroscopy. Due to the dairy industry's need for analytical methods for the determination of lactose in milk and dairy products with low- or lactose-free content, the AOAC Stakeholder Group on Strategic Food Analysis Methods approved Standard Performance Requirements for Biosensor Methods (SMPR®) 2018.009. These requirements were introduced for the quantitative determination of lactose in milk as well as in dairy and milk-containing products with a low or no lactose content. The biosensor method is recommended for use as the official first step of AOAC method. Additionally, it is advisable to use high performance liquid chromatography (HPLC) with mass spectrometric detection, as well as high performance anion exchange chromatography with pulsed amperometric detection (HPAEC-PAD) as an international standard method of analysis for the determination of lactose in milk with low- or lactose-free content.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Никитина, Ю.В., Топникова, Е.В., Лепилкина, О.В., Кашникова, О.Г. (2021). Технологические и методические аспекты производства низко- и безлактозных молочных продуктов. *Пищевые системы*, 4(2), 144-153. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-4-2-144-153>

FOR CITATION: Nikitina, J.V., Topnikova, E.V., Lepilkina, O.V., Kashnikova, O.G. (2021). Technological and methodological aspects of the production of low- and lactose-free dairy products. *Food systems*, 4(2), 144-153. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-144-153>

1. Введение

Коровье молоко представляет собой богатую питательными веществами, химически сложную биожидкость, состоящую из множества различных компонентов [1,2,3]. В настоящее время с помощью современных методов исследования в составе коровьего молока идентифицировано 2355 химических веществ. В химическом составе коровьего молока преобладают углеводы (в основном лактоза, а также глюкоза и галактоза), неорганические ионы (калий и кальций), органические кислоты и аминокислоты, содержащие соединения (креатинин, холин и мочевины). В меньшем количестве содержатся витамины, триглицериды, ди- и моноглицериды, жирные кислоты, аминокислоты и другие биологически активные соединения [3].

Приятный, сладковатый привкус молока обусловлен наличием в его составе лактозы — молочного сахара. В коровьем молоке в среднем содержится 4,7% лактозы с максимальным диапазоном колебаний от 4,5% до 5,2% [2]. Содержание молочного сахара в молоке зависит от сезона года, стадии лактации, количества соматических клеток и не связано с породой коровы, удоем, содержанием молочного жира и белка [4,5].

Лактоза выполняет важную физиологическую функцию для пищеварения: стимулирует развитие молочнокислой микрофлоры в кишечнике, что в итоге улучшает усвоение организмом кальция и фосфора, а также подавляет развитие гнилостной микрофлоры, выделяющей токсичные вещества. Кроме того, она способствует укреплению иммунитета, участвует в синтезе жиров, белков, витаминов, внутриклеточном обмене, в работе всех важнейших органов — сердца, печени, почек, головного мозга и нервной системы. Благодаря медленному усвоению лактозы в организме, это соединение обеспечивает человека энергией на длительное время, не повышая при этом значительно уровень сахара в крови, а также способствует регенерации клеток, благотворно влияет на состояние кожи, волос и ногтей [6].

Нельзя переоценить значимость лактозы в питании детей, поскольку она является единственным источником крайне важного для растущего организма сахара — галактозы, образующейся при ее расщеплении. Галактоза используется для синтеза галактолипидов, в том числе цереброзидов, необходимых для формирования центральной нервной системы и миелинизации нервных волокон [7,8,9]. В присутствии лактозы увеличивается абсорбция кальция из грудного молока и молочных смесей [10].

Однако части населения планеты противопоказано употребление в пищу молока и молочных продуктов из-за непереносимости содержащейся в них лактозы [11,12,13]. Корень проблемы лежит в следующем.

Молоко млекопитающих с точки зрения эволюции является сугубо детским питанием, необходимым для вскармливания потомства в первые один-два года жизни. Поэтому изначально у всех человеческих детенышей после периода вскармливания естественным образом утрачивалась или снижалась способность вырабатывать лактазу. Однако с развитием на планете животноводства началась эволюция генов у людей, разводивших молочных животных и постоянно употреблявших в пищу молоко и изготовленные из него продукты. Постепенно в их организме произошла мутация гена, отвечающего за выработку фермента лактазы. При этом данная мутация гена встречается не у всех людей, что и является причиной возникновения у них непереносимости лактозы [14,15].

В публикации J.-L. Vilotte [16] описано несколько попыток создания трансгенных мышей, дающих молоко с модифицированными углеводными композициями. Производство молока с низким содержанием лактозы *in vivo* было достигнуто у трансгенных мышей с использованием различных страте-

гий. В зависимости от молекулы, которая была нацелена на этот метаболический путь, наблюдались различные физиологические последствия в организме животного. Авторы делают вывод о том, что экспрессия лактазы, достигнутая искусственным изменением генотипа жвачных животных при помощи генной инженерии, является привлекательным подходом для производства молока, адаптированного для людей, страдающих гиполактазией. И в перспективе можно было бы ожидать, что скоро для этой цели будут выведены трансгенные жвачные животные.

В данной статье не рассматривается такой подход в качестве перспективного, т. к. это дорогая и неэффективная стратегия, вызывающая много споров, в том числе этической направленности [17,18,19].

Наиболее целесообразным путем решения проблемы улучшения жизни людей, страдающих лактазной недостаточностью, является производство низко- и безлактозных молочных продуктов, ассортимент которых в последние годы расширяется.

Настоящий обзор содержит сведения об особенностях технологий производства низко- и безлактозных молочных продуктов с учетом потребительских предпочтений в различных странах.

2. Основная часть

2.1. Технологические аспекты получения

низко- и безлактозных молочных продуктов

Для нормального усвоения лактозы организмом человека требуется ее расщепление на моносахариды (глюкозу и галактозу). В организме человека это обеспечивает фермент лактаза (β -галактозидаза), вырабатываемый пищеварительной системой. При дефиците в организме человека фермента лактазы развивается лактазная недостаточность — гиполактазия, а при ее полном отсутствии — алактазия. При гиполактазии и тем более алактазии лактоза, попадая в кишечник в нерасщепленном виде, вызывает осмотическую диарею, что существенно снижает качество жизни человека [20]. Признаками непереносимости лактозы являются вздутие, диарея, тяжесть или боль в кишечнике после приема в пищу молока или иных молочных продуктов (исключение составляют твердые и полутвердые сыры) [21,22].

Различают первичную (врожденную) и вторичную лактазную недостаточность. Врожденная лактазная недостаточность представляет серьезную угрозу для жизни новорожденных, поскольку молоко для них является единственным продуктом питания [23]. Она, как правило, характеризуется полным отсутствием лактазы и встречается крайне редко [24]. В европейских странах, в том числе в России, гиполактазия новорожденных наблюдается в 0,002% случаев. В странах Азии и Африки гиполактазия у детей включая новорожденных, встречается значительно чаще [25].

Вторичный дефицит лактазы может возникнуть в результате повреждения тонкой кишки, например, при остром гастроэнтерите, разрастании тонкой кишки, химиотерапии или по какой-либо другой причине повреждения слизистой оболочки тонкого кишечника и может проявиться в любом возрасте [26,27].

При первичной лактазной недостаточности в основе лечения пациента лежит снижение количества лактозы в пище вплоть до полного ее исключения. При вторичной (приобретенной) — назначается лечение с целью устранения основной причины заболевания с ограничением лактозы в рационе питания [28].

Уменьшить симптомы лактазной недостаточности возможно, совмещая прием в пищу молока или иных молочных продуктов, с другой пищей, т. к. время прохождения лактозы, через кишечник увеличится [22,29].

В Таблице 1 показано содержание лактозы в основных молочных продуктах, без которых трудно представить рацион питания любого человека.

Изготовленные из молока молочные продукты в той или иной степени сохраняют молочный сахар в своем составе. При технологической переработке молока лактоза переходит в готовый продукт, иногда при этом трансформируясь в другие соединения. Полностью отсутствует она лишь в зрелых полутвердых и твердых сырах, во время созревания которого под воздействием фермента лактазы, продуцируемого заквасочными культурами микроорганизмов, полностью переходит в молочную кислоту, ароматические вещества и газы, формирующие органолептические свойства сыра. Однако в полной мере относить полутвердые и твердые сыры к категории безлактозных продуктов не совсем корректно. Это связано с тем, что в технологии производства сыра отсутствует дополнительная специальная операция по устранению или гидролизу лактозы. При изготовлении традиционных видов сыров гидролиз лактозы является частью комплексных биохимических преобразований, происходящих в процессе их производства [32].

