

Volume 4, Issue 3, 2021

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ
ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ
FOOD SYSTEMS

FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS

ISSN 2618-9771 (Print)

ISSN 2618-7272 (On line)

<http://www.fsjour.com>

Национальный, рецензируемый журнал посвящен основным проблемам науки о пищевой промышленности. Основной миссией является: создание, агрегация, поддержка и распространение научного контента в области пищевой промышленности, объединение усилий исследователей научных центров, университетов, преодоление разрыва между изданиями регионального, национального и федерального уровней. Журнал призван освещать актуальные проблемы в пищевой и смежных отраслях, продвигать новые перспективные технологии в широкую аудиторию научных и практических работников, преподавателей, аспирантов, студентов, предпринимателей. Научная концепция издания предполагает публикацию новых знаний в области пищевых систем и научных основ ресурсосберегающих технологий глубокой переработки сельскохозяйственного сырья, прорывных технических решений для производства пищевых продуктов общего и специализированного назначения. В журнале публикуются научные и обзорные статьи, доклады, сообщения, рецензии, краткие научные сообщения (письма в редакцию), информационные публикации по направлениям: технология пищевых производств; процессы, оборудование и аппараты пищевых производств; гигиена питания; биотехнология; стандартизация, сертификация, качество и безопасность; экономика; автоматизация и информатизация технологических процессов. Подробная информация для авторов и читателей представлена на сайте: www.fsjour.com.

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

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

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ
www.fsjour.com

Учредитель, издатель и типография
Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Федеральный научный
центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
109316, Москва, Талалихина, 26

РЕДАКЦИЯ

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Федеральный научный центр
пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
109316, Москва, Талалихина, 26
Тел.: +7-495-676-95-11, доб. 300
e-mail: a.zakharov@fncps.ru

Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре

Регистрационные данные:

ПИ № ФС77-71610 от 13.11.2017

ЭЛ № ФС 77-72022 от 26.12.2017

Издается с 2018 года.

Материалы публикуются на условиях лицензии CC BY 4.0

Цена свободная.

Периодичность — 4 номера в год.

Подписано в печать 30.09.2021.

Дата выхода в свет 10.10.2021.

Тираж 300 экз. Заказ № 374.

ISSN 2618-9771 (Print)

ISSN 2618-7272 (Online)

DOI-prefix: 10.21323/2618-9771

© ФНЦПС, 2021

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Кузнецова Оксана Александровна — Доктор технических наук, Директор, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия,

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Лисицын Андрей Борисович — Доктор технических наук, профессор, Академик РАН, Лауреат Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники, Научный руководитель, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Семенова Анастасия Артуровна — Доктор технических наук, профессор, Заместитель директора, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ:

Горлов Иван Федорович — Доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Научный руководитель, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции», Волгоград, Россия

Замаратская Галия — Кандидат технических наук, доцент, Научный работник, Шведский университет аграрных наук, г. Упсала, Швеция

Настасиевич Иван — Доктор, Адъюнкт-директор, Институт гигиены и технологии мяса, Белград, Сербия

Такеда Широ — Адъюнкт-профессор, Профессор лаборатории науки о пище, Институт ветеринарной медицины, Университет Азабу, Сагамихара, Япония

Просекоев Александр Юрьевич — Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Ректор, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

Горбунова Наталья Анатольевна — Кандидат технических наук, Ученый секретарь, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия

ВЫПУСКАЮЩИЙ РЕДАКТОР:

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Абрамова Любовь Сергеевна — Доктор технических наук, профессор, Заместитель директора Департамента, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

Баженова Баяна Анатольевна — Доктор технических наук, профессор, Профессор кафедры «Технология мясных и консервированных продуктов», Восточно-Сибирский университет технологии и управления, Улан-Удэ, Россия

Галстян Арам Генрихович — Доктор, технических наук, академик РАН, Директор, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности РАН, Москва, 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» Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

Иванкин Андрей Николаевич — Доктор химических наук, профессор, Заведующий кафедрой «Химия», Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, Мытищи, Московская область, Россия

Кочеткова Алла Алексеевна — Доктор технических наук, профессор, Руководитель лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов, 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» Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия

Мирошников Сергей Александрович — Доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Ректор, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

Римарева Любовь Вячеславовна — Доктор технических наук, профессор, Академик РАН, Главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия

Петров Андрей Николаевич — Доктор технических наук, профессор, Академик РАН, Директор, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Видное, Московская область, Россия

Ребозов Максим Борисович — Доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Главный научный сотрудник, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия

Чернуха Ирина Михайловна — Доктор технических наук, профессор, Академик РАН, Заведующий отделом, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия

The national peer reviewed journal is dedicated to the main problems of food science. The main mission is to create, aggregate, support and distribute the scientific content in the field of the food industry, join the efforts of researchers from scientific centers and universities, bridge the gap between publications at the regional, national and federal levels. The journal serves to highlight topical problems in the food and related industries, promote new promising technologies among the wide audience of scientific and practical professionals, lecturers, students, postgraduate students and entrepreneurs. The scientific concept of the journal envisages publication of new knowledge in the field of food systems and scientific foundations of the resource saving technologies for deep processing of agricultural raw materials, breakthrough technical solutions for producing food of general and specialized purpose. The journal publishes scientific and review papers, reports, communications, critical reviews, short scientific communications (letters to the editorial office), information materials concerned with food technology, processes, equipment and apparatus for food production, nutritional hygiene, biotechnology, standardization, certification, quality and safety, economics, automation and informatization of technological processes. The detailed information is given on the site: www.fsjour.com.

**Minister of Science and Higher Education
of the Russian Federation**

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

FOOD SYSTEMS
www.fsjour.com

Founder, Publisher and Printing Office:
Federal State Budgetary Scientific Institution
“V.M. Gorbatov Federal Research Center
for Food Systems of Russian Academy of Sciences”
Talalikhina str. 26, Moscow, Russia, 109316

EDITORIAL OFFICE:

Federal State Budgetary Scientific Institution
“V.M. Gorbatov Federal Research Center
for Food Systems of Russian Academy of Sciences”
Talalikhina str. 26, Moscow, Russia, 109316
Tel.: +7-495-676-95-11 extension 300
e-mail: a.zakharov@fncps.ru

The Journal is registered in the Federal Service on Supervision
in the sphere of communication industry, information
technologies and public communications.

The certificate of registration is
PI № FS 77 – 71610 of 13.11.2017
EL № FS 77 – 72022 of 26.12.2017
Published in 2018.

This work is licensed under a
Creative Commons Attribution 4.0 License
Free price.

Frequency — 4 issues a year.
Signed print 30.06.2021.
Released from press 09.07.2021.
Circulation — 300 copies. Order № 374.

ISSN 2618-9771 (Print)
ISSN 2618-7272 (Online)
DOI-prefix: 10.21323/2618-9771

© FNCPS, 2021

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF:

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

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

Anastasiya A. Semenova, Doctor of technical sciences, Professor, Deputy Director, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

SCIENTIFIC EDITORS:

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

Galia Zamaratskaya, Candidate of technical sciences, docent, Research Worker, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden

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

Takeda Shiro, Associate Professor, Laboratory of Food Science School of Veterinary Medicine, Azabu University, Sagami-hara, Japan

Aleksandr Yu. Prosekov, Doctor of technical sciences, Professor, Corresponding Members of RAS, Rector, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

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

PRODUCTION EDITOR:

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Liubov S. Abramova, Doctor of technical sciences, Professor, Deputy Director of the Department, Russian Federation Research Institute of Fishery and Oceanography, Moscow, Russia

Baiana A. Bazhenova, Doctor of technical sciences, Professor, 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 sciences, Academician of RAS, Director, All-Russian Dairy Research Institute, Moscow, 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”, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

Andrey N. Ivankin, Doctor of Chemical Sciences, Professor, the head of the chair of Chemistry, 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 Research 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, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia

Sergey A. Miroshnikov, Doctor of biological sciences, Professor, corresponding members of RAS, Rector, Orenburg State University, Orenburg, Russia

Liubov V. Rimareva, Doctor of technical sciences, Professor, academician of RAS, Chief Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology — branch Federal Research Centre of nutrition, biotechnology and food safety, Moscow, Russia

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

Maxim B. Rebezov, Doctor of agricultural sciences, Professor, Chief Researcher, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Irina M. Chernukha, Doctor of technical sciences, Professor, Academician of RAS, Head of the Department, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

Болезненко О. П., Асланова М. А., Боро А. Л. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ МЯСНЫЕ ПОЛУФАБРИКАТЫ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПЕЧЕНИ	158
Королев И. А., Творогова А. А., Ситникова П. Б. РАСЧЕТНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИОСКОПИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СМЕСЕЙ ДЛЯ МОРОЖЕНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ	164
Кондратьев Н. Б., Осипов М. В., Руденко О. С., Казанцев Е. В., Калинин Е. С. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ МАРМЕЛАДА	172
Лепилкина О. В., Лепилкина О. Н., Логинова И. Н. РИСУНОК В СЫРАХ: ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ	180
Князева А. С., Устьянов Д. А., Куликовский А. В., Курзова А. А. ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОМЕРОВ АМИНОКИСЛОТ В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ	190
Зверев С. В. ОБЕЗВОЖИВАНИЕ СЕМЯН КОНОПЛИ МЕТОДОМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ МИКРОНИЗАЦИИ	197
Мягконосов Д. С., Смыков И. Т., Абрамов Д. В., Делицкая И. Н., Краюшкина В. Н. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МОЛОКОСВЕРТЫВАЮЩИХ ФЕРМЕНТОВ НА ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЯГКИХ СЫРОВ	204
Самойлов А. В., Сураева Н. М., Зайцева М. В. ОЦЕНКА МИКРОСТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПЕРЕРАБОТАННЫХ ПРОДУКТАХ ИЗ ЗЕЛЕННОГО ГОРОШКА	213
Рубан А. А., Новикова (Захарова) М. В., Костин А. А. ЭФФЕКТИВНАЯ ВЯЗКОСТЬ РАСТВОРОВ ЛЕЦИТИНА И ЭМУЛЬСИЙ ЖИРА ЛИЧИНОК ЧЕРНОЙ ЛЬВИНКИ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЛЕЦИТИНА	220

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-158-163>

Поступила 24.05.2021

Поступила после рецензирования 02.08.2021

Принята в печать 15.08.2021



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

Научная статья

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ МЯСНЫЕ ПОЛУФАБРИКАТЫ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПЕЧЕНИ

Болезненко О. П.¹, Асланова М. А.^{*2}, Боро А. Л.²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки, Москва, Россия

² Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

заболевания печени, мясные полуфабрикаты, нутриентная адекватность, моделирование эксперимента

АННОТАЦИЯ

Диетотерапия играет важную роль в профилактике и лечении неинфекционных, алиментарно-зависимых заболеваний, в том числе заболеваний желчевыводящих путей и хронического поражения печени. В работе сформулированы и формализованы медико-биологические требования к составу и качеству специализированных полуфабрикатов для профилактики и лечения заболеваний печени. С использованием методов компьютерного проектирования разработана и оптимизирована рецептурная композиция специализированного мясного рубленого полуфабриката из конины, нутриентно-адекватного специфике питания людей с заболеваниями печени. Опытная рецептура рубленых полуфабрикатов состоит из конины 2-го сорта, соевой белковой клетчатки, белка соевого изолированного, соевой муки текстурированной, шрота расторопши, яиц куриных, соевого масла, соли, лука, витаминов B₁, B₂, E, солей магния и цинка. Биологическая ценность полученного продукта характеризуется высокими показателями аминокислотной сбалансированности ($C_{\min}=0,99$, $\sigma_c=0,85$, $U=6,27$) и жирнокислотной сбалансированности липидов ($(R_{LH}) I_{1...3}=0,9$ и $(R_{LH}) I_{1...6}=-0,77$). Содержание пищевых волокон, витаминов B₁ и B₂, а также минеральных солей магния и цинка в полуфабрикate соответствует медико-биологическим требованиям. Эффективность разработанного продукта подтверждена в эксперименте на лабораторных мышцах с моделированным циррозом печени. Результаты оценки на лабораторных животных показывают, что разработанный продукт положительно влияет на процессы метаболизма в организме мышей. Коэффициент усвоения белка в группе животных, получавших специализированный продукт, на 25% выше, чем у животных, получавших стандартный общевиарный рацион. Биохимический анализ крови животных показал, что прием разработанного продукта снижает содержание в крови животных билирубина, холестерина, АсАТ, АлАТ на 34,5%, 8,2%, 11,0% и 12,5% соответственно.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по Государственному заданию ФНИ-№ 013.05 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 24.05.2021

Accepted in revised 02.08.2021

Accepted for publication 15.08.2021

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

Original scientific article

SPECIALIZED MEAT SEMI-FINISHED PRODUCTS FOR PREVENTION OF LIVER DISEASES

Olga P. Boleshenko¹, Marietta A. Aslanova^{*2}, Anna L. Bero²

¹ All-Russian Scientific Research Institute for Grain and Products of its Processing, Moscow, Russia

² V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

KEY WORDS:

liver diseases, meat semi-finished products, nutrient adequacy, experimental design

ABSTRACT

Dietetic therapy plays an important role in prevention and treatment of non-communicable, alimentary-dependent diseases including the bile duct diseases and chronic liver injury. The medico-biological requirements for the composition and quality of specialized semi-finished products for prevention and treatment of liver diseases are formulated and formalized in the paper. Using the methods of the computer design, the recipe of the specialized minced meat semi-finished product from horse meat, which is nutrient adequate to specific features of nutrition of patients with liver diseases, was developed and optimized. The experimental recipe of minced semi-finished products consists of horse meat of the second grade, soy protein fiber, soy protein isolate, textured soy flour, milk thistle oil meal, chicken eggs, soybean oil, salt, onion, vitamins B₁, B₂ and E, magnesium and zinc salts. The biological value of the obtained product is characterized by the high indices of the amino acid balance ($C_{\min}=0.99$, $\sigma_c=0.85$, $U=6.27$) and fatty acid balance of lipids ($(R_{LH}) I_{1...3}=0.9$ and $(R_{LH}) I_{1...6}=-0.77$). The content of dietary fibers, vitamins B₁ and B₂ as well as mineral salts of magnesium and zinc in the semi-finished product corresponds to the medico-biological requirements. The effectiveness of the developed product was confirmed in the experiment of the laboratory mice with simulated liver cirrhosis. The results of the assessment on the laboratory animals show that the developed product positively influences the processes of metabolism in the mouse body. The coefficient of protein assimilation in the group of animals fed with the specialized product was 25% higher than in animals received the standard vivarium diet. The biochemical blood analysis showed that intake of the developed product reduced the content of bilirubin, cholesterol, AST and ALT in the animal body by 34.5%, 8.2%, 11.0% and 12.5%, respectively.

FUNDING: The article was published as part of the research topic foundation for scientific research No. 013.05 of the state assignment of the V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of RAS.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Болезненко, О. П. Асланова, М. А. Боро, А. Л. (2021). Специализированные мясные полуфабрикаты для профилактики заболеваний печени. *Пищевые системы*, 4(3), 158-163. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-158-163>

FOR CITATION: Boleshenko, O. P., Aslanova, M. A., Bero, A. L. (2021). Specialized meat semi-finished products for prevention of liver diseases. *Food systems*, 4(3), 158-163. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-158-163>

1. Введение

Ведущая роль в профилактике и лечении неинфекционных, алиментарно-зависимых заболеваний принадлежит метаболической терапии, основу которой составляет диетотерапия. Данный лечебный метод рассматривается в настоящее время в качестве одного из важнейших адаптационно-защитных факторов, способствующих поддержанию полноценного здоровья, нормальному росту и развитию организма, профилактике заболеваний, а также сохранению работоспособности и адаптации организма к неблагоприятным факторам окружающей среды [1].

Продуманная диетическая коррекция играет важную роль в лечении гастроэнтерологических больных, в частности при заболеваниях желчевыводящих путей и хроническом поражении печени.

Лечебное питание при заболеваниях печени должно способствовать восстановлению функционального состояния этого органа, нормализации процессов желчеобразования и выделения желчи печенью, восстановлению нарушенного обмена веществ во всем организме [2,3].

Учитывая чрезвычайно большую роль печени в белковом обмене, необходимо прежде всего обеспечить в оптимальных количествах белковую часть рациона; при этом нужно учитывать, что животные и растительные белки должны включаться в состав потребляемой пищи в равных соотношениях. Большое внимание должно уделяться пищевым волокнам, которые являются действенным профилактическим средством против камнеобразования в желчных путях, полиненасыщенным жирным кислотам, БАВ, а также витаминам группы В, витамину Е, магнию и цинку [4–6].

Однако при современном ритме жизни сложно регулировать уровень потребления всех необходимых пищевых веществ. Поэтому большое значение в вопросах профилактики и лечения заболеваний печени уделяется алиментарной коррекции за счет пищевых продуктов профилактической направленности [7,8].

Целесообразность создания специализированных продуктов на мясной основе обусловлена физиологической необходимостью увеличения квоты животного белка для продуктов, рекомендуемых при заболеваниях печени (1,8–2,0 г белка на кг массы тела), так как высокобелковые диеты способствуют восстановлению нарушенных структур печени и синтезу необходимых ферментов для дезактивации токсинов [9,10].

Наличие в мясном сырье биологически активных веществ широкого спектра физиологического действия определяет функциональные свойства мясного сырья: улучшение общего статуса организма, стимуляцию активности ферментов системы детоксикации и антиоксидантной защиты, а также повышение иммунного потенциала и резистентности [11,12]. Речь идет о таких биологически активных веществах широкого спектра физиологического действия, как пептиды, минеральные вещества (цинк, железо, селен), витамины групп В и D, жирные кислоты).