Таблица 1

Содержание лактозы в некоторых молочных продуктах [30,31]

Продукт	Массовая доля лактозы, %	
	по [30]	по [31]
Сыры сычужные твердые и полутвердые и зрелые	0	–
Сыры сычужные мягкие: камамбер 45,0% моцарелла	–	0,1–1,8 0,1–3,1
Масло сладкосливочное: Традиционное м. д. ж. 82,5% Крестьянское м. д. ж. 72,5%	0,8 1,3	0,6 –
Творог: жирный м. д. ж. 18,0% полужирный м. д. ж. 9,0% нежирный м. д. ж. 0,6%	2,8 3,0 3,3	2,7 – 3,2
Сметана: м. д. ж. 20% м. д. ж. 10%	3,4 3,9	– 3,3
Сливки: м. д. ж. 20,0% м. д. ж. 10,0%	4,0 4,5	– –
Молоко: м. д. ж. 3,2% м. д. ж. 1,5%	4,7 4,8	4,8 4,9
Йогурт: м. д. ж. 3,2% м. д. ж. 1,5%	3,5 5,9	– 4,1
Молоко сгущенное стерилизованное: м. д. ж. 7,8% м. д. ж. 10,0%	10,3 –	– 12,5
Сухие молочные консервы: сливки сухие м. д. ж. 42,0% молоко сухое цельное м. д. ж. 25,0% молоко сухое нежирное м. д. ж. 1,0% сыворожка сухая	30,2 39,3 52,6 –	– – – 70,0

Прочерк — данные отсутствуют, м. д. ж. — массовая доля жира

Количество лактозы в различного вида сырах определяется спецификой технологии их изготовления. Зависит как от количественного и качественного состава используемой бактериальной закваски, так и от срока созревания сыров. К примеру, в сыре Голландском, имеющем полный срок созревания 60 суток и производимом по технологии сыров с низкой температурой второго нагревания, лактоза полностью сбраживается уже к 10–15 суткам созревания. В сыре Российском, относящемся к группе сыров с повышенным уровнем молочнокислого брожения, лактоза полностью сбраживается или присутствует в следовых количествах по истечении 10 суток созревания. В сыре Чеддер, также относящемся к группе сыров с повышенным уровнем молочнокислого брожения, половина всего количества лактозы сбраживается уже в течение 6 часов прессования, а в Эмментальском лактоза присутствует всего лишь в следовых количествах через 4 часа после прессования и полностью сбраживается уже к 5 суткам созревания [33].

Те же изменения претерпевает лактоза в процессе производства кисломолочного масла, когда существенная ее часть сбраживается под действием заквасочной микрофлоры и трансформируется в летучие и нелетучие вкусо-ароматические вещества, формирующие характерный для этого вида масла вкус и аромат. Напротив, технология производства традиционных видов сладкосливочного масла обеспечивает содержание лактозы в готовом продукте на уровне 0,8–1,3% в зависимости от массовой доли жира продукта.

Масло сладкосливочное Традиционное с массовой долей жира 82,5%, где содержание лактозы составляет лишь 0,6–0,8%, вполне можно отнести к категории низколактозных продуктов, поскольку, в соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции» ТР ТС 033/2013, низколактозным продуктом считается продукт, содержание лактозы в котором составляет не более 1%.

При производстве сливочного масла из-за высокого содержания в нем жира и, соответственно, невысокого содержания сухих обезжиренных веществ основная часть лактозы переходит сначала в обезжиренное молоко, а затем в пахту при сепарировании.

Безлактозное сливочное масло, содержание лактозы в котором должно составлять не более 0,01%, можно получить только из безлактозного молока (сливок), для чего в технологический процесс производства должна быть включена дополнительная операция по снижению содержания молочного сахара в используемом исходном сырье. Это возможно путем ферментативного расщепления данного соединения либо путем сочетания чистого молочного жира и безлактозной молочной плазмы, которая может быть получена из обезжиренного молока методом ультрафильтрации в сочетании с ферментацией специфическими ферментами.

Диетотерапия является основным методом лечения лактазной недостаточности. Человек, страдающий этим недугом, без ущерба для здоровья может употреблять в пищу лишь те молочные продукты, содержание лактозы в которых снижено или, в лучшем случае, полностью отсутствует. Для крайней непереносимости лактозы требуется исключительно молоко без лактозы. Но большинство людей с гиполактазией, если им дать соответствующие рекомендации, могут переносить некоторые продукты, содержащие лактозу, без симптомов. Общеизвестно, что молоко с пониженным содержанием лактозы на 50–80% удовлетворяет физиологические потребности большинства групп с непереносимостью лактозы [34].

Иногда употребление свободных от лактозы продуктов необходимо во время приема антибиотиков, поскольку способность кишечника расщеплять молочный сахар в этот период может быть снижена.

Решение вопроса об употреблении людьми с лактазной недостаточностью молочных продуктов без негативных последствий для своего здоровья заключается в развитии ассортимента и производстве низко- и безлактозной молочной продукции. В США и многих европейских странах в последние годы в значительной степени выросли продажи таких продуктов по причине растущего осознания существования непереносимости лактозы у части потребителей. В России в настоящее время также отмечается положительная тенденция по увеличению производства и расширению ассортимента низко- и безлактозных молочных продуктов. Это в совокупности с доступностью побуждает потребителей делать выбор в пользу таких продуктов [35].

Одним из первых производителей, уделивших внимание проблеме лактазной недостаточности у людей и их питанию, стала финская молочная компания Valio, несмотря на то, что в Финляндии непереносимостью лактозы страдает всего лишь около 17% населения. Проводившиеся с начала 1970-х годов

исследования в этом направлении позволили компании создать большое разнообразие молочных продуктов с гидролизованной лактозой. В 1978 г. компания Valio выпустила в продажу безлактозное сухое молоко. После чего ассортимент продуктов с низким содержанием молочного сахара стал постепенно развиваться, и к 1985 г. он значительно расширился [36].

Согласно информации, освещенной в докладе DSM Global Insight 2016 года [unpublished data], большинство потребителей безлактозных молочных продуктов Колумбии и Китая позиционируют данную продукцию как продукцию категории здорового питания, не всегда принимая во внимание основное ее назначение (несмотря на то, что эти страны отличаются гораздо более высоким уровнем непереносимости лактозы, чем, например, Финляндия). 82% китайцев и 73% жителей Колумбии считают, что безлактозные молочные продукты более привлекательны для здоровья, нежели аналогичные традиционные молочные продукты. Также респонденты этих стран указали, что увеличили бы объемы потребления безлактозных молочных продуктов при условии снижения в них массовой доли жира и количества сахара.

На сегодняшний день в странах Западной Европы и Латинской Америки рынок безлактозных молочных продуктов — это самый динамично развивающийся сегмент молочной промышленности. Ожидается, что оборот безлактозной молочной продукции к 2022 году достигнет 9 миллиардов евро и будет превышать общий объем молочной продукции (7,3% против 2,3%). Самой значимой категорией в сегменте безлактозных молочных продуктов, занимающей две трети рынка, является питьевое молоко. Следующая по востребованности категория — безлактозный йогурт. Также высокий рост производства отмечен и в категории безлактозных сыров [29,37].

Крупнейшими производителями безлактозных молочных продуктов на мировом рынке являются компании: Green Valley Creamery (США), McNeil Nutritionals, LLC (США), Valio International (Финляндия), Alpro (Бельгия), Arla Foods a.m.b.a (Дания), Cabot Creamery Cooperative (США), Saputo Dairy Products (Канада), The Danone Company Inc. (Франция), Dean Foods (США), Smith Dairy Products Co. (США), Granarolo Group (Италия), Mondelez International (США).

Наряду с крупными промышленными предприятиями отдельные фермерские хозяйства часто полностью переходят на производство безлактозных молочных продуктов [38].

Для этого они используют нейтральную β -галактозидазу, полученную из молочных дрожжей *Kluveromyces lactis* (или *Saccharomyces lactis*, *K. marxianus* или *K. fragilis*). Данный фермент производится европейской компанией DSM Food Specialties (Нидерланды) под торговой маркой Maxilact®, а также тремя компаниями Японии: Godo, Amano и Nagase, продающими свою продукцию через посредников под разными торговыми марками [39].

В Российской Федерации низко- и безлактозные молочные продукты производятся с 1970-х годов при помощи ферментативного гидролиза, позволяющего устранить до 98% лактозы [40,41].

Обычно лактозу расщепляют посредством внесения в исходное сырье безопасного и пригодного для применения в пищевой промышленности фермента лактазы, искусственно получаемого из грибов *Aspergillus niger* и *Aspergillus oryzae* или дрожжей *Kluveromyces fragilis* и *Kluveromyces lactis* [42]. Существуют два вида лактаз: кислотостойкие и нейтральные, которые работают при разных уровнях pH: менее 5,7 и более 5,7 соответственно.

Преимуществом ферментативного расщепления молочного сахара можно считать сохранение состава исходного сырья, так как прибегать к внесению посторонних добавок не требуется. К недостаткам данного метода можно отнести

изменение органолептических свойств продукта, а именно: появление избыточной сладости (избыток почти вдвое), обусловленной вкусовыми свойствами моносахаридов, на которые расщепляется лактоза. Этот недостаток в большей мере относится к питьевому молоку. Однако стоит отметить, что усиление сладости молока в результате гидролиза лактозы в странах Латинской Америки и Азии не рассматривается как недостаток, но не приветствуется в Северной Европе и Северной Америке [29].

Альтернативным способом получения безлактозных молочных продуктов с естественным (без избытка сладости) вкусом являются ультра- и нанофильтрация [37,43]. Данные технологии позволяют удалять значительную часть лактозы, после чего остатки молочного сахара подвергаются ферментативному гидролизу при помощи лактазы. Ввиду практически полного исключения молочного сахара из продуктов, произведенных с применением ультрафильтрации, их могут употреблять люди с алактазией, а также страдающие диабетом. Недостатком технологии производства безлактозных продуктов методом ультрафильтрации является ее низкая производительность, достаточно сложная воспроизводимость, а также потеря части минеральных веществ и других растворимых низкомолекулярных элементов молока с отделяемой сывороткой (пермеат). Восстановление минерального состава молока после ультрафильтрации возможно путем внесения минеральных и витаминных добавок [44].

Наиболее совершенным, но в то же время дорогостоящим методом получения безлактозного молока является комбинированный метод производства, который позволяет в значительной степени сохранить исходный солевой баланс продукта. Этот метод предусматривает ферментативный гидролиз лактозы, ультрафильтрацию ферментированного молока с получением УФ-концентрата и нанофильтрацию полученного пермеата. В результате нанофильтрации пермеат разделяется на углеводный концентрат, содержащий продукты гидролиза (лактоза, глюкоза галактоза), и пермеат, очищенный от углеводов. Последний смешивают с УФ-концентратом и направляют на дальнейшую технологическую обработку [45,46].

Китайскими учеными [47] запатентован способ производства низколактозного питьевого или сухого молока. Способ заключается в том, что в молоко при перемешивании добавляются молочный коагулянт и кальциевая соль для получения молочного сгустка. Молочный сгусток нагревается, разрезается с перемешиванием до отделения сыворотки. Частицы сгустка растворяются молочным растворителем для получения повторно растворенного молока. Низколактозную жидкую или сухую сыворотку получают методом мембранного разделения. Повторно растворенное молоко смешивают с низколактозной сывороткой с добавлением или без добавления молочного жира, эмульгируют с помощью эмульгатора для получения безлактозного молока. Затем полученное низколактозное молоко гомогенизируют и пастеризуют. В дальнейшем его могут подвергать сушке для получения сухого низколактозного молока. По данным авторов, указанный способ позволяет снизить содержание лактозы в продукте на 50% (до 2,3–2,5%).

Авторы изобретения полагают, что данный метод является эффективным для получения молока, предназначенного для употребления в пищу людьми с лактазной недостаточностью. Считается, что при снижении содержания лактозы в молочных продуктах на 20–50% симптомы ее непереносимости у людей маловероятны, что не противоречит Национальному стандарту Китайской Народной Республики GB13432–2004, согласно которому расфасованный специализированный продукт, содержащий $\leq 0,5\%$ сахара (включая моно- и дисахариды), считается безлактозным продуктом; содержащий $\leq 2,5\%$ — низколактозным [47].

В Российской Федерации безлактозная молочная продукция достаточно широко представлена в сегменте продуктов для кормления грудных детей [13, 48]. Для питания взрослого населения и детей школьного возраста, страдающих лактазной недостаточностью, производится низко- и безлактозное питьевое молоко. Его изготавливают такие крупные предприятия, как молочный комбинат «Останкинский», молочный комбинат «Ставропольский», семейный агропромышленный холдинг «Братья Чебурашкины», фирмы «Лактовит» и Parmalat, а также группа компаний «Лосево».

На российском рынке можно встретить безлактозное молоко с массовой долей жира 2,5% — продукцию республики Беларусь под торговой маркой «Савушкин продукт» [49], а также низколактозное молоко питьевое ультрапастеризованное с массовой долей жира 1,8% торговой марки «Село зеленое» (ОАО «Милком», Удмуртская республика). На молочном комбинате «Ставропольский» производят низколактозное молоко Finnlac с массовой долей жира 2,5% и 3,5%, молоко стерилизованное низколактозное (0,5% и 2,5%), а также безлактозное мороженое. Молочный комбинат «Останкинский» изготавливает низколактозное молоко под торговой маркой Latter с массовой долей жира 1,5%, безлактозное сливочное масло с массовой долей жира 82,5% (технология основана на включении в состав масла в процессе производства фермента лактазы), а Белгородский молочный комбинат — низколактозное молоко Parmalat Low Lactose с массовой долей жира 1,8%.

Безлактозное молоко можно производить двумя способами: периодическим и асептическим [50]. Оба метода основаны на гидролизе лактозы ферментом лактаза.

При периодическом способе лактазу вносят в резервуар с сырым или пастеризованным молоком в начале технологического процесса и выдерживают при температуре 6 ± 2 °C в течение 24 ч при постоянном медленном перемешивании для предотвращения отстаивания жира. После чего молоко пастеризуют, гомогенизируют и фасуют в потребительскую тару.

При асептическом способе молоко сначала подвергают ультра-высокотемпературной обработке, затем непосредственно перед упаковкой в потребительскую тару вносят необходимую дозу фермента лактазы [51]. Этот способ производства приобрел популярность в последние годы, но применим только к безлактозному УВТ-молоку, т. к. технология его производства предусматривает выдержку готовой продукции перед реализацией трое суток. За это время лактоза в молоке полностью гидролизует. А при создании пастеризованного молока продукт отправляется в торговую сеть сразу после упаковки. При таком способе производства лактоза, содержащаяся в продукте, не успевает гидролизироваться до употребления его в пищу. Поэтому безлактозное пастеризованное молоко таким способом не производят.

В странах Северной Европы и Северной Америки безлактозное УВТ-молоко чаще получают асептическим методом производства с предварительным удалением основного количества лактозы ультрафильтрацией, поскольку для населения этих стран, традиционно употребляющих в пищу молоко, усиление сладости продукта является нежелательным фактором [29]. Напротив, при производстве сладких йогуртов эффект увеличения сладости при ферментативном гидролизе лактозы рассматривается как преимущество. Это позволяет снизить количество добавляемой сахарозы в среднем на 1,5–2 г/100 г [52].

Ассортимент низко- и безлактозных продуктов продолжает развиваться и совершенствоваться. Кроме низко- и безлактозного молока и продуктов для детского питания [53], а также безлактозного сливочного масла, на рынке появились низколактозные кисломолочные продукты [35, 54], в том числе питьевой йогурт Latter безлактозный с массовой долей жира 2,5%,

бифидоийогурт питьевой «Активиа» безлактозный с массовой долей жира 1,5%, а также ферментированный низколактозный молочный продукт [55] и низколактозный высокобелковый замороженный десерт на козьем молоке [56].

При производстве безлактозного йогурта возможно использование как кислотостойких, так и нейтральных лактаз. Но следует учитывать, что нейтральная лактаза полностью инактивируется при достижении pH менее 5,5 уже через 2,5–3 часа выдержки. Этого времени обычно не хватает для полного устранения из продукта лактозы, поэтому доза вносимого фермента должна быть выше, чем при производстве безлактозного молока. Надежным способом полного устранения лактозы при производстве безлактозного йогурта является выдержка молока с внесенной в него лактазой перед пастеризацией. Возможно также одновременное внесение фермента лактазы и йогуртовой культуры уже после пастеризации молока [57].

Таким образом, как следует из приведенных материалов, на рынке молочных продуктов появляется все больше различных продуктов с низким содержанием лактозы, спрос на которые растет. Это связано с повышением информированности и заинтересованности в таких продуктах части населения, страдающего лактазной недостаточностью.

2.2. Методические аспекты контроля остаточного содержания лактозы в низко- и безлактозных молочных продуктах

Учитывая серьезность проблемы непереносимости лактозы отдельными категориями людей, анализ на присутствие лактозы в продуктах питания должен быть в статусе рутинного. С этой целью целесообразно применение простых методов, таких как поляриметрический, метод Бертрана, феррицианидный, йодометрический. Однако эти методы не позволяют обнаружить содержание остаточной лактозы в продуктах с низким содержанием углеводов. Для этого необходимы высокочувствительные аналитические методы, позволяющие определять остаточное количество лактозы в продукте при ее концентрации менее 0,01%. Методы должны быть специфичны, т. к. во время производства молочных продуктов лактоза и иные сахараиды в молоке преобразуются термически либо ферментативно во множество различных производных, которые могут затруднять определение количественного содержания лактозы [58, 59, 60, 61].

Как один из наиболее простых методов, удовлетворяющих условиям обнаружения лактозы в низких концентрациях, заслуживает внимания ферментативный метод определения лактозы и галактозы в молоке и молочных продуктах в присутствии других сахаров. По данному методу обнаружение углеводов составляет до 0,1 г/100 г для лактозы и до 0,05 г/100 г для галактозы. Метод предусматривает проведение гидролиза лактозы с помощью фермента β -галактозидазы до глюкозы и галактозы, окисление имеющейся в пробе галактозы (свободная галактоза плюс образовавшаяся при гидролизе лактозы) в присутствии фермента β -галактозодегидрогеназа и фотометрическое измерение массовой доли образовавшегося соединения, эквивалентной массовой доле галактозы. По разности оптических плотностей данного раствора и раствора, используемого при определении свободной галактозы, проводят расчет массовой доли лактозы и галактозы [58].