Учитывая требования к лечебному рациону больных с заболеваниями печени, предпочтительным видом продукта выбраны мясные рубленые полуфабрикаты.

В связи с этим целью работы является разработка состава специализированных рубленых мясных полуфабрикатов, нутриентно адекватных специфике питания людей с заболеваниями печени, а также подтверждение заявленных свойств в результате проведения опытов над животными.

2. Материалы и методы

Теоретические и экспериментальные исследования проведены в ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН.

Объектами исследования являлись модельные композиции рубленых мясных полуфабрикатов и готовые полуфабрикаты для специализированного питания.

Нутриентную адекватность аминокислотного и жирно-кислотного состава модельных композиций полуфабрикатов определяли по методологии академика Липатова Н. Н.

Биологическое исследование проводили на мышах ($n = 30$) весом $25,87 \pm 0,03$ г. Содержание животных и все манипуляции с ними осуществляли в условиях вивария в строгом соответствии с ГОСТ 33216–2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами».

Мышей произвольно распределили на две группы: контрольная (группа 1, $n = 10$), в которой животные не подвергались моделированию экспериментального цирроза печени и потребляли на протяжении всего эксперимента стандартный общевиварный рацион (далее — контроль); и опытная группа, где мыши подвергались моделированию экспериментального цирроза печени ($n = 20$).

Моделирование осуществлялось путем введения в рацион мышей жирной и острой пищи с добавлением алкоголя в течение 14 суток. По окончании 14 суток мыши, подвергнутые моделированию экспериментального цирроза печени, были распределены на 2 группы:

- опытные животные (группа 2, $n = 10$), которым в течение 14 суток ежедневно вводили общевиварный рацион;
- опытные животные (группа 3, $n = 10$), которым в течение 14 суток ежедневно вводили специализированный продукт.

Стандартный рацион вивария содержал 12% казеиновых белков, 72% растворимых углеводов, жировую композицию, состоящую из насыщенных и полиненасыщенных жирных кислот (11,5%); также в рацион входили жирорастворимые и водорастворимые витамины в количестве 1,0 и 0,1% соответственно и 4,0% минеральных веществ. В процессе эксперимента мышей содержали в клетках типа IV S (Tecniplast, Италия) по 5 голов при стандартных условиях вивария: температуре (20 ± 3) °C, влажности (48 ± 2)%, освещении режима «день/ночь» (с 6.00 до 18.00), а также при свободном доступе к воде и корму.

Перед началом исследования, а затем по окончании исследования животных взвешивали на лабораторных электронных весах (Adventurer Pro AV2101, США).

Мышей усыпляли в камере (VetTech, Великобритания) на 29-е сутки эксперимента и после эвтаназии проводили отбор крови из сердца.

Эксперимент на животных, включая их содержание и все манипуляции, осуществляли с соблюдением Приказа МЗ РФ (№ 267 от 19.06.2003 «Об утверждении правил лабораторной практики», а также Директив Европейского сообщества 86/609ЕЕС. Исследование одобрено биоэтической комиссией ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (протокол № 01/2019 от 09.05.2019).

Биохимический анализ крови животных включал: билирубин, аспартат-аминотрансферазу (АсАт), аланинаминотрансферазу (АлАт), щелочную фосфатазу (ЩФ), холестерин.

Статистический анализ проводили с использованием программы STATISTICA 10. Статистическая достоверность рассчитывалась с применением Н-критерия Краскела-Уоллеса. Вероятность 0,05 была выбрана в качестве значимого уровня.

3. Результаты и обсуждение

Разработка медико-биологических требований (МБТ) к составу и качеству специализированных рубленых полуфабрикатов для профилактики заболеваний печени осуществлялась на основе концепции сбалансированного и функционального питания, норм физиологической потребности в пищевых веществах и энергии для людей, страдающих заболеваниями ЖКТ, а также на основе общих требований, предъявляемых

к построению диетического рациона для пациентов с заболеваниями. В соответствии с этими требованиями продукт на мясной основе для профилактики заболеваний печени должен способствовать регенерации гепатоцитов благодаря поступлению в организм недостающих питательных веществ, особенно протеинов. Данный процесс обеспечивается сочетанием животного и растительного белка, его сбалансированностью по аминокислотному составу, ограничением энергетической ценности, холестерина и оптимальным жировым составом. Полуфабрикаты должны быть обогащены витаминами группы В, минеральными веществами, полиненасыщенными жирными кислотами, пищевыми волокнами и др. специфическими ингредиентами, способствующими профилактике или сведению к минимуму тяжести таких осложнений, как печеночная энцефалопатия [13].

В Таблице 1 представлены формализованные медико-биологические требования по допустимым уровням содержания основных пищевых веществ.

Таблица 1

Научно обоснованные рекомендации по специализированному продукту

Показатель	% от суточной потребности	Содержание в 100 г продукта
Белок, г	15–20	12–16
Жир, г	15–22	10–14
Пищевые волокна, г		4,5–9,0
В ₁ , мг	15–30	0,21–0,42
В ₂ , мг		0,24–0,48
Е, мг		1,50–3,00
Магний, мг		60,0–120,0
Цинк, мг		2,25–4,50

Согласно сформулированным требованиям, белковая составляющая рубленых полуфабрикатов должна сочетать белок животного и растительного происхождения, так как при этом достигается более выраженный гипохолестеринемический эффект.

В качестве источника животного белка в продукте использована конина, которая характеризуется высоким содержанием полноценного белка, сравнимого с говяжьим [14,15].

В качестве данного нутриента растительного происхождения использованы продукты переработки соевых бобов (концентрат, изолят) с большим содержанием изофлавонов, которые обуславливают гиполипидемическое, антиоксидантное, гипотензивное действие [16,17].

Жировой компонент формируется жиром конины, который характеризуется высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот (15,8–18,4%), обладающих выраженным желчегонным действием, и соевого масла как источника ПНЖК [18,19].

Выбор конины в качестве сырья для специализированных рубленых полуфабрикатов обусловлен ее пищевыми характеристиками, такими как высокое содержание полноценного белка, низкое содержание жира и холестерина. Существуют данные, подтверждающие эффективность включения конины в варианты субкалорийных диет, применяемых в лечении обменно-алиментарного ожирения, жировой дистрофии печени и хронического персистирующего гепатита [20]. За счет высокого содержания полноценного белка, а также биологически активных веществ, определяющих выраженные липотропные и желчегонные свойства конины, применение этого вида сырья вызывает значительную редукцию массы тела больных, оказывает положительное воздействие на обменные процессы и улучшает функциональное состояние печени [21,22].

Источником пищевых волокон являлись соевая белковая клетчатка и шрот расторопши пятнистой, обладающей также гепатопротекторным действием. Гепатопротекторные и гепа-

тозащитные свойства расторопши обусловлены содержанием в ней редких биологически активных веществ — флаволигнанов (силибинин, силимарин, силикристины силидианина, изосилибинина, дегидросилибинина и др.), которые благодаря наличию фенольной структуры в молекуле взаимодействуют с активными формами кислорода и другими свободными радикалами. Флаволигнаны способны ингибировать перекисное окисление липидов, стабилизировать структуру и улучшать функцию мембран гепатоцитов [23,24,25].

Продукт должен быть дополнительно обогащен витамином В₁, участвующем в выведении излишка липидов из печени, в синтезе белков, жиров и углеводов и в восстановлении клеточных структур; витамином В₂, стимулирующем секрецию желчи, ускоряющем восстановительные процессы в клетках печени и участвующем в образовании гликогена; витамином Е, обеспечивающем целостность клеточных мембран печени и стимулирующем синтез долихолов (клеток, ускоряющих регенерацию гепатоцитов). Введение магния и цинка способствует очищению печени от токсинов [26,27].

С учетом этих требований при компьютерном моделировании белкового компонента белок конины комбинировали с соевым белком в соотношении, обеспечивающем наилучшие показатели биологической ценности. Корректировку жирнокислотного состава моделей смеси проводили с целью увеличения содержания полиненасыщенных жирных кислот путем комбинирования жира конины с соевым маслом. В результате были получены соотношения компонентов, которые оценивали по показателям аминокислотной и жирнокислотной сбалансированности, и выбран вариант композиции, наиболее приближенной к эталону, который представлен в Таблице 2.

Таблица 2

Показатели аминокислотной сбалансированности белка и жирнокислотной сбалансированности жира рецептурных композиций полуфабрикатов

Показатели	Норма	Рубленый полуфабрикат
Содержание белка, г/100 г продукта	12,0–16,0	15,5
Минимальный скор, дол.ед. (C _{min})	→1	0,99
Коэффициент утилитарности, дол.ед. (σ _c)	→1	0,85
Коэффициент сопоставимой избыточности, г/100 г белка (U)	→0	6,27
Содержание жира, г/100 г продукта	12,0–14,0	13,38
НЖК	30,00	36,69
МНЖК	60,00	45,94
ПНЖК	10,00	9,75
в том числе:		
Линолевая	7,5	8,68
Линоленовая	1,0	0,68
Арахидоновая	1,5	0,39
Коэффициент жирнокислотной сбалансированности, дол. ед. (R _ц)	I = 1...3 →1	0,9
	I = 1...6 →1	0,77

Анализ нутриентной адекватности рецептурной композиции свидетельствует о высокой биологической ценности, характеризующейся высоким скором и коэффициентом утилитарности белка, что позволяет предположить рациональность использования предлагаемой рецептуры. Коэффициент жирнокислотной сбалансированности также имеет высокие показатели — RLi = (1...3) = 0,9 и RLi = (1...6) = 0,77.

На основании оптимизированной по аминокислотному и жирнокислотному составу композиции разработана опытная рецептура рубленых полуфабрикатов, состоящая из конины, соевой белковой клетчатки, белка соевого изолированного, соевой муки текстурированной, шрота расторопши, яиц куриных, соевого масла, соли, лука, витаминов В₁, В₂, Е, солей магния и цинка.

Для производства специализированных рубленых мясных полуфабрикатов в качестве базовой была выбрана существующая технологическая схема производства рубленых полуфабрикатов с введением дополнительных операций, касающихся подготовки витаминов, минеральных солей и расторопши пятнистой.

Полуфабрикат был исследован на определение массовой доли пищевых волокон, витаминов и минеральных солей. Результаты исследований приведены в Таблице 3.

Таблица 3

Витаминно-минеральный состав специализированного продукта

Показатель	Содержание в 100 г продукта	МБТ
Пищевые волокна, г	8,7 ± 0,8	4,5–9,0
В ¹ , мг	0,32 ± 0,03	0,21–0,42
В ₂ , мг	0,41 ± 0,04	0,24–0,48
Е, мг	2,91 ± 0,3	1,50–3,00
Магний, мг	102,97 ± 10,30	60,0–120,0
Цинк, мг	3,97 ± 0,41	2,25–4,50

Полученные данные показали, что по своему витаминно-минеральному составу и содержанию пищевых волокон полуфабрикат, изготовленный по разработанной рецептуре, соответствует медико-биологическим требованиям.

Эффективность разработанного продукта подтверждена в эксперименте на лабораторных мышцах с моделированным циррозом печени.

Результаты исследования коэффициента усвоения белка свидетельствуют о его повышении в группе животных, получавших специализированный продукт, что говорит о положительном влиянии разработанного продукта на процессы метаболизма в организме мышей (Таблица 4).

Таблица 4

Биологическая ценность продукта в опытах на животных

Показатели	Группа 1		Группа 2		Группа 3	
	М	С	М	С	М	С
Потребление белка, г	1,18 ^а	0,1	1,18 ^б	0,1	1,25 ^с	0,1
Прирост массы тела, г	2,87 ^а	0,1	1,65 ^б	0,1	2,18 ^с	0,1
КЭБ	2,43 ^а	0,1	1,39 ^б	0,1	1,74 ^с	0,1

Примечание: различные строчные буквы (а, б, с) обозначают значительную разницу между полученными значениями у различных групп животных ($p < 0,05$). М — среднее значение показателя, С — среднеквадратичное отклонение.

Исследования биохимических показателей крови мышей представлены в Таблице 5.

Таблица 5

Биохимические показатели крови опытных мышей

Показатели	Группы животных					
	Группа 1 (контроль)		Группа 2		Группа 3	
	М	С	М	С	М	С
Билирубин, мг/дл	0,28 ^а	0,01	0,84 ^б	0,02	0,55 ^с	0,01
АсАТ, мккат/л	0,90 ^а	0,02	1,24 ^б	0,03	1,11 ^с	0,04
АлАТ, мккат/л	0,55 ^а	0,01	0,88 ^б	0,02	0,77 ^с	0,02
Холестерин, ммоль/л	2,44 ^а	0,073	3,53 ^б	0,08	3,24 ^с	0,09
АсАТ/АлАТ	1,6		1,4		1,5	

Примечание: различные строчные буквы (а, б, с) обозначают значительную разницу между полученными значениями у различных групп животных ($p < 0,05$). М — среднее значение показателя, С — среднеквадратичное отклонение.

Полученные результаты свидетельствуют, что у мышей 2 группы, в сравнении с контрольной группой, отмечается повышение в крови билирубина и холестерина на 66,6% и 30,8% соответственно. Также значительно увеличивается активность ферментов АсАТ и АлАТ на 27,4% и 37,5% соответственно. Полученные данные свидетельствуют о повреждаемости печени у мышей 2 группы.

Введение в рацион животных специализированного продукта (группа 3) приводит к изменению ряда лабораторных биохимических показателей функционирования печени, что отражается на снижении билирубина, холестерина, АсАТ, АлАТ на 34,5%, 8,2%, 11,0% и 12,5% соответственно в сравнении со 2 группой. Однако, в отличие от показателей контрольной группы мышей, в крови животных 3 группы отмечено повышение билирубина, холестерина, активности ферментов АсАТ и АлАТ на 49%, 24%, 18,9%, 24,6% соответственно.

Информативным также оказался коэффициент де Ритиса: отношение активности АсАТ к активности АлАТ. У здоровых мышей он равен 1,63, а после скармливания мышам жирной и острой пищи с добавлением алкоголя указанный коэффициент значительно снизился и составил 1,43. Полученные данные свидетельствуют о значительной повреждаемости печени у мышей 2 группы. Под влиянием исследуемого профилактического продукта у мышей 3 группы коэффициент де Ритиса увеличился в среднем до 1,5, что может свидетельствовать о меньшем повреждении печени.

Полученные данные вносят теоретический вклад в концепцию здорового питания и показывают, что включение в рацион специализированного продукта на основе конины, обогащенного расторопшей, витаминами В₁, В₂, Е, магнием и цинком может быть полезно для коррекции рациона больных с хроническим поражением печени.

4. Выводы

С учетом метаболических особенностей людей при заболеваниях желчевыводящих путей и хроническом поражении печени сформулированы и формализованы медико-биологические требования к составу и качеству мясных полуфабрикатов для профилактики вышеназванной патологии.

С использованием методов компьютерного проектирования разработана и оптимизирована рецептурная композиция мясного полуфабриката, включающая конину второго сорта, соевые белки, шрот расторопши, масло соевое. Данный состав имеет высокую биологическую ценность, характеризуемую показателями аминокислотной сбалансированности ($C_{\min} = 0,99$, $\sigma_c = 0,85$, $U = 6,27$) и жирнокислотной сбалансированности липидов ($(R_{Li}) I = 1...3 = 0,9$ и $(R_{Li}) I = 1...6 = -0,77$).