Как правило, ферментативные методы чаще всего измеряют высвобожденную глюкозу после гидролиза лактозы β -галактозидазой. Такой метод зачастую проблемно использовать для низко- и безлактозных молочных продуктов из-за высокого уровня моносахаридов, образующихся под воздействием лактазы в процессе производства. Для преодоления этой проблемы D. Gille, B. Walther, R. Badertscher and etc. [61] предложили удалять глюкозу, содержащуюся в продукте до

внесения β-галактозы путем окисления ее глюкозооксидазой до глюконата. Впоследствии глюкоза, высвобожденная после гидролиза β-галактозой, определялась количественно с высокой чувствительностью, что привело к пределу обнаружения 0,024 г/кг.

Авторы считают, что разработанный ими ферментативный метод хорошо подходит для обнаружения низкого уровня лактозы в различных молочных продуктах. Кроме того, это исследование подтвердило, что все созревшие сыры по своей природе не содержат молочного сахара, а исследованные в данной работе продукты, заявленные как безлактозные, имели уровни содержания данного вещества ниже 0,1%, за исключением одного, концентрация лактозы в котором составляла 1,4 г/кг [61].

Иного мнения придерживаются A. Trani, G. Gambacorta and etc. [62], которые провели сравнение ферментативного метода, реализованного с помощью двух ферментных наборов, с двумя альтернативными хроматографическими методами: ВЭЖХ в сочетании с детектором RI и тандемная масс-спектрометрия UPLC (UHPLC–MS/MS). В исследовании использовалось несколько образцов УНТ-молока, содержащего разные уровни лактозы. Результаты исследования показали, что ферментативные методы, а также ВЭЖХ в сочетании с детектором RI не подходят для количественного определения остаточной лактозы в безлактозном молоке. По мнению авторов, их следует применять только к обычному молоку. Наилучшие результаты были получены методом жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием, основанным на использовании аддукта формиата лактозы. Метод оказался очень чувствительным и обеспечил воспроизводимые результаты даже при самых низких концентрациях лактозы.

Для определения низкого уровня лактозы существуют более точные аналитические методы — это высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) и высокоэффективная анионообменная хроматография (НРАЕС) с импульсным амперометрическим детектированием (РАД) [63].

ВЭЖХ остается одним из наиболее широко используемых методов. Он используется для разделения большого количества углеводов, особенно в пищевых продуктах. ВЭЖХ позволяет напрямую определять углеводы, поскольку они могут поглощать ультрафиолетовые волны с низкой длиной волны. Для разделения углеводов доступно несколько хроматографических методов, наибольшее распространение получили системы с обращенной фазой и катионный обмен. Разделение в распределительной хроматографии с обращенной фазой основано на принципе гидрофобных взаимодействий, происходящих из сил отталкивания между относительно полярными растворителями, неполярными аналитами и неполярными неподвижными фазами. Традиционная адсорбционная хроматография почти повсеместно была заменена ионообменной хроматографией. Углеводы разделяются по разнице зарядов с использованием двух типов ионообменников — анионного и катионного, где соединения заряжены отрицательно и положительно соответственно [63,64].

A. Garballo-Rubio, J. Soto-Chinchilla, and etc. [65] разработали новый метод определения остаточной лактозы в безлактозных молочных продуктах с использованием жидкостной хроматографии в сочетании с тройным квадруполем тандемной масс-спектрометрии. Для этого была использована хроматография гидрофильного взаимодействия. В качестве оптимальной была выбрана амидная хроматографическая колонка с щелочной подвижной фазой. Кроме того, была разработана быстрая, экономичная и надежная обработка проб для повседневного использования в аналитических лабораториях. Метод был подтвержден с использованием калибровочных стандартов, соответствующих матрице, и анализа восстановления

на образце безлактозного молока, полученном гидролизом лактазы обычного молока. Описанный метод был применен к нескольким безлактозным продуктам, и результаты показали, что уровни лактозы в них не всегда ниже рекомендованного максимального значения 100 мг/л.

Более чувствительным методом по сравнению с ВЭЖХ является высокоэффективная анионообменная хроматография с импульсным амперометрическим детектированием (НРАЕС-РАД), с помощью которой были определены концентрации лактозы, глюкозы и галактозы в твердом сыре Grana Padano, которые были ниже 1 мг/100 г сыра [65]. Исследование долго созревающего сыра показало, что содержание лактозы естественным образом снизилось с примерно 4,7 г/100 г (в молоке) до 0,5 мг/100 г (в сыре). Было отмечено, что в отличие от молочных продуктов без лактозы или с пониженным содержанием лактозы, полученных путем добавления β-галактозидазы, в сыре Grana Padano галактоза и глюкоза полностью метаболизируются. Авторы делают вывод о том, что настоящий сыр Grana Padano можно безопасно включать в рацион людей, страдающих непереносимостью лактозы. Кроме того, возможно введение этого сыра в рацион людей, страдающих галактоземией [66].

W. B. van Scheppingen, P. H van Hilten and etc. [59] модифицировали метод НРАЕС-РАД в части пробоподготовки с целью эффективного выделения лактозы из матрицы продукта. Метод предусматривает подготовку пробы для анализа путем разбавления, центрифугирования и ультрафильтрации. Анализ НРАЕС-РАД на колонке CarboPac PA100 позволил получить хорошее отделение лактозы от других сахаридов. Это разделение в сочетании с детектором РАД дает селективный и чувствительный метод количественного определения при требуемых концентрациях лактозы в молочных продуктах с низким содержанием лактозы.

E. Churakova, K. Peri and etc. [60] сравнили анализ лактозы с помощью НРАЕС-РАД с девятью другими широко используемыми методами анализа и пришли к выводу, что только биосенсор лактозы Biomilk300 (Biolan) имеет сопоставимую чувствительность и точность при всех протестированных пониженных концентрациях лактозы, включая 0,01%. Другие испытанные методы (HPLC-RI, ЯМР, ферментные наборы, криоскопия) не подходят для измерения концентрации лактозы в молоке с низким содержанием лактозы, полученном ферментативным гидролизом.

F. Conzuelo, M. Gamella and etc. [67] разработан метод количественного определения лактозы с применением интегрированного амперометрического биосенсора. Метод основан на гидролизе лактозы до D-галактозы и D-глюкозы, которые окисляются кислородом в присутствии ферментов путем разбавления буферного раствора до заданного pH, чтобы концентрация лактозы в образце соответствовала линейному диапазону калибровочного графика. Эта ферментативная реакция вызывает амперометрический сигнал, пропорциональный концентрации лактозы. Биосенсорный метод не зависит от присутствия в продукте различных сахаров, витаминов, спиртов, ароматизаторов и других соединений; он устойчив к изменениям температуры окружающей среды, температуры образца и объема образца.

Для биосенсорного анализа лактозы в различных безлактозных или низколактозных молочных продуктах, молочных смесях и детских смесях используются различные наборы, содержащие в своем составе лактазы различного происхождения [67,68,69]. Для установления эффективности действия этих наборов группа заинтересованных сторон АОАС по стратегическим методам анализа пищевых продуктов проводит сравнительные исследования образцов молока и молочных продуктов, содержащих низкие уровни лактозы, с помощью

биосенсорных методов и аккредитованной высокоэффективной анионообменной хроматографии с импульсным амперометрическим детектированием. На основе результатов этих исследований утверждены Стандартные требования к эффективности биосенсорных методов (SMPR®) 2018.009 для лактозы в молоке с низким ее содержанием или безлактозном, молочных продуктах и продуктах, содержащих молочные ингредиенты. Метод LactoSensR рекомендовано принять как официальный метод АОАС первого действия [68].

Следует отметить, что ферментные амперометрические биосенсоры могут эксплуатироваться неквалифицированным персоналом. Следовательно, их можно рассматривать как привлекательную альтернативу другим, более сложным методам для небольших производств. Тем не менее, мы считаем возможным использовать в статусе стандартизованного арбитражного метода высокоэффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ) с масс-спектрометрическим детектированием, а также высокоэффективную анионообменную хроматографию с импульсным амперометрическим детектированием (НРАЕС-PAD).

В заключение обзора методов, применяемых для обнаружения остаточного содержания лактозы в безлактозных продуктах и контроля за содержанием лактозы в низколактозных продуктах, следует упомянуть метод, основанный на спектроскопии комбинационного рассеяния света — рамановскую спектроскопию. Этот метод был применен китайскими исследователями M. Li, J. Chen, J. Xu, S. Fu, H. Gong [70] для

быстрого определения лактозы в молоке и идентификации молочных продуктов с низким ее содержанием. Метод позволяет определять уровень лактозы в диапазоне от 0,028 до 0,1 моль/л с пределом обнаружения 0,019 моль/л.

3. Заключение

В последние годы ассортимент низко- и безлактозных молочных продуктов значительно вырос, а технологии их производства постоянно совершенствуются.