Результаты оценки на лабораторных животных показывают, что разработанный продукт положительно влияет на процессы метаболизма в организме мышей. Установлено, что на фоне приема разработанного продукта у животных 3 опытной группы, по сравнению со 2 группой, отмечается снижение билирубина, холестерина, АсАТ, АлАТ на 34,5%, 8,2%, 11,0% и 12,5% соответственно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Асланова, М.А., Деревикская, О.К., Дыдыкин, А.С. (2018). Функциональные мясные продукты: проблемы и перспективы. *Мясная индустрия*, 3, 38–42.
2. Погожева, А.В. (2018). Основные принципы лечебного питания при заболеваниях системы пищеварения. *Медицинский оппонент*, 3, 36–41.
3. Каганов, Б.С., Шарафетдинов, Х.Х. (2015). Лечебное питание при заболеваниях гепатобилиарной системы. *Вопросы диетологии*, 5(3), 5–12.
4. Bischoff, S. C., Bernal, W., Dasarathy, S., Merli, M., Plank, L. D., Schütz, T. et al. (2020). ESPEN practical guideline: Clinical nutrition in liver disease. *Clinical Nutrition*, 39(12), 3533–3562. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.09.001>
5. Андреев, Д.Н., Маев, И.В., Дичева, Д.Т., Кузнецова, Е.И. (2017). Диагностика и лечение неалкогольной жировой болезни печени: обзор Европейских рекомендаций 2016 года. *Consilium Medicum*, 19(8), 8–13. http://doi.org/10.26442/2075-1753_19.8.8-13
6. Miller, E. F. (2020). Nutrition Management Strategies for Nonalcoholic fatty liver disease: Treatment and prevention. *Clinical Liver Disease*, 15(4), 144–148. <http://doi.org/10.1002/cld.918>
7. Воробьева, В.М., Воробьева, И.С., Морозов, С.В., Сасунова, А. Н., Кочеткова, А.А., Исаков, В.А. (2021). Специализированные пищевые продукты для диетической коррекции рациона больных с неалкогольным стеатогепатитом. *Вопросы питания*, 90(2), 100–109. <https://doi.org/10.33029/0042-8835-2021-90-2-100-109>
8. Пилат, Т.Л., Кузьмина, Л.П., Лашина, Е.Л., Коляска, М.М., Безрукавникова, Л.М., Бессонов, В.В. и др. (2020). Опыт применения специализированного пищевого продукта диетического лечебного и диетического профилактического питания при воспалительных заболеваниях желудочнокишечного тракта. *Медицинский совет*, 4, 107–113. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2020-4-107-113>
9. Успенский, Ю.П., Балукова, Е.В. (2017). Неалкогольная жировая болезнь печени: современные перспективы терапии. *Медицинский алфавит*, 3(27(324)), 25–32.
10. Puri, P., Dhiman, R. K., Taneja, S., Tandon, P., Merli, M., Anand, A. C. et al. (2021). Nutrition in chronic liver disease: Consensus statement of the indian national association for study of the liver. *Journal of Clinical and Experimental Hepatology*, 11(1), 97–143. <https://doi.org/10.1016/j.jceh.2020.09.003>
11. Дыдыкин, А.С., Асланова, М.А. (2015). Функциональные продукты на мясной основе. *Все о мясе*, 6, 28–29.
12. Лисицын, А.Б., Сизенко, Е.И., Чернуха, И.М., Алексахина, В.А., Семенова, А.А., Дурнев, А.Д. (2007). Мясо и здоровое питание. Москва: ВНИИМП. — 289 с. ISBN 5-901768-18-3
13. García, M. P. M. (2011). Nutritional support in the treatment of chronic hepatic encephalopathy. *Annals of Hepatology*, 10(SUPPL. 2), S45–S49. [https://doi.org/10.1016/S1665-2681\(19\)31606-0](https://doi.org/10.1016/S1665-2681(19)31606-0)
14. Badiani, A., Nanni, N., Gatta, P. P., Tolomelli, B., Manfredini, M. (1997). Nutrient profile of Horsemeat¹. *Journal of Food Composition and Analysis*, 10(3), 254–269. <https://doi.org/10.1006/jfca.1997.0540>
15. Намсараева, З.М., Хамаганова, И.В., Дамдинова, Т.Ц. (2021). Технология приготовления функционального продукта из конины в соусе. *Техника и технология пищевых производств*, 51(1), 77–85. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-77-85>
16. Гаврилов, А.Ф., Жуликов, В.О. (2009). Функциональные свойства соевых бобов как основные потребительские характеристики продуктов их переработки. *Техника и технология пищевых производств*, 2(13), 16–19.
17. Чернова, А.В., Шилина, А.А., Титова, И.М. (13–14 ноября, 2014). Идентификация антиоксидантной активности изофлавонов сои в рыбных кулинарных полуфабрикатах высокой степени готовности. В сборнике: Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение. Воронеж, Россия.
18. Sarriés, M. V., Murray, B. E., Troy, D., Beriain, M. J. (2006). Intramuscular and subcutaneous lipid fatty acid profile composition in male and female foals. *Meat Science*, 72(3), 475–485. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.08.014>
19. Lanza, M., Landi, C., Scerra, M., Galofaro, V., Pennisi, P. (2009). Meat quality and intramuscular fatty acid composition of sanfratellano and haflinger foals. *Meat Science*, 81(1), 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.07.008>
20. Lorenzo, J. M., Sarriés, M. V., Tateo, A., Polidori, P., Franco, D., Lanza, M. (2014). Carcass characteristics, meat quality and nutritional value of horsemeat: A review. *Meat Science*, 96(4), 1478–1488. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.12.006>
21. Lorenzo, J. M., Pateiro, M. (2013). Influence of type of muscles on nutritional value of foal meat. *Meat Science*, 93(3), 630–638. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.11.007>
22. Franco, D., Rodríguez, E., Purriños, L., Crecente, S., Bermúdez, R., Lorenzo, J. M. (2011). Meat quality of "galician mountain" foals breed. effect of sex, slaughter age and livestock production system. *Meat Science*, 88(2), 292–298. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.01.004>
23. Баева, В.М. (2004). Расторопши семена — Sylibi semen. Лечение растениями: основы фитотерапии: учебное пособие. М.: Астрель, 2004. ISBN 5-17-023217-9
24. Рамазанов, А.Ш., Балаева, Ш.А., Шахбанов, К.Ш. (2019). Химический состав плодов и масла расторопши пятнистой, произрастающей на территории республики Дагестан. *Химия растительного сырья*, 2, 113–118. <https://doi.org/10.14258/jcpr.2019024441>
25. Рамазанов, А.Ш., Балаева, Ш.А. (2020). Аминокислотный состав плодов расторопши пятнистой, произрастающей на территории республики Дагестан. *Химия растительного сырья*, 3, 215–223. <https://doi.org/10.14258/jcpr.2020036434>
26. Merli, M., Berzigotti, A., Zelter-Sagi, S., Dasarathy, S., Montagnese, S., Genton, L. (2019). EASL clinical practice guidelines on nutrition in chronic liver disease. *Journal of Hepatology*, 70(1), 172–193. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2018.06.024>
27. Zhao, M., Chen, S., Ji, X., Shen, X., You, J., Liang, X. et al. (2021). Current innovations in nutraceuticals and functional foods for intervention of non-alcoholic fatty liver disease. *Pharmacological Research*, 166, 105517. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2021.105517>

REFERENCE

1. Aslanova, M.A., Derevitskaya, O.K., Dydykin, A.S. (2018). Functional meat products: problems and prospects. *Meat Industry*, 3, 38–42. (In Russian)
2. Pogozheva, A.V. (2018). The basic principles of clinical nutrition in diseases of the digestive system. *Medical Opponent*, 3, 36–41. (In Russian)
3. Kaganov, B.S., Sharafetdinov, Kh. Kh. (2015). Diet therapy in diseases of the hepatobiliary system. *Nutrition*, 5(3), 5–12. (In Russian)
4. Bischoff, S. C., Bernal, W., Dasarathy, S., Merli, M., Plank, L. D., Schütz, T. et al. (2020). ESPEN practical guideline: Clinical nutrition in liver disease. *Clinical Nutrition*, 39(12), 3533–3562. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.09.001>
5. Andreev, D.N., Maev, I.V., Dicheva, D.T., Kuznetsova, E.I. (2017). Diagnosis and treatment of non-alcoholic fatty liver disease: a review of European guidelines in 2016. *Consilium Medicum*, 19(8), 8–13. http://doi.org/10.26442/2075-1753_19.8.8-13 (In Russian)
6. Miller, E. F. (2020). Nutrition Management Strategies for Nonalcoholic fatty liver disease: Treatment and prevention. *Clinical Liver Disease*, 15(4), 144–148. <http://doi.org/10.1002/cld.918>
7. Vorobyeva, V.M., Vorobyeva, I.S., Morozov, S.V., Sasunova, A.N., Kochetkova, A.A., Isakov, V.A. (2021). Specialized products for dietary correction of the diet of patients with non-alcoholic steatohepatitis. *Problems of Nutrition*, 90(2), 100–109. <https://doi.org/10.33029/0042-8835-2021-90-2-100-109> (In Russian)
8. Pilat, T.L., Kuzmina, L.P., Lashina, E.L., Kolyaskina, M.M., Bezrukavnikova, L.M., Bessonov, V.V. et al. (2020). Experience of application of specialized food product of dietary therapeutic and dietary preventive nutrition in case of inflammatory diseases of gastrointestinal tract. *Medical Council*, 4, 107–113. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2020-4-107-113> (In Russian)
9. Uspensky, Yu. P., Balukova, E.V. (2017). Non-alcoholic fatty liver disease: current therapeutic prospects. *Medical Alphabet*, 3(27(324)), 25–32. (In Russian)
10. Puri, P., Dhiman, R. K., Taneja, S., Tandon, P., Merli, M., Anand, A. C. et al. (2021). Nutrition in chronic liver disease: Consensus statement of the indian national association for study of the liver. *Journal of Clinical and Experimental Hepatology*, 11(1), 97–143. <https://doi.org/10.1016/j.jceh.2020.09.003>
11. Dydykin, A.S., Aslanova, M.A. (2015). Functional products on a meat basis. *Vsyo o myase*, 6, 28–29. (In Russian)
12. Lisitsyn, A.B., Sizenko, E.I., Chernukha, I.M., Aleksakhina, V.A., Semenova, A.A., Durnev, A.D. (2007). Meat and healthy food. Moscow: VNIIMP. — 289 p. ISBN 5-901768-18-3 (In Russian)
13. García, M. P. M. (2011). Nutritional support in the treatment of chronic hepatic encephalopathy. *Annals of Hepatology*, 10(SUPPL. 2), S45–S49. [https://doi.org/10.1016/S1665-2681\(19\)31606-0](https://doi.org/10.1016/S1665-2681(19)31606-0)
14. Badiani, A., Nanni, N., Gatta, P. P., Tolomelli, B., Manfredini, M. (1997). Nutrient profile of Horsemeat¹. *Journal of Food Composition and Analysis*, 10(3), 254–269. <https://doi.org/10.1006/jfca.1997.0540>
15. Namsaraeva, Z. M., Khamaganova, I. V., Damdinova, T. Ts. (2021). New functional product from horsemeat in sauce. *Food processing: techniques and technology*, 51(1), 77–85. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-77-85> (In Russian)
16. Gavrilov, A.F., Zhulikov, V.O. (2009). Functional properties of soybeans as the basic consumer characteristics of products of their processing. *Food processing: techniques and technology*, 2(13), 16–19. (In Russian)
17. Chernova, A.V., Shilina, A.A., Titova, I.M. (2014, 13–14 November). Identification of the antioxidant activity of soy isoflavones in high-readiness fish culinary semi-finished products. In the collection: Food security: scientific, personnel and information support. Voronezh, Russia. (In Russian)
18. Sarriés, M. V., Murray, B. E., Troy, D., Beriain, M. J. (2006). Intramuscular and subcutaneous lipid fatty acid profile composition in male and female foals. *Meat Science*, 72(3), 475–485. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.08.014>

19. Lanza, M., Landi, C., Scerra, M., Galofaro, V., Pennisi, P. (2009). Meat quality and intramuscular fatty acid composition of sanfratellano and haflinger foals. *Meat Science*, 81(1), 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.07.008>
20. Lorenzo, J. M., Sarriés, M. V., Tateo, A., Polidori, P., Franco, D., Lanza, M. (2014). Carcass characteristics, meat quality and nutritional value of horse-meat: A review. *Meat Science*, 96(4), 1478–1488. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.12.006>
21. Lorenzo, J. M., Pateiro, M. (2013). Influence of type of muscles on nutritional value of foal meat. *Meat Science*, 93(3), 630–638. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.11.007>
22. Franco, D., Rodríguez, E., Purriños, L., Crecente, S., Bermúdez, R., Lorenzo, J. M. (2011). Meat quality of “galician mountain” foals breed. effect of sex, slaughter age and livestock production system. *Meat Science*, 88(2), 292–298. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.01.004>
23. Baeva, V.M. (2004). Milk thistle seeds-Sylibi seed. Treatment with plants: the basics of phytotherapy: a textbook. Moscow: Astrel, 2004. ISBN 5–17–023217–9 (ACT). (In Russian)
24. Ramazanov, A. Sh., Balaeva, Sh. A., Shakhbanov, K. Sh. (2019). CHEMICAL composition of fruit and oil silybum marianum, growing in the territory of the Republic of Dagestan. *Khimija rastitel'nogo syr'ja*, 2, 113–118. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019024441> (In Russian)
25. Ramazanov, A. Sh., Balaeva, Sh. A., (2020). Amino acid composition of fruits silybum marianum, growing in the territory of the Republic of Dagestan. *Khimija rastitel'nogo syr'ja*, 3, 215–223. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020036434>
26. Merli, M., Berzigotti, A., Zelber-Sagi, S., Dasarathy, S., Montagnese, S., Genton, L. (2019). EASL clinical practice guidelines on nutrition in chronic liver disease. *Journal of Hepatology*, 70(1), 172–193. <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2018.06.024>
27. Zhao, M., Chen, S., Ji, X., Shen, X., You, J., Liang, X. et al. (2021). Current innovations in nutraceuticals and functional foods for intervention of non-alcoholic fatty liver disease. *Pharmacological Research*, 166, 105517. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2021.105517>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Болезенко Ольга Петровна — кандидат технических наук, заместитель директора, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки 127434, Москва, Дмитровское шоссе, 11 Тел.: +7-499-976-30-35 E-mail: boleshenko@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3872-4699 Асланова Мариэтта Арутюновна — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель направления технологии продуктов функционального и социального питания, отдел функционального и специализированного питания, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-95-11 E-mail: m.aslanova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2831-4864 * автор для контактов Беро Анна Леонтьевна — кандидат технических наук, научный сотрудник, отдел функционального и специализированного питания, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-95-11 E-mail: a.bero@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8521-5155	Olga P. Boleshenko — candidate of technical sciences, deputy director, All-Russian Scientific Research Institute of Grain and Products of Its Processing 11, Dmitrovskoe shosse, 127434, Moscow, Russia Tel.: +7-499-976-30-65 E-mail: boleshenko@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3872-4699 Marietta A. Aslanova — candidate of technical sciences, leading scientific worker, Direction of the technology of functional and social nutrition products, Department of functional and specialized nutrition, V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-95-11 E-mail: m.aslanova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2831-4864 * corresponding author Anna L. Bero — candidate of technical sciences research associate, Department of functional and specialized nutrition, V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-95-11 E-mail: a.bero@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8521-5155
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/10.21323/2618-9771-2021-4-3-164-171>

Поступила 23.07.2021

Поступила после рецензирования 06.09.2021

Принята в печать 25.09.2021



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

Научная статья

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИОСКОПИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СМЕСЕЙ ДЛЯ МОРОЖЕНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

Королев И. А.*, Творогова А. А., Ситникова П. Б.

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

сахара, наполнители,
молекулярная масса,
криоскопическая
температура,
мороженое

АННОТАЦИЯ

В настоящее время развивается производство мороженого функциональной направленности, и в связи с этим происходит корректировка традиционного состава продукта. При замене низкомолекулярных нутриентов (сахарозы, лактозы и минеральных солей сухого обезжиренного молочного остатка) на технологически функциональные нутриенты изменяется криоскопическая температура, влияющая на параметры процесса производства, в частности на температуру выгрузки мороженого из фризера. В связи с этим актуальной стала проблема расчета криоскопической температуры смесей для мороженого, поскольку экспериментально определить этот показатель на всех предприятиях не представляется возможным. При выполнении расчетов криоскопических температур на основе существующих справочных данных в некоторых случаях авторами наблюдалось существенное (более 0,5 °C) отклонение результатов расчетов и эксперимента. С целью установления причины указанных отклонений авторами исследованы водные растворы сахарозы, фруктозы, трегалозы, эритрита, мальтодекстрина, полидекстрозы, сорбита, глюкозно-фруктозного сиропа, сухого глюкозного сиропа, а также инулина с концентрациями, обеспечивающими значения криоскопических температур растворов в диапазоне от 0 °C до минус 6 °C. С использованием осмометра-криоскопа выполнено измерение криоскопической температуры растворов, и на основе соотношения Рауля проведен расчет средних молекулярных масс веществ с учетом содержащихся в них высокомолекулярных веществ и примесей (условных молекулярных масс). Показано, что значения условной молекулярной массы для трегалозы и сорбита более чем на 15% отличаются от значений химически чистых веществ по причине наличия низкомолекулярных мономеров в их составе. Представленные экспериментальные данные по значениям условной молекулярной массы могут быть использованы при расчетах криоскопической температуры различных видов смесей для изготовления мороженого. В качестве примера применения полученных уточненных значений условных молекулярных масс приводится процедура расчета криоскопической температуры мороженого с пониженным содержанием сахарозы и без сахарозы, а также сравнение результатов вычислений с экспериментальными данными.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по Государственному заданию ФНИ-№ 013.05 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук, тема № 0585–2019–0043–С-01.

Received 23.07.2021

Accepted in revised 06.09.2021

Accepted for publication 25.09.2021

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

Original scientific article

IMPROVEMENT OF THE COMPUTATIONAL METHOD FOR DETERMINING THE CRYOSCOPIC TEMPERATURE OF FUNCTIONAL ICE CREAM MIXTURES

Igor A. Korolev*, Antonina A. Tvorogova, Polina B. Sitnikova

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

KEY WORDS:

sugars, fillers, molecular weight,
cryoscopic temperature, ice cream

ABSTRACT

Nowadays the functional ice cream production keeps developing. Due to that the traditional composition of the ice cream is amended. In case of substitution of the low molecular weight nutrients (sucrose, lactose and mineral salts of dry skimmed milk residue) with technologically functional nutrients, it changes the cryoscopic temperature, which influences the parameters of production process, in particular the temperature of the ice cream getting from the freezer. In this regard, the problem of calculating the cryoscopic temperature of ice cream mixtures has become acute, since it is not possible to find this parameter experimentally at all food enterprises. While calculating the cryoscopic temperatures on the basis of existing reference data, in some cases the authors encountered a significant (more than 0.5 °C) deviation of the calculation results from the experimental data. In order to establish the cause of these deviations, the authors analyzed aqueous solutions of sucrose, fructose, trehalose, erythritol, maltodextrin, polydextrose, sorbitol, glucose-fructose syrup, dry glucose syrup, inulin in concentrations that provide for the cryoscopic temperatures of solutions within the range from 0 °C to minus 6 °C. The cryoscopic temperature of the solutions was measured by an osmometer-cryoscope, and the conventional molecular weight

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Королев, И. А., Творогова, А. А., Ситникова, П. Б. (2021). Совершенствование расчетного метода определения криоскопической температуры смесей для мороженого функциональной направленности. *Пищевые системы*, 4(3), 164–171. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-164-171>

FOR CITATION: Korolev, I. A., Tvorogova, A. A., Sitnikova, P. B. (2021). Improvement of the computational method for determining the cryoscopic temperature of functional ice cream mixtures. *Foodsystems*, 4(3), 164–171. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-164-171>

of the substances was calculated on the basis of Raoult ratio, taking into account the high molecular weight substances and admixed impurities. It was shown that the values of the conventional molecular weight for trehalose and sorbitol solutions differ by more than 15% from the values of chemically pure substances due to presence of low molecular weight monomers in their composition. The presented experimental data on the conventional molecular weight values can be used for calculation of cryoscopic temperature of various types of mixtures used for ice cream production. As an example of application of obtained clarified values of conventional molecular weights, this article provides a method for calculation of cryoscopic temperature of low sucrose and sucrose-free ice cream mixtures, as well as a comparison of the calculation results with experimentally obtained data.

FUNDING: The article was published as part of the research topic foundation for scientific research No. 013.05 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, topic No. 0585–2019–0043-C-01.

1. Введение

Мороженое и замороженные десерты представляют собой сложную многофазную систему, образованную целым рядом истинных (сахара и соли) и коллоидных (белки растительного и животного происхождения и гидроколлоиды) водных растворов, а также эмульсий содержащихся в составе продукта жиров [1]. Основным структурообразующим компонентом в смесях мороженого является вода, доля которой достигает 65–70%. На органолептические, структурно-механические и микроструктурные показатели качества мороженого оказывают значительное влияние как состав, так и технологии приготовления [2].

Рост случаев заболевания сахарным диабетом второго типа, а также количества людей с избыточным весом диктует новые условия производителям и технологам. Современные тенденции в области здорового питания направлены на создание технологий мороженого со сниженным содержанием жиров и сахарозы [3,4]. В настоящее время весьма актуальной задачей является замена сахарозы в мороженом функциональной направленности. Массовая доля сахарозы среди сухих веществ в традиционном мороженом достигает 35–55%. Для замены сахарозы по сладости и сухому веществу используют различные сахара: фруктозу и трегалозу, а также композиции сахаров в составе глюкозно-фруктозных сиропов, сухие глюкозные сиропы, пищевые волокна (инулин и др.) и другие ингредиенты [5,6]. Сахароза, являясь дисахаридом, оказывает значимое влияние на криоскопическую температуру и долю вымороженной воды при фризировании смеси для мороженого.

Именно количество вымороженной воды при окончании процесса фризирования в значительной степени влияет на дисперсность кристаллов льда [7]. Существующая практика показывает, что выбор температуры мороженого в конце фризирования и расчет доли вымороженной влаги в зависимости от температуры могут осуществляться в том числе на основе данных о криоскопической температуре смесей [8]. В странах Северной Америки традиционно используется метод расчета криоскопической температуры, учитывающий влияние сахаров, эквивалентное влиянию сахарозы [9]. Авторы отмечают, что данный подход быстр и прост, подходит для выполнения сравнительных расчетов различных рецептур, но не может рассматриваться как точный метод вычисления абсолютных значений криоскопической температуры и доли вымороженной влаги. Зачастую необходимы дополнительные экспериментальные исследования изготовленных смесей. Для выполнения более точных расчетов криоскопической температуры смесей мороженого на основании соотношения Рауля и количества ингредиентов в целом необходимо знать актуальные значения средней молекулярной массы различных видов низкомолекулярного сырья с учетом содержащихся в нем примесей (условной молекулярной массы) [10].

Среди существующих в научной литературе источников, посвященных исследованиям теплофизических характеристик компонентов мороженого, следует отметить работы

[11,12], в которых описывается разработка и экспериментальное апробирование математических моделей замерзания высококонцентрированных растворов сахарозы. В работах [13,14] авторами было исследовано влияние сахарозы и трегалозы на скорость роста кристаллов при хранении мороженого. Кроме того, существенное внимание уделяется изучению процессов стеклования водных растворов сахаров в чистом виде, а также в виде смесей [15,16].

Проведенные в работе [17] исследования подтверждают существенное влияние сахарозаменителей, применяемых в количестве 10–30%, на теплофизические, реологические и органолептические свойства смесей для мороженого. При этом наблюдается взаимосвязь вкуса и состояния структуры мороженого с его теплофизическими и реологическими свойствами. Авторами не было представлено каких-либо рекомендаций по выполнению расчетов криоскопической температуры.

Многие новые компоненты, применяемые при производстве мороженого, произрастают в регионах, где проводятся различные исследования. К примеру, в ОАЭ изучена возможность замены сахарозы сиропом из фиников, сладость которому, как и многим фруктам, придают глюкоза и фруктоза [18].

Отдельно следует отметить исследование [10], где систематизированы существующие справочные данные по молекулярным массам и сладости наиболее широко применяемых в составе мороженого сахаров и наполнителей, а также представлены рекомендации по проведению расчетов криоскопической температуры. В существующей практике лаборатории технологии мороженого ВНИИХИ, филиала ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, при использовании некоторых сахаров и наполнителей наблюдалось заметное отклонение ($\pm 0,5...1,0^\circ\text{C}$) расчетных величин криоскопической температуры от экспериментально измеренных значений. Одной из причин этого следует отметить отсутствие в сырье для производства мороженого высокой его химической чистоты. К примеру, в полидекстрозе, применяемой в составе мороженого в качестве источника сухих веществ, основное вещество составляет не менее 90%, а около 10% сырья составляют мономеры (глюкоза, сорбит), которые не учитываются при расчетах криоскопической температуры.

Таким образом, задачами представленной работы являлись определение условных молекулярных масс ингредиентов, используемых в производстве мороженого без сахарозы, расчет криоскопических температур с их использованием и сравнительная оценка с экспериментальными значениями.

2. Объекты и методы

С использованием аналитических весов «САРТОГОСМ МВ 210 А» с ценой деления 0,01 мг авторами были подготовлены водные растворы: сахарозы, фруктозы, трегалозы, эритрита, мальтодекстрина, полидекстрозы, сорбита, глюкозно-фруктозного сиропа, сухого глюкозного сиропа, инулина

различных концентраций, соответствующих депрессии криоскопической температуры растворов вплоть до минус 6 °С.

Измерение криоскопической температуры каждого из растворов осуществлялось не менее трех раз с использованием осмометра-криоскопа КИВИ ОСКР-1. Данный прибор оснащен механическим инициатором процесса кристаллизации и в диапазоне температур от 0 °С до минус 0,93 °С обеспечивает погрешность измерения криоскопической температуры растворов не более ±0,002 °С; при температурах ниже минус 0,93 °С погрешность измерения криоскопической температуры составляет ±0,010 °С.

Характерный график изменения температуры при измерении криоскопической температуры представлен на Рисунке 1. При этом наблюдается охлаждение и переохлаждение образца AS, криоскопическая температура В, вымерзание основной влаги в исследуемом образце ВС и охлаждение замороженного образца CD.

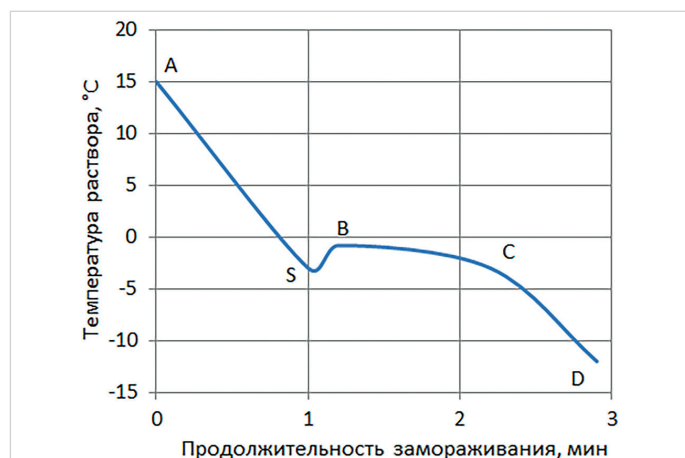


Рисунок 1. Характерное изменение температуры образца при измерении криоскопической температуры

Расчет криоскопической температуры в водном растворе для известной моляльной концентрации раствора C_m , моль/кг может быть выполнен по известному соотношению Рауля:

$$t_{кр} = C_S \cdot K_K \quad (1)$$

где K_K — криоскопическая постоянная воды, $K_K = 1,86$ °С·кг/моль.

Для водного раствора с криоскопической температурой $t_{кр}$, содержащего m_s г растворенного вещества в m_{H_2O} г воды, молярная масса растворенного вещества может быть рассчитана по формуле:

$$M_s = \frac{K_K \cdot m_s \cdot 1000}{-t_{кр} \cdot (m_{H_2O} - K_{св} \cdot m_s)} \quad (2)$$

где $K_{св}$ — коэффициент, учитывающий количество связанной воды. Для большинства углеводов $K_{св} \approx 0,3$ (кг воды/кг сухого вещества).

По результатам серии измерений выполнялось осреднение молекулярной массы, где в качестве веса измерения использовалось значение криоскопической температуры конкретного измерения, а среднее арифметическое взвешенное рассчитывалось как

$$M_s = \frac{\sum_i M_{s,i} \cdot t_{кр,i}}{\sum_i t_{кр,i}} \quad (3)$$

3. Результаты и обсуждение

Перечень исследованных водных растворов, их криоскопические температуры, а также рассчитанные значения молекулярных масс растворенных веществ для сахаров представлены в Таблице 1.

Среди рассмотренных веществ наилучшее совпадение рассчитанных условных молекулярных масс по сравнению с молекулярными массами химически чистых веществ [19] наблюдается у сахарозы, фруктозы, глюкозно-фруктозного сиропа (ГФС). Сахароза, производимая из сахарного тростника и сахарной свеклы, является несомненным лидером по объему производства среди сахаров [20,21]. В соответствии с «ГОСТ 33222-2015 Сахар белый» для сахарозы класса «ЭКСТРА» массовая доля редуцирующих веществ и массовая доля золы (в пересчете на сухое вещество) не должны превышать соответственно 0,03% и 0,027%. По данной причине отклонение измеренной условной молекулярной массы сахарозы от значений, характерных для химически чистого вещества, не превышает погрешности измерений. При расчетах криоскопической температуры водных растворов сахарозы рекомендуется использовать молекулярную массу химически чистого вещества.

Таблица 1

Результаты исследований криоскопической температуры растворов сахаров

Вещество	Концентрация раствора, г / 100 г воды	Криоскопическая температура экспериментальная $t_{кр}$, °С	Рассчитанные значения молекулярной массы M_s , г/моль	Среднее значение молекулярной массы M_s , г/моль	Значение молекулярной массы M_s , г/моль по справочным данным
фруктоза	10,55	минус 1,04	188	187	180,16 [19]
	21,1	минус 2,25	186		
	24,6	минус 2,64	187		
	45,5	минус 4,98	188		
трегалоза	21,1	минус 1,05	399	408	342,296 [19] 378,3* [19]
	24,6	минус 1,23	402		
	44,3	минус 2,31	411		
	74,5	минус 4,35	410		
сахароза	22,7	минус 1,28	354	344	342,296 [19]
	45,5	минус 2,84	345		
	68,2	минус 4,72	338		
	73,8	минус 5,1	346		
глюкозно-фруктозный сироп (сухих веществ 77,5%)	19,65	минус 1,49	191	184	180,16** [19]
	40,37	минус 3,08	190		
	60,6	минус 4,84	181		
	74,5	минус 5,95	182		

* приведена молекулярная масса дигидрата трегалозы.

** приведена молекулярная масса глюкозы и фруктозы, которые являются структурными изомерами.

Наиболее распространенным сырьем для производства глюкозно-фруктозных сиропов ГФС является крахмал, подвергаемый ряду ферментативных процессов. Кроме того, возможно использование инулина и сахарозы [22]. С применением различного сырья и производственных процессов в сиропе возможно присутствие дополнительных олигосахаридов, в том числе функциональной направленности (в качестве пребиотиков и антиоксидантов), к примеру, известен обогащенный олигосахаридами сироп, производимый из корней лопуха (*Arctiumlappa L.*) [23]. Согласно проведенным исследованиям [24] в большинстве производимых в настоящее время в США ГФС количество олигосахаридов не превышает 5,23% (в пересчете на сухое вещество). Для ряда сиропов из агавы, производимых в Мексике, по данным [25], количество олигосахаридов не превышает 2%, а также наблюдается присутствие до 0,4% инозитола. Проведенные исследования подтверждают, что при расчетах криоскопической температуры растворов ГФС также рекомендуется использовать молекулярную массу химически чистых веществ с учетом влагосодержания растворов. Влияние олигосахаридов и прочих примесей на условную молекулярную массу пренебрежительно мало.

При производстве фруктозы (осуществляемой из ГФС с содержанием фруктозы не менее 90%) наиболее сложным процессом является кристаллизация, при этом для данного процесса крайне нежелательно наличие любых дополнительных примесей в матричном растворе [26]. Согласно существующим стандартам для промышленно производимой кристаллической фруктозы число примесей декстрозы составляет не более 0,5%, а количество олигосахаридов не превышает следовых количеств.

Таким образом, для большинства применяемых в промышленности пищевых сахаров количество примесей незначительно, и при расчетах может быть рекомендовано использование значений молекулярных масс химически чистых веществ. Исключение составляет трегалоза, химическая чистота которой, по данным [27], может варьироваться от 92,38 до 99,6%. Кроме того, рядом производителей под маркой

«трегалоза» осуществляется продажа сухого порошка гидрированной трегалозы. По результатам исследований авторов условное значение молекулярной массы исследованной трегалозы с учетом примесей составило 408 г/моль — отклонение на 20% от молекулярной массы химически чистой трегалозы. Таким образом, в случае использования пищевой трегалозы от различных производителей рекомендуется дополнительно уточнять значение условной молекулярной массы при выполнении расчетов криоскопической температуры.

Перечень исследованных водных растворов заменителей сахаров по сухому веществу, их криоскопические температуры, а также рассчитанные значения молекулярных масс растворенных веществ представлены в Таблице 2. Под торговой маркой полидекстрозы А и N (E1200) производители подразумевают не химически чистое вещество, а набор случайно связанных полимеров глюкозы с сильно разветвленной и сложной структурой [28], образованных в результате синтеза глюкозы с сорбитом и лимонной кислотой. Согласно существующим экспериментальным данным степень полимеризации составляет от 12 [29] до 12,53 [30] при молекулярной массе полимеров от 182 до 5000 г/моль. Все то же самое касается и инулина, широко используемого в качестве пищевого волокна [31]. Степень полимеризации инулина варьируется от 3 до 60 (остатков фруктозы в фуранозной форме), однако в среднем составляет 30–35, что соответствует молекулярной массе 4800–6200 г/моль [32]. По результатам исследований авторов, условная молекулярная масса для изученных образцов полидекстрозы и инулина составляет соответственно 625 и 807 г/моль.

Сорбит изготавливается путем каталитического гидрирования глюкозы, и в качестве основных примесей в его составе выступают маннит, мальтит и мальтодекстрины [33]. В соответствии с требованиями зарубежных стандартов к пищевой добавке E420 (сорбит) содержание основного вещества должно составлять не менее 91%. Согласно результатам исследований, проведенных авторами, для сорбита условная молекулярная масса на 13% больше, чем у химически чистого вещества, и составляет 205 г/моль.

Таблица 2

Результаты исследований криоскопической температуры растворов заменителей сахаров по сухому веществу

Вещество	Концентрация раствора, г / 100 г воды	Криоскопическая температура экспериментальная $t_{кр}$, °C	Рассчитанные значения молекулярной массы M_s , г/моль	Среднее взвешенное значение молекулярной массы M_s , г/моль	Значение молекулярной массы M_s , г/моль по справочным данным
полидекстроза	45,5	минус 1,49	636	625	342,30 [19] 182–5000 (ср. 570)* [29]
	68,2	минус 2,52	618		
Мальтодекстрин ГЛЮСИДЕКС DE19	45,5	минус 0,815	1203	1203	1000–3600** [10]
	68,2	минус 1,33	1199		
	74,5	минус 1,48	1207		
	21,1	минус 3,32	126		
эритрит	24,6	минус 3,92	126	126	122,12 [19]
	30,3	минус 4,95	125		
	32,8	минус 5,39	126		
	21,1	минус 2,08	201		
сорбит	24,6	минус 2,45	202	205	182,17 [19]
	45	минус 4,70	209		
сухой глюкозный сироп DE39	45,5	минус 1,64	598	594	296–643*** [10]
	60,6	минус 2,37	581		
	74,5	минус 2,97	602		
инулин	45,5	минус 1,19	824	807	6179 [19]

* Условная молекулярная масса для полидекстрозы, изготовленной под торговой маркой Litesse®.

** Для мальтодекстринов с декстрозным эквивалентом DE18–DE5.

*** Для сухих глюкозных сиропов с декстрозным эквивалентом DE28–DE62.

Эритрит представляет собой заменитель сахара, изготавливаемый из кукурузы методом натурального брожения. По данным [34], пищевой эритрит характеризуется относительно высокой чистотой, которая достигает 98%. Это также подтверждается хорошим совпадением измеренной условной молекулярной массы с массой химически чистого вещества.