Представленное разнообразие методов определения остаточной лактозы в безлактозных молочных продуктах говорит об актуальности этой проблемы. Работы в этом направлении ведутся в разных странах с использованием различных подходов, направленных на создание и совершенствование высокочувствительных методов, позволяющих идентифицировать и количественно определять лактозу и продукты ее гидролиза на низких пределах обнаружения.

Молочная промышленность имеет потребность в методах анализа для определения лактозы в молоке и молочных продуктах с низким ее содержанием, а также в безлактозных продуктах. В связи с этим целесообразно использование в статусе международного стандартного контрольного метода анализа для определения лактозы в низко- и безлактозных молочных продуктах высокоэффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ) с масс-спектрометрическим детектированием, а также высокоэффективную анионообменную хроматографию с импульсным амперометрическим детектированием (НРАЕС-PAD).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Marangoni, F., Pellegrino, L., Verduci, E., Ghiselli, A., Bernabei, R., Calvani, R. et al. (2019). Cow's milk consumption and health: A health Professional's guide. *Journal of the American College of Nutrition*, 38(3), 197–208. <https://doi.org/10.1080/07315724.2018.1491016>
- Тепел, А. (2012). Химия и физика молока. Санкт-Петербург: Профессия, 2012.
- Foroutan, A., Guo, A. C., Vazquez-Fresno, R., Lipfert, M., Zhang, L., Zheng, J. et al. (2019). Chemical composition of commercial cow's milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(17), 4897–4914. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00204>
- Alessio, D. R. M., Thaler Neto, A., Velho, J. P., Perreira, I. B., Miquelluti, D. J., Knob, D. A. et al. (2016). Multivariate analysis of lactose content in milk of Holstein and Jersey cows. *Seminars: Ciências Agrárias*, 37(4Supl.1), 2641–2652. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n4supl1p2641>
- Темирдашева, К.А., Гукежев, В.М. (2016). Зависимость содержания лактозы в молоке коров черно-пестрой породы от различных факторов. *Вестник ИРГСА*, 74, 96–101.
- Синельников, Б.М., Храпцов, А.Г., Евдокимов, И.А., Рябцева, С.А., Серов, А.В. (2007). Лактоза и ее производные. Санкт-Петербург: Профессия, 2007.
- Sgambat, K., Banks, M., Moudgil, A. (2013). Effect of galactose on glomerular permeability and proteinuria in steroid-resistant nephrotic syndrome. *Pediatric Nephrology*, 28(11), 2131–2135. <https://doi.org/10.1007/s00467-013-2539-z>
- Ficiocioglu, C., Hussa, C., Gallagher, P. R., Thomas, N., Yager, C. (2010). Monitoring of biochemical status in children with duarte galactosemia: Utility of galactose, galactitol, galactonate, and galactose 1-phosphate. *Clinical Chemistry*, 56(7), 1177–1182. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2010.144097>
- Lau, K. K., Wyatt, R. J., Moldoveanu, Z., Tomana, M., Julian, B. A., Hogg, R. J. et al. (2007). Serum levels of galactose-deficient IgA in children with IgA nephropathy and henoch-schönlein purpura. *Pediatric Nephrology*, 22(12), 2067–2072. <https://doi.org/10.1007/s00467-007-0623-y>
- Abrams, S. A., Griffin, I. J., Davila, P. M. (2002). Calcium and zinc absorption from lactose-containing and lactose-free infant formulas. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76(2), 442–446. <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.2.442>
- Heine, R. G. (2013). Cow's-milk allergy and lactose malabsorption in infants with colic. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 57(SUP-PL.1), S25–S27. <https://doi.org/10.1097/01.mpg.0000441930.13307.9b>
- Щербак, В.А., Щербак, Н.М. (2011). Лактазная недостаточность у детей. *Педиатрическая фармакология*, 8(3), 90–93.
- Корниенко, Е.А., Митрофанова, Н.И., Ларченкова, Л.В. (2006). Лактазная недостаточность у детей раннего возраста. *Вопросы современной педиатрии*, 5(4), 82–86.
- Leonardi, M., Gerbault, P., Thomas, M. G., Burger, J. (2012). The evolution of lactase persistence in Europe. A synthesis of archaeological and genetic evidence. *International Dairy Journal*, 22(2), 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.10.010>
- Kuokkanen, M., Kokkonen, J., Enattah, N. S., Ylisaukko-Oja, T., Komu, H., Varilo, T. et al. (2006). Mutations in the translated region of the lactase gene (LCT) underlie congenital lactase deficiency. *American Journal of Human Genetics*, 78(2), 339–344. <https://doi.org/10.1086/500053>
- Vilote, J.-L. (2002). Lowering the milk lactose content in vivo: Potential interests, strategies and physiological consequences. *Reproduction Nutrition Development*, 42(2), 127–132. <https://doi.org/10.1051/rnd:2002012>
- Демина, И.А., Макарова, Е.А. (10 апреля 2020). *Безопасность и этика использования трансгенных животных*. Материалы научно-практической конференции с международным участием, посвященной 105-летию со дня рождения А. Г. Банникова. Москва, Россия.
- Maksimenko, O.G., Deykin, A.V., Khodarovich, YU. M., Georgiev, P.G. (2013). Use of transgenic animals in biotechnology: prospects and problems. *Acta Naturae*, 5–1(16), 33–45.
- Houdebine, L.-M. (2005). Use of transgenic animals to improve human health and animal production. *Reproduction in Domestic Animals*, 40(4), 269–281. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2005.00596.x>
- Law, D., Conklin, J., Pimentel, M. (2010). Erratum: Lactose intolerance and the role of the lactose breath test. *American Journal of Gastroenterology*, 105(10), 2308. <https://doi.org/10.1038/ajg.2010.146>
- Бельмер, С.В., Мухина, Ю.Г., Чубарова, А. И. Гераскина, В.П., Гасилина, Т.В. (2005). Непереносимость лактозы у детей и взрослых. *Лечащий врач*, 1, 34–38.
- Brown-Esters, O., Mc Namara, P., Savaiano, D. (2012). Dietary and biological factors influencing lactose intolerance. *International Dairy Journal*, 22(2), 98–103. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.09.010>
- Артюхова, С.И., Сыксин, С.В. (2014). Распространение гиполактазии среди мирового населения. *Динамика систем, механизмов и машин*, 6, 62–66.
- Parker, A. M., Watson, R. R. (2017). Lactose Intolerance. Chapter in a book: *Nutrients in Dairy and Their Implications on Health and Disease*. University of Arizona, Tucson, AZ, United States, 205–211. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809762-5.00016-4>
- Enattah, N. S., Sahi, T., Savilahti, E., Terwilliger, J. D., Peltonen, L., Järvelä, I. (2002). Identification of a variant associated with adult-type hypolactasia. *Nature Genetics*, 30(2), 233–237. <https://doi.org/10.1038/ng826>
- Heyman, M. B. (2006). Lactose intolerance in infants, children, and adolescents. *Pediatrics*, 118(3), 1279–1286. <https://doi.org/10.1542/peds.2006-1721>
- Боровик, Т.Э., Скворцова, В.А., Рославцева, Е.А., Яцык, Г.В., Лукьянова, О.Л., Степанова, Т.Н. и др. (2004). Лактазная недостаточность

у детей и возможности её диетической коррекции. *Вопросы современной педиатрии*, 3(3), 76–81.