Сухие глюкозные сиропы и мальтодекстрины с различным декстрозным эквивалентом изготавливаются путем ферментативного расщепления крахмалов [20]. При этом к мальтодекстринам относятся продукты гидролиза крахмала с декстрозным эквивалентом DE меньше 20, а сухой сироп глюкозы имеет декстрозный эквивалент DE в диапазоне от 20 до 96. У исследованного авторами мальтодекстрина «ГЛЮСИДЕКС DE19» условная молекулярная масса составляла 1203 г/моль, а у сухого глюкозного сиропа с DE39–594 г/моль. Столь существенное снижение условной молекулярной массы происходит за счет большего количества мальтозы, содержащейся в глюкозном сиропе по сравнению с мальтодекстрином, которое согласно данным производителей составляет соответственно 37% и 7%.

На основе полученных авторами данных, а также справочных данных [10], построен график, позволяющий с погрешностью не более $\pm 10\%$ определить условную молекулярную массу сухих глюкозных сиропов и мальтодекстринов на основе показателей величины их декстрозного эквивалента (Рисунок 2). Таким образом, при использовании ингредиентов с более низким декстрозным эквивалентом следует ожидать повышенные значения температуры замерзания и молекулярной массы, а также лучшую водосвязывающую способность сахарозаменителя.

Проведенные исследования показали, что внесение в водный раствор СОМО приводит к дополнительному снижению на 73% криоскопической температуры в сравнении с сахарозой, поэтому в технологических расчетах можно принять, что молекулярная масса СОМО составляет 471 г/моль.

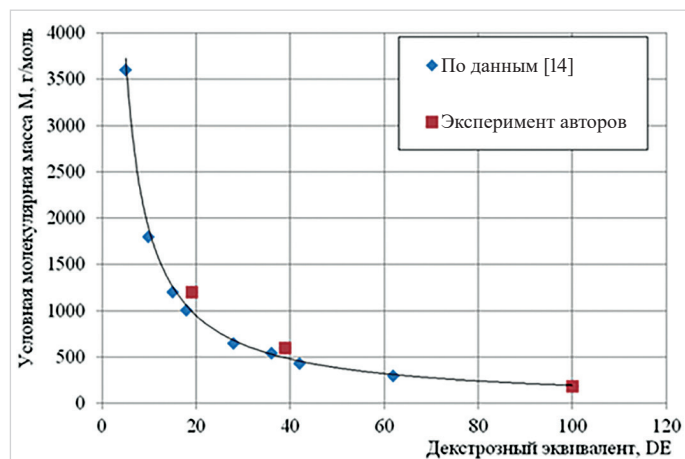


Рисунок 2. Зависимость условной молекулярной массы сухих глюкозных сиропов и мальтодекстринов в зависимости от величины декстрозного эквивалента

К настоящему времени лабораторией технологии мороженого ВНИИ, филиала ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им В. М. Горбатова» РАН, была исследована возможность изготовления мороженого с пониженной массовой долей сахарозы и мороженого без сахарозы. Рассмотрим возможность применения методики расчета криоскопической температуры применительно к трем образцам мороженого с одинаковой массовой долей жира 8% и различной заменой сахарозы на глюкозно-фруктозный сироп (ГФС), состав которых представлен в Таблице 3. При этом в соответствии с рассматриваемым выше подходом принимается во внимание

влияние на криоскопическую температуру не нутриентов, а ингредиентов в целом.

Таблица 3

Рецептура мороженого без снижения массовой доли сахарозы (образец № 1), с пониженным содержанием сахарозы (образец № 2), без добавления сахарозы (образец № 3)

Наименование ингредиентов	Массовая доля ингредиентов, %		
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Сухое обезжиренное молоко	10,53	10,53	10,53
Сливочное масло (массовая доля жира 72,5%)	11,04	11,04	11,04
Сахар	14	9	0
ГФС	0	6,37	15,93
Мальтодекстрин	0	0	1,58
Стабилизационная система CREMODAN SE709 VEG	0,6	0,6	0,6
Вода	63,83	62,46	60,32
ИТОГО, %	100	100	100

Выбор состава образцов мороженого с пониженным содержанием и без сахарозы (Образец № 2 и Образец № 3) обусловлен различной заменой сахарозы на сухие вещества ГФС с учетом его относительной сладости и массовой доли сухих веществ. В образце с частичной заменой сахарозы глюкозно-фруктозным сиропом (Образец № 2) массовая доля сахарозы была снижена от 14,0% до 9,0%. Для полной замены сахарозы по сухому веществу количество сиропа в рецептуре было установлено на уровне 16%. Уменьшение массовой доли заменителя сахара (при равной сладости) в образце мороженого № 3 повлекло за собой понижение общей массовой доли сухих веществ в продукте, что отрицательно сказывается на формировании его структуры. Во избежание указанного эффекта массовая доля сухих веществ в нем была восполнена посредством дополнительного использования мальтодекстрина в количестве 1,6%.

Таблица 4

Расчет и экспериментальное значение криоскопической температуры

Ингредиент	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Вода с учетом влаги сливочного масла и ГФС, %	64,93	65,00	65,01
Свободная влага, %	57,40	57,48	57,49
Молярная концентрация сахарозы, моль/кг	0,71	0,46	0,00
Молярная концентрация мальтодекстрина, моль/кг	0,00	0,00	0,02
Молярная концентрация ГФС-70, моль/кг	0,00	0,60	1,51
Молярная концентрация СОМО, моль/кг	0,39	0,39	0,39
Всего молей на 1 кг воды	1,10	1,45	1,92
Криоскопическая температура расчетная, $t_{кр}, ^\circ\text{C}$	минус 2,05	минус 2,70	минус 3,57
Криоскопическая температура, эксперимент, $t_{кр}, ^\circ\text{C}$	минус 2,13	минус 2,64	минус 3,48

Согласно расчетным данным, представленным в Таблице 4, образец № 1 характеризуется наиболее высокой криоскопической температурой, а образец № 3 — наиболее низкой за счет применения в его составе глюкозно-фруктозного сиропа с меньшей условной молекулярной массой. С полной заменой сахарозы на ГФС наблюдается снижение криоскопической температуры в 1,6 раза. Отклонение рассчитанных значений криоскопической температуры от полученных экспериментально для представленных растворов мороженого, в том числе с пониженным содержанием и без сахарозы, не превышает 0,1 °C. Уточненные авторами значения условных молекулярных масс позволяют с достаточной точностью выполнять расчет криоскопической температуры мороженого с различным составом.

4. Выводы

С разработкой технологий новых разновидностей мороженого функциональной направленности с измененным углеводно-солевым составом весьма актуальной стала проблема определения криоскопической температуры. В частности, для замены сахарозы по сладости и сухому веществу используют различные моносахара — фруктозу и трегалозу, а также композиции сахаров в составе глюкозно-фруктоз-

ных сиропов, сухие глюкозные сиропы, пищевые волокна (инулин и др.) и другие ингредиенты.

Авторами модифицирован расчетный метод определения криоскопической температуры смесей, при этом в расчетах принимается во внимание количество не нутриентов, а ингредиентов в целом. Для этого экспериментально исследованы водные растворы сахарозы, фруктозы, трегалозы, эритрита, мальтодекстрина, полидекстрозы, сорбита, глюкозно-фруктозного сиропа, сухого глюкозного сиропа, инулина различных концентраций, и на основании закона Рауля расчетным путем определены условные молекулярные массы ингредиентов, применяемых для замены сахарозы.

Установлено, что расчетные данные криоскопической температуры, полученные с использованием условных молекулярных масс, отличались не более чем на 0,2 °C от полученных экспериментально. С дальнейшим расширением базы данных условных молекулярных масс ингредиентов предложенный метод расчета может быть рекомендован к применению для определения криоскопических температур различных разновидностей мороженого, в том числе мороженого функциональной направленности с измененным углеводно-солевым составом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 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>
- Ландиговская, 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>
- 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), 1175–1185. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2492-0>
- 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>
- Plaza-Díaz, 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>
- Коновалова, Т. В. (2017) Что использовать вместо пищевых добавок? Особенности производства мороженого пломбир без пищевых добавок и с ограниченным их применением. *Империя холода*, 2, 75–76.
- Блинова, Н. П., Матусевич, Л. Н., Постников, В. А. (1972). Влияние поверхностно-активных примесей на устойчивость пересыщенных растворов и размер получаемых кристаллов. *Журнал прикладной химии*, 2, 169–175.
- Polischuk, G., Sharahmatova, T., Breus, N., Bass, O., Shevchenko, I. (2019). Studies of water freezing features in ice cream with starch syrup. *Food Science and Technology*, 13(2), 71–77. <https://doi.org/10.15673/fst.v13i2.1383>
- Goff H. D., Hartel R. W. (2013) Calculation of Ice Cream Mixes. Chapter in a book: *Ice Cream*. Springer, Boston, MA, 179–191. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6096-1_6
- Mullan, W. M. A. (2013). Perfect ice cream or gelato. Getting the hardness or “scoopability” just right. [On-line]. Retrieved from <https://www.dairyscience.info/index.php/ice-cream/228-ice-cream-hardness.html> Accessed: 10 March, 2021. First posted 13 May 2013. Modified: February 2014; August 2015; January 2017; January 2018; April 2018.
- Lopez-Quiroga, E., Wang, R., Gouseti, O., Fryer, P. J., Bakalis, S. (2016). Crystallisation in concentrated systems: A modelling approach. *Food and Bioprocess Processing*, 100, 525–534. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.07.007>
- Lopez-Quiroga, E., Wang, R., Gouseti, O., Fryer, P. J., Bakalis, S. (18–20 February 2015). *Modelling freezing processes of high concentrated systems*. 8th Vienna International Conference on Mathematical Modelling, MATHMOD2015, Vienna, Austria, 28(1), 749–754. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.05.140>
- Goff, H. D., Caldwell, K. B., Stanley, D. W., Maurice, T. J. (1993). The influence of polysaccharides on the glass transition in frozen sucrose solutions and ice cream. *Journal of Dairy Science*, 76(5), 1268–1277. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77456-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77456-1)
- Whelan, A. P., Regand, A., Vega, C., Kerry, J. P., Goff, H. D. (2008). Effect of trehalose on the glass transition and ice crystal growth in ice cream. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(3), 510–516. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01484.x>
- Wungtanagorn, R., Schmidt, S. J. (2001). Phenomenological study of enthalpy relaxation of amorphous glucose, fructose, and their mixture. *Thermochimica Acta*, 369(1–2), 95–116. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(00\)00741-3](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(00)00741-3)
- Urbani, R., Sussich, F., Prejac, S., Cesàro, A. (1997). Enthalpy relaxation and glass transition behaviour of sucrose by static and dynamic DSC. *Thermochimica Acta*, 304–305(SPEC. ISS.), 359–367. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(97\)00094-4](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(97)00094-4)
- Soukoulis, C., Rontogianni, E., Tzia, C. (2010). Contribution of thermal, rheological and physical measurements to the determination of sensorially perceived quality of ice cream containing bulk sweeteners. *Journal of Food Engineering*, 100(4), 634–641. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.05.012>
- 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>
- Data deposited in or computed by PubChem. Retrieved from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> Accessed June 25, 2021
- Cuong, N. P., Lee, W.-H., Oh, I.-N., Thuy N. M., Kim D.-G., Park, J.-T. et al. (2016). Continuous production of pure maltodextrin from cyclodextrin using immobilized *Pyrococcus furiosus* thermostable amylase. *Process Biochemistry*, 51(2), 282–287. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2015.11.022>
- Svatoš, M., Maitah, M., Belova, A. (2013). World sugar market—basic development trends and tendencies. *Agris on-line Papers in Economics and Informatics*, 5(2), 73–88. <http://doi.org/10.22004/ag.econ.152692>
- Paulino, B. N., Molina, G., Pastore, G. M., Bicas, J. L. (2021). Current perspectives in the biotechnological production of sweetening syrups and polyols. *Current Opinion in Food Science*, 41, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.004>
- Tian, K., Wang, J., Zhang, Z., Cheng, L., Jin, P., Singh, S. et al. (2019). Enzymatic preparation of fructooligosaccharides-rich burdock syrup with enhanced antioxidative properties. *Electronic Journal of Biotechnology*, 40, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2019.04.009>
- White, J. S., Hobbs, L. J., Fernandez, S. (2015). Fructose content and composition of commercial HFCS-sweetened carbonated beverages. *International Journal of Obesity*, 39(1), 176–182. <https://doi.org/10.1038/ijo.2014.73>
- Willems, J. L., Low, N. H. (2012). Major carbohydrate, polyol, and oligosaccharide profiles of agave syrup. Application of this data to authenticity analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(35), 8745–8754. <https://doi.org/10.1021/jf3027342>
- Chu, Y. D., Shiau, L. D., Berglund, K. A. (1989). Effects of impurities on crystal growth in fructose crystallization. *Journal of Crystal Growth*, 97(3–4), 689–696. [https://doi.org/10.1016/0022-0248\(89\)90572-1](https://doi.org/10.1016/0022-0248(89)90572-1)

27. Huang L., Li C., Li B., Liu M., Lian M., Yang S. (2020). Studies on qualitative and quantitative detection of trehalose purity by terahertz spectroscopy. *Food Science and Nutrition*, 8(4), 1828–1836. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1458>
28. Røytö, H., Ouwehand, A.C. (2014). The fermentation of polydextrose in the large intestine and its beneficial effects. *Beneficial Microbes*, 5(3), 305–313. <https://doi.org/10.3920/BM2013.0065>
29. Шубина, О.Г. (2005). Полидекстроза–многофункциональный углевод для создания низкокалорийных и обогащенных продуктов. *Пищевая промышленность*, 5, 28–31.
30. Craig, S. A. S., Holden, J. F., Troup, J. P., Auerbach, M. H., Frier, H. I (1998). Polydextrose as soluble fiber: Physiological and analytical aspects. *Cereal Foods World*, 43(5), 370–376.
31. Raninen, K., Lappi, J., Mykkänen, H., Poutanen, K. (2011). Dietary fiber type reflects physiological functionality: comparison of grain fiber, inulin, and polydextrose. *Nutrition Reviews*, 69(1), 9–21. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2010.00358.x>
32. Flamm, G., Glinsmann, W., Kritchevsky, D., Prosky, L., Roberfroid, M. (2001). Inulin and oligofructose as dietary fiber: A review of the evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 41(5), 353–362. <https://doi.org/10.1080/20014091091841>
33. Nezzal, A., Aerts, L., Verspaille, M., Henderickx, G., Redl, A. (2009). Polymorphism of sorbitol. *Journal of Crystal Growth*, 311(15), 3863–3870. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2009.06.003>
34. Hidaka, H., Yamazaki, M., Yabe, M., Kakiuchi, H., Ona, E. P., Kojima, Y. et al. (2004). New PCMs prepared from erythritol-polycalcohols mixtures for latent heat storage between 80 and 100 °C. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 37(9), 1155–1162. <https://doi.org/10.1252/jcej.37.1155>

REFERENCES

35. 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>
36. 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> (In Russian)
37. 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>
38. 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>
39. 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>
40. Konovalova, T.V. (2017). What to use instead of dietary supplements? Features of the production of ice cream sundae without food additives and with their limited use. *Empire of Cold*, 2, 75–76. (In Russian)
41. Blinova, N.P., Matusevich, L.N., Postnikov, V.A. (1972). Influence of surface-active impurities on the stability of supersaturated solutions and the size of the crystals obtained. *Zhurnal prikladnoi khimii*, 2, 169–175. (In Russian)
42. Polischuk, G., Sharahmatova, T., Breus, N., Bass, O., Shevchenko, I. (2019). Studies of water freezing features in ice cream with starch syrup. *Food Science and Technology*, 13(2), 71–77. <https://doi.org/10.15673/fst.v13i2.1383>
43. Goff H. D., Hartel R. W. (2013) Calculation of Ice Cream Mixes. Chapter in a book: *Ice Cream*. Springer, Boston, MA, 179–191. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6096-1_6
44. Mullan, W.M.A. (2013). Perfect ice cream or gelato. Getting the hardness or “scoopability” just right. [On-line]. Retrieved from <https://www.dairyscience.info/index.php/ice-cream/228-ice-cream-hardness.html> Accessed: 10 March, 2021. First posted 13 May 2013. Modified: February 2014; August 2015; January 2017; January 2018; April 2018.
45. Lopez-Quiroga, E., Wang, R., Gouseti, O., Fryer, P. J., Bakalis, S. (2016). Crystallisation in concentrated systems: A modelling approach. *Food and Bioprocess Technology*, 100, 525–534. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.07.007>
46. Lopez-Quiroga, E., Wang, R., Gouseti, O., Fryer, P. J., Bakalis, S. (18–20 February 2015). *Modelling freezing processes of high concentrated systems*. 8th Vienna International Conference on Mathematical Modelling, MATHMOD2015, Vienna, Austria, 28(1), 749–754. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.05.140>
47. Goff, H. D., Caldwell, K. B., Stanley, D. W., Maurice, T. J. (1993). The influence of polysaccharides on the glass transition in frozen sucrose solutions and ice cream. *Journal of Dairy Science*, 76(5), 1268–1277. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77456-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77456-1)
48. Whelan, A. P., Regand, A., Vega, C., Kerry, J. P., Goff, H. D. (2008). Effect of trehalose on the glass transition and ice crystal growth in ice cream. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(3), 510–516. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01484.x>
49. Wungtanagorn, R., Schmidt, S. J. (2001). Phenomenological study of enthalpy relaxation of amorphous glucose, fructose, and their mixture. *Thermochimica Acta*, 369(1–2), 95–116. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(00\)00741-3](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(00)00741-3)
50. Urbani, R., Sussich, F., Prejac, S., Cesàro, A. (1997). Enthalpy relaxation and glass transition behaviour of sucrose by static and dynamic DSC. *Thermochimica Acta*, 304–305(SPEC. ISS.), 359–367. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(97\)00094-4](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(97)00094-4)
51. Soukoulis, C., Rontogianni, E., Tzia, C. (2010). Contribution of thermal, rheological and physical measurements to the determination of sensorially perceived quality of ice cream containing bulk sweeteners. *Journal of Food Engineering*, 100(4), 634–641. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.05.012>
52. 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>
53. Data deposited in or computed by PubChem. Retrieved from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> Accessed June 25, 2021
54. Cuong, N.P., Lee, W.-H., Oh, I.-N., Thuy N. M., Kim D.-G., Park, J.-T. et al. (2016). Continuous production of pure maltodextrin from cyclodextrin using immobilized *Pyrococcus furiosus* thermostable amylase. *Process Biochemistry*, 51(2), 282–287. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2015.11.022>
55. Svatoš, M., Maitah, M., Belova, A. (2013). World sugar market–basic development trends and tendencies. *Agris on-line Papers in Economics and Informatics*, 5(2), 73–88. <http://doi.org/10.22004/ag.econ.152692>
56. Paulino, B. N., Molina, G., Pastore, G.M., Bicas, J.L. (2021). Current perspectives in the biotechnological production of sweetening syrups and polyols. *Current Opinion in Food Science*, 41, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.004>
57. Tian, K., Wang, J., Zhang, Z., Cheng, L., Jin, P., Singh, S. et al. (2019). Enzymatic preparation of fructooligosaccharides-rich burdock syrup with enhanced antioxidative properties. *Electronic Journal of Biotechnology*, 40, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2019.04.009>
58. White, J. S., Hobbs, L. J., Fernandez, S. (2015). Fructose content and composition of commercial HFCS-sweetened carbonated beverages. *International Journal of Obesity*, 39(1), 176–182. <https://doi.org/10.1038/ijo.2014.73>
59. Willems, J. L., Low, N.H. (2012). Major carbohydrate, polyol, and oligosaccharide profiles of agave syrup. Application of this data to authenticity analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(35), 8745–8754. <https://doi.org/10.1021/jf3027342>
60. Chu, Y.D., Shiau, L.D., Berglund, K.A. (1989). Effects of impurities on crystal growth in fructose crystallization. *Journal of Crystal Growth*, 97(3–4), 689–696. [https://doi.org/10.1016/0022-0248\(89\)90572-1](https://doi.org/10.1016/0022-0248(89)90572-1)
61. Huang L., Li C., Li B., Liu M., Lian M., Yang S. (2020). Studies on qualitative and quantitative detection of trehalose purity by terahertz spectroscopy. *Food Science and Nutrition*, 8(4), 1828–1836. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1458>
62. Røytö, H., Ouwehand, A.C. (2014). The fermentation of polydextrose in the large intestine and its beneficial effects. *Beneficial Microbes*, 5(3), 305–313. <https://doi.org/10.3920/BM2013.0065>
63. Shubina, O.G. (2005). Polydextrose is a multifunctional carbohydrate for creating low-calorie and fortified foods. *Food industry*, 5, 28–31. (In Russian)
64. Craig, S. A. S., Holden, J. F., Troup, J. P., Auerbach, M. H., Frier, H. I (1998). Polydextrose as soluble fiber: Physiological and analytical aspects. *Cereal Foods World*, 43(5), 370–376.
65. Raninen, K., Lappi, J., Mykkänen, H., Poutanen, K. (2011). Dietary fiber type reflects physiological functionality: comparison of grain fiber, inulin, and polydextrose. *Nutrition Reviews*, 69(1), 9–21. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2010.00358.x>
66. Flamm, G., Glinsmann, W., Kritchevsky, D., Prosky, L., Roberfroid, M. (2001). Inulin and oligofructose as dietary fiber: A review of the evidence. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 41(5), 353–362. <https://doi.org/10.1080/20014091091841>
67. Nezzal, A., Aerts, L., Verspaille, M., Henderickx, G., Redl, A. (2009). Polymorphism of sorbitol. *Journal of Crystal Growth*, 311(15), 3863–3870. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2009.06.003>
68. Hidaka, H., Yamazaki, M., Yabe, M., Kakiuchi, H., Ona, E. P., Kojima, Y. et al. (2004). New PCMs prepared from erythritol-polycalcohols mixtures for latent heat storage between 80 and 100 °C. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 37(9), 1155–1162. <https://doi.org/10.1252/jcej.37.1155>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Королев Игорь Антонович — кандидат технических наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, г. Москва, ул. Костякова, д. 12. Тел.: +7-499-976-09-63 E-mail: gigja@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3166-2827 * автор для контактов	Igor A. Korolev — candidate of technical sciences, researcher, All-Russian Research Institute of the Refrigeration Industry 12, Kostyakova str., 127422, Moscow, Russia Tel.: + 7-499-976-09-63 E-mail: gigja@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3166-2827 * corresponding author
Творогова Антонина Анатольевна — доктор технических наук, доцент, исполняющий обязанности директора, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, 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 12, Kostyakova str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7-499-976-09-63 E-mail: antvogova@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7293-9162
Ситникова Полина Борисовна — кандидат технических наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 126422, г. Москва, ул. Костякова, д. 12. Тел.: +7-495-610-83-85 E-mail: lab.moroz@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4098-9146	Polina B. Sitnikova — candidate of technical sciences, researcher, All-Russian Research Institute of the Refrigeration Industry 12, Kostyakova str., 127422, Moscow, Russia Tel.: +7-495-610-83-85 E-mail: lab.moroz@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4098-9146
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/10.21323/2618-9771-2021-4-3-172-179>

Поступила 07.08.2021

Поступила после рецензирования 13.09.2021

Принята в печать 25.09.2021

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

Научная статья

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ МАРМЕЛАДА

Кондратьев Н. Б.*, Осипов М. В., Руденко О. С., Казанцев Е. В., Калинкина Е. С.

Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

*кондитерские изделия,
мармелад, процессы
влагопереноса, изотерма
сорбции*

АННОТАЦИЯ

Рассмотрена актуальная проблема обеспечения длительных сроков хранения кондитерских изделий без изменения их вкусовых качеств. Выявлены закономерности влияния химического состава сырьевых компонентов на структуру желеино-мармелада. Исследовано влияние содержания патоки и студнеобразователей на физико-химические и реологические свойства желеино-мармелада. Увеличение массовой доли патоки от 5% до 25% приводит к увеличению упруго-пластичных свойств желеино-мармелада. Соотношение основных рецептурных компонентов формирует молекулярную структуру желеино-мармелада и тем самым оказывает влияние на зависимость массовой доли влаги от активности воды. Установлена корреляция активности воды и прочности желеино-мармелада. Самая высокая прочность и активность воды наблюдалась у изделий, содержащих 15% патоки, что обуславливает наибольшую скорость влагопереноса для таких продуктов. Использование модифицированного крахмала дает возможность управления потерями влаги при хранении мармелада. Корректировка рецептуры и уменьшение массовой доли влаги в мармеладе значительно уменьшают риск возникновения нежелательных органолептических изменений поверхности мармелада при хранении. Применяя различные виды модифицированного крахмала, можно управлять сохранностью желеино-фруктового мармелада. Повышение массовой доли редуцирующих веществ в процессе хранения кондитерских изделий студнеобразной консистенции способствует их увлажнению. С другой стороны, уменьшение массовой доли редуцирующих веществ приводит к засахариванию изделий. Показано, как изменение соотношения основных компонентов желеино-мармелада влияет на формирование его молекулярной структуры, которая обуславливает соотношение свободной и связанной влаги. Полученные результаты работы позволяют управлять качеством и прогнозировать сохранность кондитерских изделий студнеобразной консистенции.

Received 07.08.2021

Accepted in revised 13.09.2021

Accepted for publication 25.09.2021

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

Original scientific article

THE MAIN FACTORS OF MARMALADE MOLECULAR STRUCTURE FORMATION

Nikolay B. Kondratev*, Maxim V. Osipov, Oxana S. Rudenko, Egor V. Kazantsev, Evgeniia S. Kalinkina

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

KEY WORDS:

*confectionery, marmalade,
moisture transfer processes,
sorption isotherm*

ABSTRACT

The pressing challenge of ensuring long shelf life for confectionery product without changing their flavor is considered. The patterns were revealed for the influence of the chemical composition of raw materials on the jelly marmalade structure. The influence of glucose syrup and gelling agent contents on the physicochemical and rheological properties of jelly marmalade was investigated. An increase in the mass fraction of glucose syrup from 5% to 25% leads to an increase in the elastic and plastic properties of jelly marmalade. The ratio of the main ingredients forms the molecular structure of jelly marmalade and thereby affects the dependence of moisture content on the water activity. The correlation between the water activity and the hardness of jelly marmalade has been established. The highest hardness and water activity were observed in products containing 15% glucose syrup, which determines the highest moisture transfer rate for such products. The use of modified starch allows controlling the moisture losses during marmalade storage. Formulation adjustment and moisture content decrease in the marmalade significantly reduce the risk of undesirable sensory changes on the surface of the marmalade during its storage. Various types of modified starch may control the shelf life of jelly fruit marmalade. An increase in reducing substances concentration during the storage of jelly-like confectionery products contributes to their moistening. On the other hand, a decrease in reducing substances concentration leads to granulation in products. It is shown how a change in the main ingredients ratio of jelly marmalade affects the formation of its molecular structure, which determines the free/bound moisture ratio. The obtained results allow controlling the quality and predicting the safety of jelly-like confectionery products.

1. Введение

Мармелад и другие кондитерские изделия студнеобразной консистенции пользуются высоким спросом у потребителей. Обеспечение длительных сроков хранения мармелада без изменения его вкусовых свойств, а также сохранение свежести изделия являются актуальными

вопросами в кондитерской отрасли. При хранении такие продукты подвержены преимущественно физическим изменениям, таким как черствение или увлажнение поверхности [1–4].

Желеиный мармелад в соответствии с ГОСТ 6442–2014 «Мармелад. Общие технические условия» — это сахаристое

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Кондратьев, Н. Б., Осипов, М. В., Руденко, О. С., Казанцев, Е. В., Калинкина, Е. С. (2021). Основные факторы формирования молекулярной структуры мармелада. *Пищевые системы*, 4(3), 172–179. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-172-179>

FOR CITATION: Kondratev, N. B., Osipov, M. V., Rudenko, O. S., Kazantsev, E. V., Kalinkina, E. S. (2021). The main factors of marmalade molecular structure formation. *Food systems*, 4(3), 172–179. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-172-179>

кондитерское изделие студнеобразной консистенции, получаемое увариванием раствора студнеобразователя с сахаром с добавлением или без добавления патоки, пищевых добавок, ароматизаторов, с массовой долей структурообразователя для желей мармелада не менее 1% и массовой долей сахара в пересчете на сахарозу не менее 45%.

Стабильность свойств мармелада при длительном хранении достигается за счет оптимизации факторов термической обработки, контроля активности воды и pH. Качество и содержание фруктов в этих продуктах имеют решающее значение для качества конечного продукта. Авторы также поднимают вопрос о необходимости простого и общедоступного инструмента для обнаружения и количественной оценки химического состава с целью предотвращения фальсификации [5,6].

Таким образом, основными рецептурными компонентами желей мармелада и других кондитерских изделий студнеобразной консистенции являются сахар, патока, вода, студнеобразователи. Также могут быть использованы различные виды фруктового (овощного) сырья, красители и ароматизаторы. Для оптимизации процесса студнеобразования при использовании различных видов студнеобразователей используют также буферные соли и другие компоненты [7,8].

Для оценки качества и сохранности мармелада функции полисахаридов в пищевых системах нужно оценивать на молекулярном уровне с фундаментальной и прикладной точек зрения. Проводимые исследования должны обобщать информацию о взаимодействиях сахаров, полисахаридов, влаги и других компонентов [9,10].

Пектины по химическому составу относятся к полисахаридам и состоят из двух групп полимеров, галактуронанов и рамногалактуронанов (Рисунок 1).

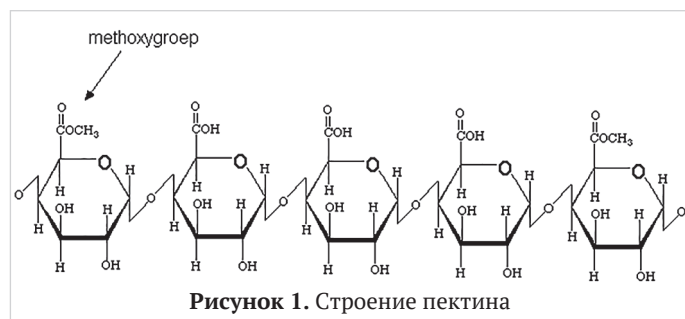


Рисунок 1. Строение пектина

Структура желей мармелада обеспечивается комплексом сырьевых компонентов, включая высокомолекулярные полисахаридные соединения или смесь таких соединений, моно и дисахариды [11,12].

Пектин является важнейшим структурообразователем, молекулы которого состоят в основном из остатка 1,4-D-галактуроновой кислоты. Студнеобразующие свойства пектиновых веществ обусловлены длиной цепи молекулы с молекулярной массой не менее 10000. Образование студня — это процесс возникновения и постепенного упрочнения пространственной молекулярной структуры. Водородные связи образуются между участками молекул, содержащих полярные группы (-COOH, -OH) (Рисунок 2).

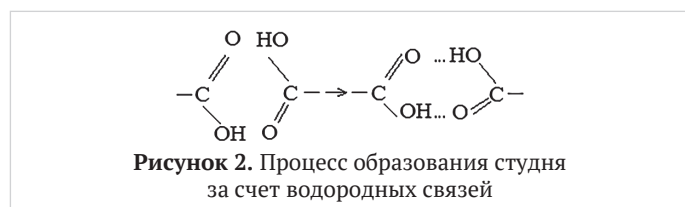


Рисунок 2. Процесс образования студня за счет водородных связей

Для исследования водосвязывающих свойств пектинов до настоящего времени в основном использовались методы с построением изотерм сорбции. Пектины «связывают» от 0,3 до 1,3 г/г воды, они взаимодействуют с макромолекулами, молекулы воды удерживаются капиллярами (набухание и утолщение, гелеобразование). Различные модификации пектинов влияют на взаимодействия с водой [13–15].

Исследование состояния воды в различных гидрофильных полимерах проводится также методами ДСК и ИК-Фурье.

Смеси гидрофильный полимер/вода имеют различное калориметрическое поведение в диапазоне температур плавления замораживаемой связанной воды, а также свободной воды. Температура плавления замораживаемой воды и количество незамерзающей воды в смесях изменяются в зависимости от изменения химической структуры полимеров. Полученные данные свидетельствуют о том, что вода, слабо связанная с полимерными цепями, может образовывать стабильную кристаллическую структуру при ее высоком содержании.

Спектры FTIR подтвердили существование различных состояний молекул воды, основанных на разной силе водородных связей, что может влиять на термическое поведение воды в смесях гидрофильный полимер/вода. Сделан вывод, что в водных растворах гидрофильных полимеров с полярными центрами образование незамерзающей воды приписывается водородным связям между гидрофильными полимерами и молекулами H₂O [16].

Поперечно сшитые полимеры также увеличивают количество связанной влаги в пищевой системе [17].

Крахмальная карамельная патока, содержание которой обуславливает прочность корпуса изделия, является важнейшим технологическим компонентом мармелада на пектине и используется в качестве антикристаллизатора.

Для увеличения срока годности, а также для уменьшения скорости процессов влагопереноса используют различные модифицированные крахмалы, изменяющие соотношение связанной и свободной воды различных наименований кондитерских изделий. Они применяются в качестве пищевых добавок и позволяют управлять сохранностью кондитерских изделий [18,19].

Редуцирующие вещества патоки также играют существенную роль в процессе хранения кондитерских изделий студнеобразной консистенции. Известно, что повышение содержания редуцирующих веществ способствует увлажнению мармелада вследствие их высокой гигроскопичности, и наоборот, уменьшение их массовой доли приводит к засахариванию изделий.

Соотношение свободной и связанной влаги оказывает значительное влияние на сохранность мармелада и других изделий студнеобразной консистенции. Высокое содержание влаги в желе мармеладе приводит к «отмоканию» поверхности, а низкое содержание влаги является причиной образования сахарной «корочки» на поверхности, при этом изменяется текстура изделий.

Доказано, что именно показатель активности воды в продуктах с одинаковой массовой долей влаги в настоящее время более часто используется для прогнозирования изменений реологических показателей пищевых систем, чем массовая доля влаги [20].

Многие работы посвящены влиянию качества фруктового сырья на срок годности кондитерских изделий студнеобразной консистенции.

Исследовано общее количество растворимых твердых веществ и pH в джеме и мармеладе. Для оценки качества продуктов предложено использовать редуцирующие сахара, кислотность, аскорбиновую кислоту и органолептические

показатели, такие как вкус, цвет, текстура и общая приемлемость. В ходе физико-химического и органолептического анализов было показано, что морковь и яблоко способствовали формированию хорошего качества изделий [6].