28. Зиятдинова, Н.В., Файзуллина, Р.А. (2010). Лактазная недостаточность у детей. *Практическая медицина*, 3(42), 44–47.
29. Dekker, P. J. T., Koenders, D., Bruins, M. J. (2019). Lactose-free dairy products: Market developments, production, nutrition and health benefits. *Nutrients*, 11(3), Article 551. <https://doi.org/10.3390/nu11030551>
30. Скурихин, И.М. (2002). Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник. Москва: ДеЛи принт, 2002.
31. Шлейп, Т. (2004). Осторожно: лактоза! Когда молочный сахар несовместим со здоровьем. Санкт-Петербург: Вест, 2004.
32. Мордвинова, В.А., Лепилкина, О.В. (2016). Безлактозные сыры — миф или реальность? *Сыроделие и маслоделие*, 1, 38–40.
33. Upreti, P., McKay, L. L., Metzger, L. E. (2006). Influence of calcium and phosphorus, lactose, and salt-to-moisture ratio on cheddar cheese quality: Changes in residual sugars and water-soluble organic acids during ripening. *Journal of Dairy Science*, 89(2), 429–443. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(06\)72107-5](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(06)72107-5)
34. Ruiz-Matute, A. I., Corzo-Martínez, M., Montilla, A., Olano, A., Copovi, P., Corzo, N. (2012). Presence of mono-, di- and galactooligosaccharides in commercial lactose-free UHT dairy products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 28(2), 164–169. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.06.003>
35. Тихомирова, Н.А., Нгуен, Б.Т. (2020). Низколактозные кисломолочные продукты. *Переработка молока*, 10(252), 10–12.
36. Jelen, P., Tossavainen, O. (2003). Low lactose and lactose-free milk and dairy products — prospects, technologies and applications. *Australian Journal of Dairy Technology*, 58(2), 161–165.
37. Harju, M., Kallioinen, H., Tossavainen, O. (2012). Lactose hydrolysis and other conversions in dairy products: Technological aspects. *International Dairy Journal*, 22(2), 104–109. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.09.011>
38. Pulinas, L., Spanu, C., Idda, I., Ibba, I., Nieddu, G., Viridis, S. et al. (2017). Production of farmstead lactose-free pecorino di osilo and ricotta cheeses from sheep's milk. *Italian Journal of Food Safety*, 6(1), 33–39, Article 6353. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2017.6353>
39. Dekker, P.J.T. (2016). Enzymes Exogenous to Milk in Dairy Technology: β -d-Galactosidase. Chapter in a book: *Encyclopedia of Dairy Sciences: Second Edition*. DSM Food-Specialties, Delft, Netherlands 1–8.
40. Добрян, Е.И., Ильина, А.М., Горлова, А.Г. (2019). Получение функциональных продуктов на основе ферментативного гидролиза лактозы. *Пищевая промышленность*, 4, 36–37. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10017>
41. Остроумов, Л.А., Гаврилов, В.Г. (2013). Биотрансформация лактозы ферментными препаратами β -галактозидазы. *Техника и технология пищевых производств*, 1(28), 26A–31.
42. Букуру, Л.К., Скворцов, Е.В., Багаева, Т.В., Канарская, З.А. (2017). Эффективность применения β -галактозидазы для получения низколактозного напитка на основе молочной сыворотки. *Вестник технологического университета*. 20(13), 117–119.
43. Минин, П.С., Тимкин, В.А. (2019). Технология производства безлактозного молока с применением баромембранных процессов. *Переработка молока*, 12(242), 52–53.
44. Чумакова, И.В., Донская, Г.А. (2020). Изменение состава и физико-химических свойств молочного сырья при производстве безлактозного молока. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 4(84), 193–197. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-84-4-193-197>
45. Гаврилов, Г.Б., Кравченко, Э.Ф., Гаврилов, В.Г. (2013). Мембранные процессы для переработки молока и сыворотки. *Сыроделие и маслоделие*, 6, 22–23.
46. Гаврилов, Г.Б., Кравченко, Э.Ф., Гаврилов, В.Г. (2012) Биомембранные процессы. *Молочная промышленность*, 7, 49–51.
47. Пат. № 2443116. Способ производства безлактозного молока / Янь И., Ван Г., Као М., Янь И. Оpubl. 27.02.2012.
48. Тихомирова, Н.А. (2016). Низколактозные и безлактозные продукты детского и лечебного питания. *Переработка молока*, 3(197), 16–19.
49. Бань, М.Ф., Кириленко, Н.М. (2016, 4 ноября). *Тенденции развития рынка безлактозного молока в республике Беларусь*. Сборник научных статей международной научно-практической конференции. Гомель, Беларусь.
50. Troise, A. D., Bandini, E., De Donno, R., Meijer, G., Trezzi, M., Fogliano, V. (2016). The quality of low lactose milk is affected by the side proteolytic activity of the lactase used in the production process. *Food Research International*, 89, 514–525. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.021>
51. Dahlqvist, A., Asp, N. G., Burvall, A., Rausing, H. (1977). Hydrolysis of lactose in milk and whey with minute amounts of lactase. *Journal of Dairy Research*, 44(3), 541–548. <https://doi.org/10.1017/s0022029900020495>
52. McCain, H. R., Kaliappan, S., Drake, M. A. (2018). Invited review: Sugar reduction in dairy products. *Journal of Dairy Science*, 101(10), 8619–8640. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14347>
53. Сафронова, А.И., Коновалова, Л.С., Гурченкова, М.А. (2012). Современные подходы к адаптации молочных смесей для детей раннего возраста. *Вопросы современной педиатрии*, 11(2), 56–61.
54. Шуляк, Т.Л., Гуца, Н.Ф. (2019). Новые низколактозные кисломолочные продукты с функциональными ингредиентами. *Переработка молока*, 12(242), 28–31.
55. Анцыперова, М.А., Арсеньева, Т.П., Волкова, О.В., Яковченко, Н.В. (2019, 13–15 ноября). *Исследование процесса ферментации при производстве низколактозной молочной продукции*. IX Международная научно-техническая конференция. Санкт-Петербург, Россия.
56. Арсеньева, Т.П., Лугова, М.В. (2020). Моделирование низколактозного высокобелкового замороженного десерта на козьем молоке. *Colloquium-journal*, 19–1(71), 31–34. <https://doi.org/10.24411/2520-6990-2020-12044>
57. Karnyaczki, Z., Csanadi, J. (2017). Texture profile properties, sensory evaluation, and susceptibility to syneresis of yoghurt prepared from lactose-free milk. *Acta Alimentaria*, 46(4), 403–410. <https://doi.org/10.1556/066.2016.0018>
58. Лепилкина, О.В. (2020). Руководителям лабораторий. Методы определения массовой доли лактозы в молоке и молочных продуктах. *Молочная промышленность*, 7, 44–45.
59. van Scheppingen, W. B., van Hilten, P. H., Vijverberg, M. P., Duchateau, A. L. L. (2017). Selective and sensitive determination of lactose in low-lactose dairy products with HPAEC-PAD. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 1060, 395–399. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2017.06.024>
60. Churakova, E., Peri, K., Vis, J. S., Smith, D. W., Beam, J. M., Vijverberg, M. P. et al. (2019). Accurate analysis of residual lactose in low-lactose milk: Comparing a variety of analytical techniques. *International Dairy Journal*, 96, 126–131. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.02.020>
61. Gille, D., Walthers, B., Badertscher, R., Bosshart, A., Brüggler, C., Brühlhart, M. et al. (2018). Detection of lactose in products with low lactose content. *International Dairy Journal*, 83, 17–19. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.03.003>
62. Trani, A., Gambacorta, G., Loizzo, P., Cassone, A., Fasciano, C., Zambini, A. V. et al. (2017). Comparison of HPLC-RI, LC/MS-MS and enzymatic assays for the analysis of residual lactose in lactose-free milk. *Food Chemistry*, 233, 385–390. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.154>
63. Gambelli, L. (2017). Milk and Its Sugar-Lactose: A Picture of Evaluation Methodologies. *Beverages*, 3(4), 35. <https://doi.org/10.3390/beverages3030035>
64. Рыбакова, Е. В. (2005). Высокоэффективная ионная и жидкостная хроматография для анализа продуктов питания для детей. *Пищевая промышленность*, 3, 24–26.
65. Garballo-Rubio, A., Soto-Chinchilla, J., Moreno, A., Zafra-Gómez, A. (2018). Determination of residual lactose in lactose-free cow milk by hydrophilic interaction liquid chromatography (HILIC) coupled to tandem mass spectrometry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 66, 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.11.006>
66. Monti, L., Negri, S., Meucci, A., Stroppa, A., Galli, A., Contarini, G. (2017). Lactose, galactose and glucose determination in naturally “lactose free” hard cheese: HPAEC-PAD method validation. *Food Chemistry*, 220, 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.185>
67. Conzuelo, F., Gamella, M., Campuzano, S., Ruiz, M. A., Reviejo, A. J., Pingarrón, J. M. (2010). An integrated amperometric biosensor for the determination of lactose in milk and dairy products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(12), 7141–7148. <https://doi.org/10.1021/jf101173e>
68. Halbmayr-Jech, E., Kittl, R., Weinmann, P., Schulz, C., Kowalik, A., Sygmund, C. et al. (2021). Determination of lactose in lactose-free and low-lactose milk, milk products, and products containing dairy ingredients by the LactoSens®R amperometry method: First action 2020.01. *Journal of AOAC International*, 103(6), 1534–1546. <https://doi.org/10.1093/jaoacint/qsaa080>
69. Ivory, R., Delaney, E., Mangan, D., McCleary, B. (2020). Determination of Lactose Concentration in Low-Lactose and Lactose-Free Milk, Milk Products, and Products Containing Dairy Ingredients: Single Laboratory Validation of an Enzymatic Method, First Action Method. *Journal of AOAC International*. <https://doi.org/10.1093/jaoacint/qsab032>
70. Li, M., Chen, J., Xu, J., Fu, S., Gong, H. (2015). Determination of lactose in milk by Raman spectroscopy. *Analytical Letters*, 48(8), 1333–1340. <https://doi.org/10.1080/00032719.2014.979358>

REFERENCES

1. Marangoni, F., Pellegrino, L., Verduci, E., Ghiselli, A., Bernabei, R., Calvani, R. et al. (2019). Cow's milk consumption and health: A health Professional's guide. *Journal of the American College of Nutrition*, 38(3), 197–208. <https://doi.org/10.1080/07315724.2018.1491016>
2. Tepel, A. (2012). Chemistry and physics of milk. Saint Petersburg: Profession, 2012. (In Russian)
3. Foroutan, A., Guo, A. C., Vazquez-Fresno, R., Lipfert, M., Zhang, L., Zheng, J. et al. (2019). Chemical composition of commercial cow's milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(17), 4897–4914. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00204>
4. Alessio, D. R. M., Thaler Neto, A., Velho, J. P., Pereira, I. B., Miquelluti, D. J., Knob, D. A., da Silva, C. G.. (2016). Multivariate analysis of

lactose content in milk of Holstein and Jersey cows1. *Semina: Ciências Agrárias*, 37(4Supl.1), 2641–2652. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n4supl1p2641>