Морфологические свойства рецептур яблочного мармелада с низким содержанием сахара сравнивали при помощи сканирующей электронной микроскопии. Микрофотография образцов лиофилизированного мармелада показала гладкую поверхность с частичными сетками из-за наличия пектина, кислоты и смеси геля сахарозы [21].

Разработаны рецептуры с частичной заменой сахарозы подсластителями, такими как стевиозид и сукралоза (25%, 50%), без использования коммерческого пектина и химических консервантов. Выявлено, что концентрация подсластителей оказывает значительное влияние на физико-химические и реологические свойства продуктов. Твёрдость мармелада уменьшается из-за снижения общего содержания растворимых твердых веществ. Предел текучести продукта увеличивается при возрастании концентрации подсластителей [22].

Для сравнения влагоудерживающей способности, влияющей на риск возникновения микробиологической порчи (плесневения), проводятся исследования процессов влагопереноса различных наименований кондитерских изделий, включающие определения как массовой доли влаги, так и активности воды.

Целью работы является установление факторов, влияющих на формирование структуры желейного мармелада для обеспечения его сохранности.

2. Материалы и методы

Объектами исследования являлись образцы желейного мармелада, изготовленные на основе яблочного пектина. Массовая доля патоки составляла 5%, 10%, 15%, 20%, 25%. При увеличении массовой доли патоки количество сахара белого соответственно уменьшалось, при этом сумма патоки и сахара составляла 73,0%.

Изготовленные образцы желейного мармелада с массовой долей патоки 15% соответствуют рецептуре и требованиям ГОСТ 6442–2014 «Мармелад. Общие технические условия» (Таблица 1).

Таблица 1

Рецептура желейного мармелада

Наименование сырья и полуфабрикатов	Содержание сухих веществ, %	Расход сырья на загрузку 300 г, г	
		в натуре	в сухих веществах
Сахар-песок	99,85	207,00	206,69
Патока	78,00	45,00	35,10
Пектин	91,00	5,40	4,910
Цитрат натрия	90,00	0,30	0,27
Лимонная кислота (50% р-р)	91,00	0,40	0,36
Итого	—	258,10	247,33
Выход	78,00	300,00	234,00

Научные исследования проводились на базе отдела современных методов оценки качества ВНИИКП (филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН) с использованием методов:

- исследования физико-химических и органолептических показателей изготовленных образцов мармелада проведены в соответствии с ГОСТ 6442–2014 «Мармелад. Общие технические условия»;
- хранение образцов осуществляли при температуре 18 °С и относительной влажности окружающего воздуха 40% в климатической камере «Climacell 404» (Чехия);

диапазон регулирования температуры от 0 до 100 °С, диапазон регулирования относительной влажности воздуха от 10% до 95%;

- массовая доля влаги измерена по ГОСТ 5900–2014 «Изделия кондитерские. Методы определения массовой доли влаги и сухих веществ» с использованием сушильного лабораторного шкафа SNOL 67/350 (Литва); диапазон автоматического регулирования температуры 50–350 °С, стабильность температуры в установившемся тепловом режиме ± 2 °С;
- активность воды определена по ГОСТ Р ИСО 21807 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Определение активности воды» на приборе AquaLab 3TE (США); диапазон измерения активности воды от 0,200 до 1,000, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений активности воды $\pm 0,006$;
- реологические показатели мармелада измерены на Структурометре СТ-2 (Россия); скорость движения индентора (0–4,5) мм/с, диапазон измеряемых нагрузок от –5000 до 5000 г, диапазон перемещения индентора 0–220 $\pm$ 1 мм;
- математический анализ проведён с использованием программы MS Excel 2010.

3. Результаты и обсуждение

Желейный мармелад при хранении подвержен преимущественно физическим изменениям, таким как черствение или увлажнение, однако процессы плесневения и брожения данного продукта выявляются редко. Изменения качества желейного мармелада обусловлены процессами влагопереноса, при этом градиент активности воды является движущей силой таких процессов. Закономерности протекания этих процессов могут быть использованы для прогнозирования и увеличения срока годности мармелада.

Основными компонентами химического состава мармелада, влияющими на процессы влагопереноса, являются сахароза, вода, патока, модифицированный крахмал и пектин. Для обоснования механизма влагопереноса в пищевой системе желейного мармелада молекулы сырьевых компонентов представлены в схематическом виде (Рисунок 3).

При изменении химического состава пищевых систем на основе пектина, а также при их хранении происходят изменения реологических показателей прочности, вязкости и др. [23,24].

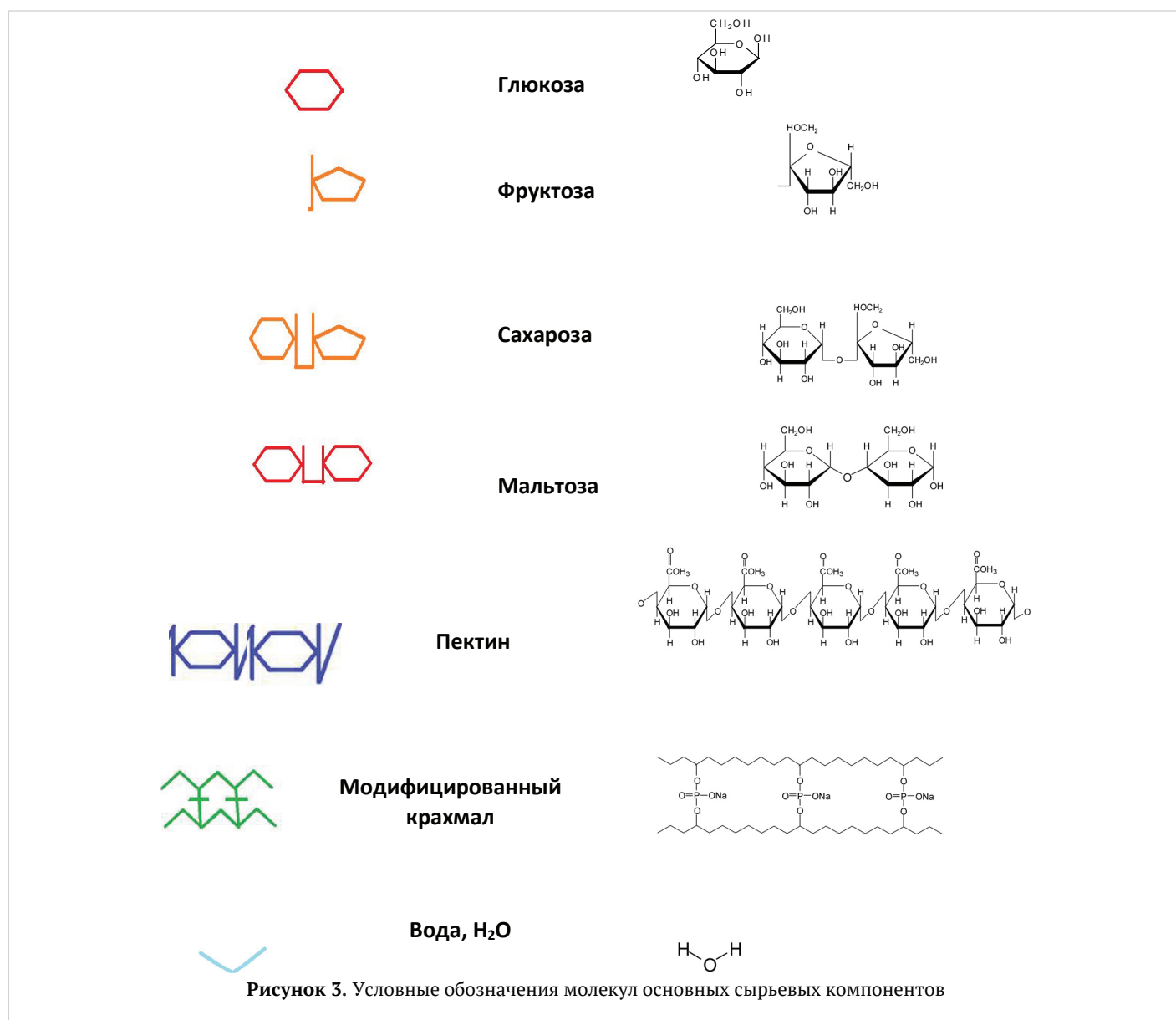
Проведены исследования влияния химического состава использованного сырья (массовая доля патоки, модифицированного крахмала) на органолептические и физико-химические характеристики, а также на изменение показателей влагопереноса в процессе хранения мармелада с массовой долей влаги 22,0% [1,25].

Установлено, что наибольшей активностью воды и наибольшей прочностью обладает желейный мармелад с массовой долей патоки 15% (Рисунок 4).

Для такого мармелада на одну молекулу патоки (глюкоза, мальтоза и др. на схеме молекулы изображены красным цветом) приходится четыре-пять молекул сахарозы, пять молекул воды, часть молекул пектина и модифицированного крахмала (Рисунок 5).

В таком мармеладе значительная часть молекул воды находится в «свободном» состоянии. Молекулы патоки встроены между молекулами пектина и сахарозы, вытесняя молекулы воды наружу в «свободном» состоянии, что обуславливает наибольшее значение активности воды.

Молекулы пектина образуют водородные связи с другими компонентами пищевой матрицы, такими как вода, сахароза, мальтоза, глюкоза и др., молекулы которых содержат полярные группы [8,13].



При уменьшении массовой доли патоки в рецептурном составе до 5% активность воды уменьшается до 0,38, что, вероятно, связано с встраиванием молекул воды на место молекул патоки между молекулами сахарозы и пектина (модифицированного крахмала), а также с образованием водородных связей (Рисунок 6).

На одну молекулу патоки (глюкоза, мальтоза и др.) приходится 14–17 молекул сахарозы, пять молекул воды, часть молекул пектина и модифицированного крахмала.

При увеличении массовой доли патоки до 25% количество молекул сахарозы соответственно уменьшается. На одну молекулу патоки приходится только 2–3 молекулы сахарозы (Рисунок 7).

При увеличении массовой доли патоки активность воды немного уменьшается до уровня 0,700, что можно объяснить связыванием влаги редуцирующими сахарами, входящими в состав патоки. Молекулы H₂O связываются с полярными группами молекул глюкозы, мальтозы и других углеводов.

Необходимо отметить, что при повышении массовой доли патоки до 25% прочность мармелада уменьшается от 500 г/см² до 400 г/см², однако при этом увеличиваются адгезия и упруго-пластичные свойства жележного мармелада, что может быть использовано с целью корректировки сроков годности изделий этой группы.

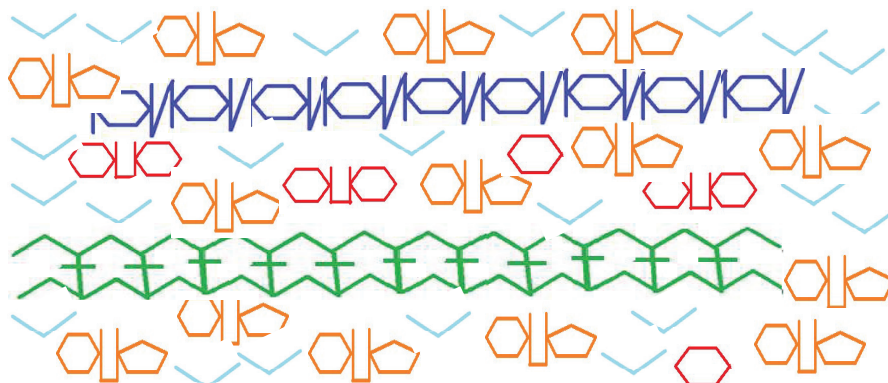


Рисунок 5. Схематическое соотношение основных компонентов желейного мармелада с массовой долей влаги 15% и активностью воды 0,755

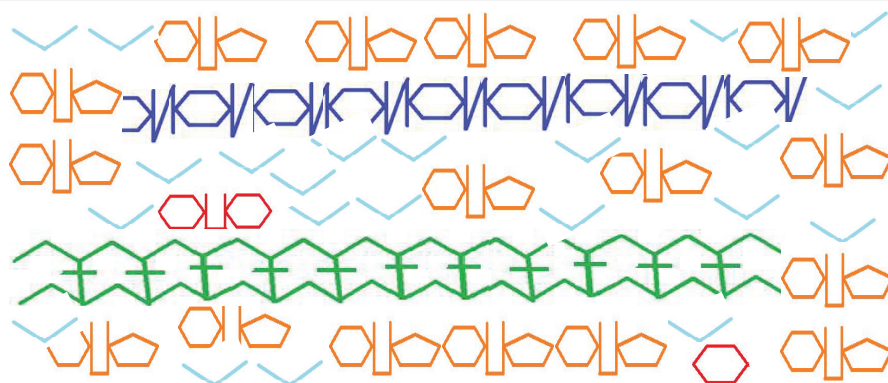


Рисунок 6. Схематическое соотношение основных компонентов желейного мармелада с массовой долей патоки 5% и активностью воды 0,738

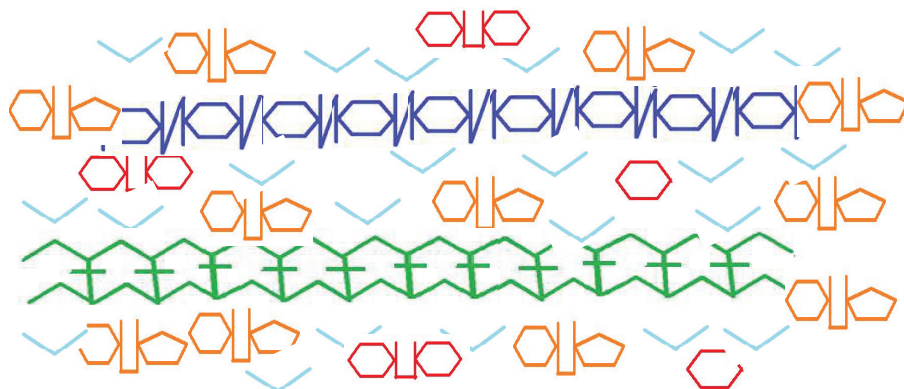


Рисунок 7. Схематическое соотношение основных компонентов желейного мармелада с массовой долей патоки 25% и активностью воды 0,750

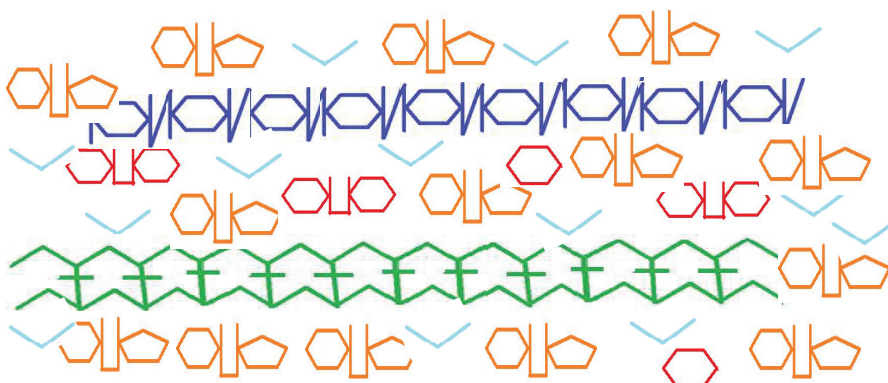


Рисунок 8. Схематическое соотношение основных компонентов желейного мармелада с активностью воды в диапазоне 0,70–0,72 и массовой долей влаги 16–18%

В процессе хранения желейного мармелада с массовой долей влаги 22% и активностью воды 0,755 при уменьшении массовой доли влаги до 16–18% активность воды также уменьшается до уровня 0,70–0,72, что является причиной кристаллизации сахарозы на поверхности изделий (Рисунок 8).

Зависимость массовой доли влаги от активности воды (изотерма сорбции) позволяет оценивать риски изменения качества мармелада при хранении в зависимости от химического состава.

В мармеладе одна часть сахара связана с полимером (пектин, крахмал), а другая часть является кристаллической или аморфной. Связанные и свободные формы сахара в желейном мармеладе находятся в равновесии и в значительной степени зависят от рецептурного состава и соотношения связанных и свободных молекул влаги, т.е. от фактической активности воды (Рисунок 9).

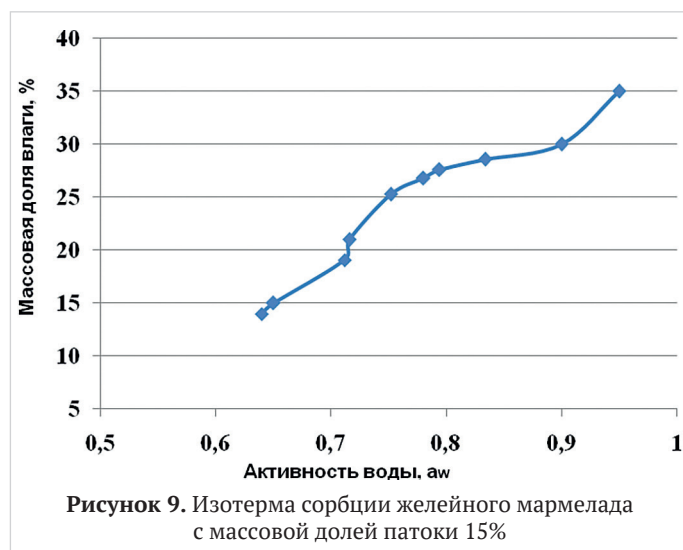


Рисунок 9. Изотерма сорбции желейного мармелада с массовой долей патоки 15%

Полученная зависимость относится к изотерме Ван дер Ваальсовой адсорбции V типа. Определенные компоненты рецептурного состава обуславливают соответствующие характерные резкие изменения изотермы сорбции желейного мармелада. Переход растворенного сахара из аморфного состояния в кристаллическое при определенном соотношении рецептурных компонентов является причиной разрыва изотермы [26–29].