5. Temirdasheva, K.A., Gukezhev V.M. (2016). Dependence of lactose in the milk of cows of black-pied breed on various factors. *Vestnik IRGSHA*, 74, 96–101. (In Russian)
6. Sinelnikov, B. M., Khrantsov, A. G., Evdokimov, I. A., Ryabtseva, S. A., Serov, A.V. (2007). Lactose and its derivatives. Saint Petersburg: Profession, 2007. (In Russian)
7. Sgambat, K., Banks, M., Moudgil, A. (2013). Effect of galactose on glomerular permeability and proteinuria in steroid-resistant nephrotic syndrome. *Pediatric Nephrology*, 28(11), 2131–2135. <https://doi.org/10.1007/s00467-013-2539-z>
8. Ficicioglu, C., Hussa, C., Gallagher, P. R., Thomas, N., Yager, C. (2010). Monitoring of biochemical status in children with duarte galactosemia: Utility of galactose, galactitol, galactonate, and galactose 1-phosphate. *Clinical Chemistry*, 56(7), 1177–1182. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2010.144097>
9. Lau, K. K., Wyatt, R. J., Moldoveanu, Z., Tomana, M., Julian, B. A., Hogg, R. J. et al. (2007). Serum levels of galactose-deficient IgA in children with IgA nephropathy and henoch-schönlein purpura. *Pediatric Nephrology*, 22(12), 2067–2072. <https://doi.org/10.1007/s00467-007-0623-y>
10. Abrams, S. A., Griffin, I. J., Davila, P. M. (2002). Calcium and zinc absorption from lactose-containing and lactose-free infant formulas. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76(2), 442–446. <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.2.442>
11. Heine, R. G. (2013). Cow's-milk allergy and lactose malabsorption in infants with colic. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 57(SUP-PL.1), S25–S27. <https://doi.org/10.1097/01.mpg.0000441930.13307.9b>
12. Sherbak, V.A., Sherbak, N.M. (2011). Lactase deficiency in children. *Pediatric Pharmacology*, 8 (3), 90–93. (In Russian)
13. Kornienko, E.A., Mitrofanova, N.I., Larchenkova, L.V. (2006). Lactase deficiency in babies and infants. *Current Pediatrics (Moscow)*, 5(4), 82–86 (In Russian)
14. Leonardi, M., Gerbault, P., Thomas, M. G., Burger, J. (2012). The evolution of lactase persistence in europe. A synthesis of archaeological and genetic evidence. *International Dairy Journal*, 22(2), 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.10.010>
15. Kuokkanen, M., Kokkonen, J., Enattah, N. S., Ylisaukko-Oja, T., Komu, H., Varilo, T. et al. (2006). Mutations in the translated region of the lactase gene (LCT) underlie congenital lactase deficiency. *American Journal of Human Genetics*, 78(2), 339–344. <https://doi.org/10.1086/500053>
16. Vilotte, J. -L. (2002). Lowering the milk lactose content in vivo: Potential interests, strategies and physiological consequences. *Reproduction Nutrition Development*, 42(2), 127–132. <https://doi.org/10.1051/rnd:2002012>
17. Demina, I. A., Makarova, E. A. (2020, 24 April). *Safety and ethics of using transgenic animals*. Materials of the scientific and practical conference with international participation dedicated to the 105th anniversary of the birth of A. G. Bannikov. Moscow: Russia. (In Russian)
18. Maksimenko, O.G., Deykin, A.V., Khodorovich, YU. M., Georgiev, P.G (2013). Use of transgenic animals in biotechnology: prospects and problems. *Acta Naturae*, 5–1(16), 33–45.
19. Houdebine, L. -M. (2005). Use of transgenic animals to improve human health and animal production. *Reproduction in Domestic Animals*, 40(4), 269–281. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2005.00596.x>
20. Law, D., Conklin, J., Pimentel, M. (2010). Erratum: Lactose intolerance and the role of the lactose breath test. *American Journal of Gastroenterology*, 105(10), 2308. <https://doi.org/10.1038/ajg.2010.146>
21. Belmer, S.V., Mukhina, Yu.G., Chubarova, A.I., Geraskina, V.P., Gasilina, T.V. (2005). Lactose intolerance in children and adults. *The Attending Physician*, 1, 34–38. (In Russian)
22. Brown-Esters, O., Mc Namara, P., Savaiano, D. (2012). Dietary and biological factors influencing lactose intolerance. *International Dairy Journal*, 22(2), 98–103. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.09.010>
23. Artyukhova, S.I., Syksin, S.V. (2014). Distribution of hypolactasia among the world population. *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines*, 6, 62–66. (In Russian)
24. Parker, A. M., Watson, R. R. (2017). Lactose Intolerance. Chapter in a book: *Nutrients in Dairy and Their Implications on Health and Disease*. University of Arizona, Tucson, AZ, United States, 205–211. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809762-5.00016-4>
25. Enattah, N. S., Sahi, T., Savilahti, E., Terwilliger, J. D., Peltonen, L., Järvelä, I. (2002). Identification of a variant associated with adult-type hypolactasia. *Nature Genetics*, 30(2), 233–237. <https://doi.org/10.1038/ng826>
26. Heyman, M. B. (2006). Lactose intolerance in infants, children, and adolescents. *Pediatrics*, 118(3), 1279–1286. <https://doi.org/10.1542/peds.2006-1721>
27. Borovik, T.E., Skvortsova, V.A., Roslavtseva, E.A., Yatsyk, G.V., Lukyanova, O.L., Stepanova, T.N. et al. (2004). Lactase deficiency in children and possibilities of its dietary correction. *Current Pediatrics (Moscow)*, 3(3), 76–81. (In Russian)
28. Ziatdinova, N.V., Faizullina, R.A. (2010). Lactase deficiency at children. *Practical Medicine*. 3(42), 44–47. (In Russian)
29. Dekker, P. J. T., Koenders, D., Bruins, M. J. (2019). Lactose-free dairy products: Market developments, production, nutrition and health benefits. *Nutrients*, 11(3), Article 551. <https://doi.org/10.3390/nu11030551>
30. Skurikhin, I.M. (2002). Chemical Composition of Russian Food Products: A Handbook. Moscow: DeLi Print, 2002 (In Russian)
31. Shleip, T. (2004). Caution: lactose! When milk sugar is incompatible with health. Saint Petersburg: Ves, 2004. (In Russian)
32. Mordvinova, V.A., Lepilkina, O.V. (2016). Lactose-free cheeses – myth or reality? *Cheese and Butter Making*, 1, 38–40. (In Russian)
33. Upreti, P., McKay, L. L., Metzger, L. E. (2006). Influence of calcium and phosphorus, lactose, and salt-to-moisture ratio on cheddar cheese quality: Changes in residual sugars and water-soluble organic acids during ripening. *Journal of Dairy Science*, 89(2), 429–443. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(06\)72107-5](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(06)72107-5)
34. Ruiz-Matute, A. I., Corzo-Martinez, M., Montilla, A., Olano, A., Copovi, P., Corzo, N. (2012). Presence of mono-, di- and galactooligosaccharides in commercial lactose-free UHT dairy products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 28(2), 164–169. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.06.003>
35. Tikhomirova, N.A., Nguyen, B.T. (2020). Low-lactose fermented milk products. *Milk Processing*, 10(252), 10–12. (In Russian)
36. Jelen, P., Tossavainen, O. (2003). Low lactose and lactose-free milk and dairy products – prospects, technologies and applications. *Australian Journal of Dairy Technology*, 58(2), 161–165.
37. Harju, M., Kallioinen, H., Tossavainen, O. (2012). Lactose hydrolysis and other conversions in dairy products: Technological aspects. *International Dairy Journal*, 22(2), 104–109. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.09.011>
38. Pulinas, L., Spanu, C., Idda, I., Ibbi, I., Nieddu, G., Virdis, S. et al. (2017). Production of farmstead lactose-free pecorino di osilo and ricotta cheeses from sheep's milk. *Italian Journal of Food Safety*, 6(1), 33–39, Article 6353. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2017.6353>
39. Dekker, P.J.T. (2016). Enzymes Exogenous to Milk in Dairy Technology: β-d-Galactosidase. Chapter in a book: *Encyclopedia of Dairy Sciences: Second Edition*. DSM Food-Specialties, Delft, Netherlands 1–8.
40. Dobriyan, E.I., Ilyina, A.M., Gorlova, A.G. (2019). The manufacture of functional products based on lactose fermentative hydrolysis. *Food Industry*, 4, 36–37. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10017> (In Russian)
41. Ostroumov, L.A., Gavrilov, V.G. (2013). Biotransformation of lactose enzyme preparations β-galactosidase. *Food Processing: Techniques and Technology*, 1(28), 26A-31. (In Russian)
42. Bukuru, L.K., Skvortsov, E.V., Bagaeva, T.V., Kanarskaya, Z.A. (2017). Efficiency of β-galactosidase application for obtaining a low-lactose drink based on milk whey. *Technological University Bulletin*. 20(13), 117–119. (In Russian)
43. Minin, P.S., Timkin, V.A. (2019). Technology for the production of lactose-free milk using baromembrane processes. *Milk processing*, 12(242), 52–53. (In Russian)
44. Chumakova, I.V., Donskaya, G.A. (2020). Changes in the composition and physical and chemical properties of raw milk in the production of lactose-free milk. *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*, 4 (84), 193–197. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-84-4-193-197> (In Russian)
45. Gavrilov, G.B., Kravchenko, E.F., Gavrilov, V.G. (2013). Membrane processes for processing milk and whey. *Cheese and butter making*, 6, 22–23. (In Russian)
46. Gavrilov, G.B., Kravchenko, E.F., Gavrilov, V.G. (2012). Bio-membrane processes. *Dairy Industry*, 7, 49–51. (In Russian)
47. Yan I., Van G., Kao M., Yan Y. (2012). Method for the production of lactose-free milk. Patent RF, no.2443116, 2012. (In Russian)
48. Tikhomirova, N.A. (2016). Low-lactose and lactose-free products for children and medical nutrition. *Milk processing*, 3(197), 16–19. (In Russian)
49. Ban, M.F., Kirilenko, N.M. (2016, November 4). *Development trends of the lactose-free milk market in the Republic of Belarus*. Collection of scientific articles of the international scientific and practical conference. Gomel, Belarus. (In Russian)
50. Troise, A. D., Bandini, E., De Donno, R., Meijer, G., Trezzi, M., Fogliano, V. (2016). The quality of low lactose milk is affected by the side proteolytic activity of the lactase used in the production process. *Food Research International*, 89, 514–525. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.021>
51. Dahlqvist, A., Asp, N. G., Burvall, A., Rausing, H. (1977). Hydrolysis of lactose in milk and whey with minute amounts of lactase. *Journal of Dairy Research*, 44(3), 541–548. <https://doi.org/10.1017/s0022029900020495>
52. McCain, H. R., Kaliappan, S., Drake, M. A. (2018). Invited review: Sugar reduction in dairy products. *Journal of Dairy Science*, 101(10), 8619–8640. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14347>
53. Safronova, A.I., Konovalova, L.S., Gurchenkova, M.A. (2012). Modern approaches to adaptation of formulas for infants. *Current Pediatrics (Moscow)*, 11(2), 56–61. (In Russian)
54. Shulyak, T.L., Gushcha, N.F. (2019). New low-lactose fermented milk products with functional ingredients. *Milk Processing*, 12(242), 28–31. (In Russian)
55. Antsyperova, M.A., Arsenyeva, T.P., Volkova, O.V., Yakovchenko, N.V. (2019, November 13–15). *Investigation of the fermentation process in the production of low-lactose dairy products*. IX International Scientific and Technical Conference. Saint Petersburg: Russia. (In Russian)
56. Arsenyeva, T.P., Lugova, M.V. (2020). Modeling low lactose high protein frozen dessert with goat's milk. *Colloquium-journal*, 19–1(71), 31–34. <https://doi.org/10.24411/2520-6990-2020-12044> (In Russian)
57. Karnyaczki, Z., Csanadi, J. (2017). Texture profile properties, sensory evaluation, and susceptibility to syneresis of yoghurt prepared

from lactose-free milk. *Acta Alimentaria*, 46(4), 403–410. <https://doi.org/10.1556/066.2016.0018>

58. Lepilkina, O. V. (2020). For the heads of the laboratories. Methods for determining the mass fraction of lactose in milk and dairy products. *Dairy Industry*, 7, 44–45. (In Russian)

59. van Scheppingen, W. B., van Hilten, P. H., Vijverberg, M. P., Duchateau, A. L. L. (2017). Selective and sensitive determination of lactose in low-lactose dairy products with HPAEC-PAD. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 1060, 395–399. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2017.06.024>

60. Churakova, E., Peri, K., Vis, J. S., Smith, D. W., Beam, J. M., Vijverberg, M. P. et al. (2019). Accurate analysis of residual lactose in low-lactose milk: Comparing a variety of analytical techniques. *International Dairy Journal*, 96, 126–131. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.02.020>

61. Gille, D., Walther, B., Badertscher, R., Bosshart, A., Brügger, C., Brühlhart, M. et al. (2018). Detection of lactose in products with low lactose content. *International Dairy Journal*, 83, 17–19. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.03.003>

62. Trani, A., Gambacorta, G., Loizzo, P., Cassone, A., Fasciano, C., Zambrini, A. V. et al. (2017). Comparison of HPLC-RI, LC/MS-MS and enzymatic assays for the analysis of residual lactose in lactose-free milk. *Food Chemistry*, 233, 385–390. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.134>

63. Gambelli, L. (2017). Milk and Its Sugar-Lactose: A Picture of Evaluation Methodologies. *Beverages*, 3(4), 35. <https://doi.org/10.3390/beverages3030035>

64. Rybakova, E.V. (2005). High performance ion and liquid chromatography for the analysis of food products for children. *Food Industry*, 3, 24–26. (In Russian)

65. Garballo-Rubio, A., Soto-Chinchilla, J., Moreno, A., Zafra-Gómez, A. (2018). Determination of residual lactose in lactose-free cow milk by hydrophilic interaction liquid chromatography (HILIC) coupled to tandem mass spectrometry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 66, 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.11.006>

66. Monti, L., Negri, S., Meucci, A., Stroppa, A., Galli, A., Contarini, G. (2017). Lactose, galactose and glucose determination in naturally “lactose free” hard cheese: HPAEC-PAD method validation. *Food Chemistry*, 220, 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.185>

67. Conzuelo, F., Gamella, M., Campuzano, S., Ruiz, M. A., Reviejo, A. J., Pingarrón, J. M. (2010). An integrated amperometric biosensor for the determination of lactose in milk and dairy products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(12), 7141–7148. <https://doi.org/10.1021/jf101173e>

68. Halbmayr-Jech, E., Kittl, R., Weinmann, P., Schulz, C., Kowalik, A., Sygmund, C. et al. (2021). Determination of lactose in lactose-free and low-lactose milk, milk products, and products containing dairy ingredients by the LactoSens®R amperometry method: First action 2020.01. *Journal of AOAC International*, 103(6), 1534–1546. <https://doi.org/10.1093/jaoacint/qsaa080>

69. Ivory, R., Delaney, E., Mangan, D., McCleary, B. (2020). Determination of Lactose Concentration in Low-Lactose and Lactose-Free Milk, Milk Products, and Products Containing Dairy Ingredients: Single Laboratory Validation of an Enzymatic Method, First Action Method. *Journal of AOAC International*. <https://doi.org/10.1093/jaoacint/qsab032>

70. Li, M., Chen, J., Xu, J., Fu, S., Gong, H. (2015). Determination of lactose in milk by Raman spectroscopy. *Analytical Letters*, 48(8), 1333–1340. <https://doi.org/10.1080/00032719.2014.979358>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
<p>Никитина Юлия Владимировна — младший научный сотрудник, отдел физической химии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская обл., Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-910-829-29-30 E-mail: nikitinaj7@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2224-6995 * автор для контактов</p>	<p>Julia V. Nikitina — junior researcher, Department of Physical Chemistry, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, 152613, Yaroslavl Region, Uglich, Russia Tel.: +7-910-829-29-30 E-mail: nikitinaj7@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2224-6995 * corresponding author</p>
<p>Топникова Елена Васильевна — доктор технических наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская обл., Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-910-666-93-93 E-mail: topnikova.l@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0225-6870</p>	<p>Elena V. Topnikova — doctor of technical sciences, director, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, 152613, Yaroslavl Region, Uglich, Russia Tel.: +7-910-666-93-93 E-mail: topnikova.l@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0225-6870</p>
<p>Лепилкина Ольга Валентиновна — доктор технических наук, главный научный сотрудник, руководитель отдела физической химии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская обл., Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-910-965-51-61 E-mail: lepilkina_vniims@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2375-3959</p>	<p>Olga V. Lepilkina — doctor of technical sciences, chief researcher, head of the Department of Physical Chemistry, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, 152613, Yaroslavl Region, Uglich, Russia Tel.: +7-910-965-51-61 E-mail: lepilkina_vniims@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2375-3959</p>
<p>Кашникова Ольга Геннадьевна — младший научный сотрудник, отдел физической химии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская обл., Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-962-200-14-15 E-mail: kachnikova@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7557-6835</p>	<p>Olga G. Kashnikova — junior researcher, Department of Physical Chemistry, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, 152613, Yaroslavl Region, Uglich, Russia Tel.: +7-962-200-14-15 E-mail: kachnikova@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7557-6835</p>
Критерии авторства	Contribution
<p>Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат</p>	<p>Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism</p>
Конфликт интересов	Conflict of interest
<p>Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов</p>	<p>The authors declare no conflict of interest</p>