В качестве инструмента управления сохранностью кондитерских изделий может быть использовано введение в рецептуру мармелада модифицированного крахмала с заданным химическим составом. Например, введение в рецептуру желейного мармелада 2% модифицированного крахмала E1401 исключает из изотермы ее разрыв (Рисунок 10).

Были получены изотермы адсорбции и десорбции каррагинана. Спектроскопические методы и методы рентгеновской дифракции позволили определить фундаментальный состав перечисленных выше биополимеров. Реологические свойства хорошо коррелировали с гигроскопическими. Была разработана модель прогноза для оценки изотерм водной сорбции на основе содержания в ней отдельных дисахаридных единиц [30]. Таким образом, при разработке рецептуры мармелада ожидается получение аналогичных результатов.

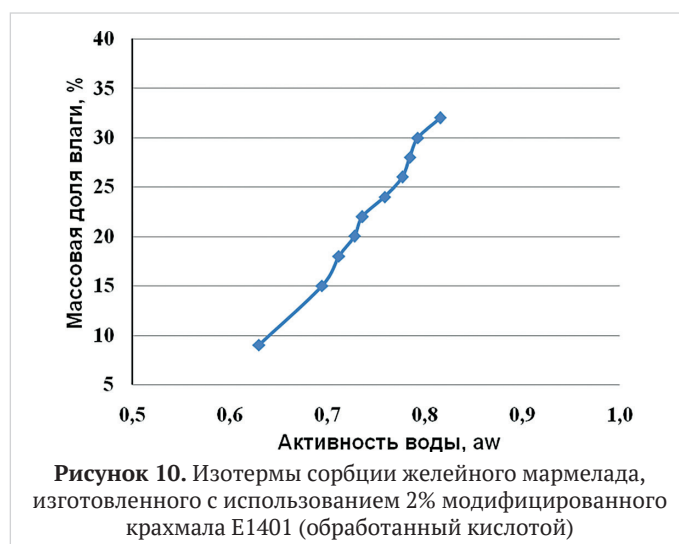


Рисунок 10. Изотермы сорбции желейного мармелада, изготовленного с использованием 2% модифицированного крахмала E1401 (обработанный кислотой)

Для мармелада, изготовленного с применением различных модифицированных крахмалов, получены соответствующие химическому составу изотермы сорбции. Так, при использовании 2% модифицированного крахмала E1401 (обработанный кислотой) формируются поперечно связанные структуры, в которых молекулы H_2O препятствуют превращению сахара из аморфного состояния в кристаллическое. В результате этого срок годности изделий увеличивается.

В продуктах, изготовленных без модифицированного крахмала, молекулы воды связаны недостаточно сильно и при определенных условиях хранения могут быстро переходить из связанного состояния в свободное, способствуя образованию кристаллического сахара, что приводит к увеличению прочности поверхности.

4. Заключение

Установлено влияние содержания патоки, студнеобразователей на физико-химические и реологические свойства желейного мармелада. Увеличение массовой доли патоки от 5% до 25% приводит к увеличению упруго-пластичных свойств желейного мармелада. Показана корреляция активности воды и прочности желейного мармелада. Для желейного мармелада, содержащего 15% патоки, показатели активность воды и прочность наибольшие, что обуславливает самую высокую скорость влагопереноса.

Использование модифицированного крахмала дает возможность управления потерями влаги при хранении мармелада. Применение 2,0% модифицированного крахмала E1401 предотвращает образование «корочки» на поверхности желейного мармелада при хранении. Корректировка рецептуры значительно уменьшает риск образования нежелательной сахарной «корочки» при уменьшении массовой доли влаги мармелада. Используя различные виды модифицированного крахмала, можно управлять сохранностью желейно-фруктового мармелада. Изменение соотношения основных компонентов желейного мармелада влияет на формирование молекулярной структуры продукта, обусловленной соотношением свободной и связанной влаги.

Полученные результаты работы позволяют управлять качеством продукта при его создании, а также прогнозировать срок хранения пищевых продуктов студнеобразной консистенции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кондратьев, Н.Б., Казанцев, Е.В., Осипов, М.В., Баженова, А.Е., Линовская, Н.В. (2020). Влияние количества патоки на процессы влагопереноса при хранении мармелада. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 82(4(86)), 24–29. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-4-24-29>
2. Rivero, R., Archaina, D., Sosa, N., Schebor, C. (2021). Development and characterization of two gelatin candies with alternative sweeteners and fruit bioactive compounds. *LWT*, 141, Article 110894. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110894>
3. Teixeira-Lemos, E., Almeida, A. R., Vouga, B., Morais, C., Correia, I., Pereira, P. et al. (2021). Development and characterization of healthy gummy jellies containing natural fruits. *Open Agriculture*, 6(1), 466–478. <https://doi.org/10.1515/opag-2021-0029>
4. Ergun, R., Lietha, R., Hartel, R. W. (2010). Moisture and shelf life in sugar confections. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(2), 162–192. <https://doi.org/10.1080/10408390802248833>
5. Wolf, B. (2016). Confectionery and Sugar-Based Foods. Chapter in a book: Reference Module in Food Science. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03452-1>
6. Kavaya, R.I., Omwamba, M.N., Chikamai, B.N., Mahungu, S.M. (2019). Sensory evaluation of syneresis reduced jam and marmalade containing gum Arabic from *Acacia senegal* var. *kerensis*. *Food and Nutrition Sciences*, 10(11), 1334–1343. <https://doi.org/10.4236/fns.2019.1011096>
7. de Avelar, M. H. Efraim, M.P. (2020). Alginate/pectin cold-set gelation as a potential sustainable method for jelly candy production. *LWT*, 123, Article 109119. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109119>
8. Gawkowska, D., Cybulska, J., Zdunek, A. (2018). Structure-related gelling of pectins and linking with other natural compounds: A review. *Polymers*, 10(7), Article 762 <https://doi.org/10.3390/polym10070762>
9. Funami, T. (2010). Functions of food polysaccharides to control the gelatinization and retrogradation behaviors of starch in an aqueous system in relation to the macromolecular characteristics of food polysaccharides. *Food Science and Technology Research*, 15(6), 557–568. <https://doi.org/10.3136/fstr.15.557>
10. Донченко, Л.В., Фирсов, Г.Г. (2007). Пектин: основные свойства, производство и применение. — М.: ДеЛи принт, 2007.
11. Табаторович, А.Н., Резниченко, И.Ю. (2019). Обоснование рецептур и оценка качества желей мармелада на основе настоя лепестков розеллы (*Hibiscus Sabdariffa* L.). *Пищевая промышленность*, 5, 66–71. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10075>
12. Табаторович, А.Н., Степанова, Е.Н., Бакайтис, В.И. (2018). Анализ химического состава и показателей качества нетрадиционных фруктовых пюре-полуфабрикатов. *Пищевая промышленность*, 8, 25–29.
13. Panchev, I. N., Slavov, A., Nikolova, K., Kovacheva, D. (2010). On the water-sorption properties of pectin. *Food Hydrocolloids*, 24(8), 763–769. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.04.002>
14. Южакова, К.В., Савенкова, Т.В., Талейский, М.А. (2018). Технологические процессы образования кондитерской массы при получении мармелада. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*, 1, 57–59.
15. Einhorn-Stoll, U. (2018). Pectin-water interactions in foods — from powder to gel. *Food Hydrocolloids*, 78, 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.029>
16. Guan, L., Xu, H., Huang, D. (2011). The investigation on states of water in different hydrophilic polymers by DSC and FTIR. *Journal of Polymer Research*, 18(4), 681–689. <https://doi.org/10.1007/s10965-010-9464-7>
17. Abasi, S., Podstawczyk, D. A., Sherback, A. F., Guiseppi-Elie, A. (2019). Bio-technical properties of poly(HEMA-co-HPMA) hydrogels are governed by distribution among water states. *ACS Biomaterials Science and Engineering*, 5(10), 4994–5004. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.9b00705>
18. Ping, Z. H., Nguyen, Q. T., Chen, S. M., Zhou, J. Q., Ding, Y. D. (2001). States of water in different hydrophilic polymers — DSC and FTIR studies. *Polymer*, 42(20), 8461–8467. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(01\)00358-5](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(01)00358-5)
19. Осипов, М.В., Кондратьев, Н.Б., Казанцев, Е. В., Руденко, О.С., Семёнова, П.А. (2019). Влияние модифицированного крахмала на влагоудерживающую способность начинок в пряниках. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*, 3, 59–62. <https://doi.org/10.30850/vtrsn/2019/3/59-62>
20. Juarez-Enriquez, E., Olivas, G.I., Ortega-Rivas, E., Zamudio-Flores, P.B., Perez-Vega, S., Sepulveda, D.R. (2019). Water activity, not moisture content, explains the influence of water on powder flowability. *LWT*, 100, 35–39. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.043>
21. Ullah, N., Ullah, S., Khan, A., Ullah, I., Badshah, S. (2018). Preparation and evaluation of carrot and apple blended jam. *Journal of Food Processing & Technology*, 9(4), Article 725. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000725>
22. Sirin, P. (2019). Rheological, textural, physico-chemical and sensory properties of low sugar apple marmalade. A Thesis Submitted to the Graduate School of Engineering and Sciences of Izmir Institute of Technology in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of MASTER OF SCIENCE in Food Engineering. Izmir, Turkey. Retrieved from <https://gcris.iyte.edu.tr/bitstream/11147/7352/1/T002026.pdf> Accessed August 2, 2021.
23. Mierczynska, J., Cybulska, J., Pieczywek, P. M., Zdunek, A. (2015). Effect of storage on rheology of water-soluble, chelate-soluble and diluted alkali-soluble pectin in carrot cell walls. *Food and Bioprocess Technology*, 8(1), 171–180. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1392-9>
24. Хатко, З.Н., Титов, С.А., Ашинова, А.А., Колодина, Е.М. (2019). Влияние комбинирования пектиновых веществ на вязкость их водных растворов. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 81(2(80)), 133–138. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-2-133-138>
25. Ben-Yoseph, E., Hartel, R. W. (2006). Computer simulation of sugar crystallization in confectionery products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 7(3), 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.12.003>
26. Осипов М. В., Казанцев Е. В., Руденко, Кондратьев Н. Б. (2020). Прогнозирование сохранности кондитерских изделий студнеобразной консистенции. *Всё о мясе*, 55, 257–260. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-55-257-260>
27. Ergun, R., Lietha, R., Hartel, R. W. (2010). Moisture and shelf life in sugar confections. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(2), 162–192. <https://doi.org/10.1080/10408390802248833>
28. Sitnikova, P.B., Tvorogova, A.A. (2019). Physical changes in the structure of ice cream and frozen fruit desserts during storage. *Food systems*, 2(2), 31–35. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-31-35>
29. 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), 82–88. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-82-88>
30. Torres, M. D., Chenlo, F., Moreira, R. (2018). Structural features and water sorption isotherms of carrageenans: A prediction model for hybrid carrageenans. *Carbohydrate Polymers*, 180, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.010>

REFERENCES

1. Kondratyev, N.B., Kazantsev, E.V., Osipov, M.V., Bazhenova, A.E., Linovskaya, N.V. (2020). The influence of the amount of caramel syrup on the processes of moisture transfer during the storage of marmalade. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 82(4(86)), 24–29. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-4-24-29> (In Russian)
2. Rivero, R., Archaina, D., Sosa, N., Schebor, C. (2021). Development and characterization of two gelatin candies with alternative sweeteners and fruit bioactive compounds. *LWT*, 141, Article 110894. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110894>
3. Teixeira-Lemos, E., Almeida, A. R., Vouga, B., Morais, C., Correia, I., Pereira, P. et al. (2021). Development and characterization of healthy gummy jellies containing natural fruits. *Open Agriculture*, 6(1), 466–478. <https://doi.org/10.1515/opag-2021-0029>
4. Ergun, R., Lietha, R., Hartel, R. W. (2010). Moisture and shelf life in sugar confections. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(2), 162–192. <https://doi.org/10.1080/10408390802248833>
5. Wolf, B. (2016). Confectionery and Sugar-Based Foods. Chapter in a book: Reference Module in Food Science. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03452-1>
6. Kavaya, R.I., Omwamba, M.N., Chikamai, B.N., Mahungu, S.M. (2019). Sensory evaluation of syneresis reduced jam and marmalade containing gum Arabic from *Acacia senegal* var. *kerensis*. *Food and Nutrition Sciences*, 10(11), 1334–1343. <https://doi.org/10.4236/fns.2019.1011096>
7. de Avelar, M. H. Efraim, M.P. (2020). Alginate/pectin cold-set gelation as a potential sustainable method for jelly candy production. *LWT*, 123, Article 109119. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109119>
8. Gawkowska, D., Cybulska, J., Zdunek, A. (2018). Structure-related gelling of pectins and linking with other natural compounds: A review. *Polymers*, 10(7), Article 762 <https://doi.org/10.3390/polym10070762>
9. Funami, T. (2010). Functions of food polysaccharides to control the gelatinization and retrogradation behaviors of starch in an aqueous system in relation to the macromolecular characteristics of food polysaccharides. *Food Science and Technology Research*, 15(6), 557–568. <https://doi.org/10.3136/fstr.15.557>
10. Donchenko L. V., Firsov, G.G. (2010). Pectin: main properties, production and application. Moscow: DeLi print, 2007. (In Russian)
11. Tabatorovich, A.N., Reznichenko, I. Yu. (2019). Substantiation of formulations and quality assessment of jelly marmalade based on infusion of rosella petals (*Hibiscus Sabdariffa* L.). *Food industry*, 5, 66–71. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10075> (In Russian)
12. Tabatorovich, A.N., Stepanova, Ye.N., Bakaytis, V.I. (2018). Analysis of the chemical composition and quality indicators of unconventional fruit puree-semi-finished products. *Food industry*, 8, 25–29 (In Russian)
13. Panchev, I. N., Slavov, A., Nikolova, K., Kovacheva, D. (2010). On the water-sorption properties of pectin. *Food Hydrocolloids*, 24(8), 763–769. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.04.002>

14. Yuzhakova, K.V., Savenkova, T.V., Taleysnik, M.A. (2018). Technologic processes of the confectionery mass formation when marmalade production. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*, 1, 57–59. (In Russian)
15. Einhorn-Stoll, U. (2018). Pectin-water interactions in foods — from powder to gel. *Food Hydrocolloids*, 78, 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.029>
16. Guan, L., Xu, H., Huang, D. (2011). The investigation on states of water in different hydrophilic polymers by DSC and FTIR. *Journal of Polymer Research*, 18(4), 681–689. <https://doi.org/10.1007/s10965-010-9464-7>
17. Abasi, S., Podstawczyk, D. A., Sherback, A. F., Guiseppi-Elie, A. (2019). Bio-technical properties of poly(HEMA-co-HPMA) hydrogels are governed by distribution among water states. *ACS Biomaterials Science and Engineering*, 5(10), 4994–5004. <https://doi.org/10.1021/acsbomaterials.9b00705>
18. Ping, Z. H., Nguyen, Q. T., Chen, S. M., Zhou, J. Q., Ding, Y. D. (2001). States of water in different hydrophilic polymers — DSC and FTIR studies. *Polymer*, 42(20), 8461–8467. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(01\)00358-5](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(01)00358-5)
19. Osipov, M.V., Kondratyev, N.B., Kazantsev, E.V., Rudenko, O.S., Semenova, P.A. (2019). Effect of modified starch on the water-holding capacity of gingerbread fillings. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*, 3, 59–62. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/3/59-62> (In Russian)
20. Juarez-Enriquez, E., Olivas, G.I., Ortega-Rivas, E., Zamudio-Flores, P.B., Perez-Vega, S., Sepulveda, D.R. (2019). Water activity, not moisture content, explains the influence of water on powder flowability. *LWT*, 100, 35–39. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.043>
21. Ullah, N., Ullah, S., Khan, A., Ullah, I., Badshah, S. (2018). Preparation and evaluation of carrot and apple blended jam. *Journal of Food Processing & Technology*, 9(4), Article 725. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000725>
22. Sirin, P. (2019). Rheological, textural, physico-chemical and sensory properties of low sugar apple marmalade. A Thesis Submitted to the Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of MASTER OF SCIENCE in Food Engineering. İzmir, Turkey. Retrieved from <https://gcris.iyte.edu.tr/bitstream/11147/7352/1/T002026.pdf> Accessed August 2, 2021.
23. Mierczyńska, J., Cybulska, J., Pieczywek, P. M., Zdunek, A. (2015). Effect of storage on rheology of water-soluble, chelate-soluble and diluted alkali-soluble pectin in carrot cell walls. *Food and Bioprocess Technology*, 8(1), 171–180. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1392-9>
24. Khatko, Z. N., Titov, S.A., Ashinova, A.A., Kolodina, E.M. (2019). Effect of combination of pectin substances on viscosity of their aqueous solutions. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 81(2(80)), 133–138. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-2-133-138> (In Russian)
25. Ben-Yoseph, E., Hartel, R. W. (2006). Computer simulation of sugar crystallization in confectionery products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 7(3), 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.12.003>
26. Osipov, M.V., Kazantsev, E.V., Rudenko, O.S., Kondratyev, N. B. Predicting the safety of confectionery products of jelly-like consistency. *Vsyo o myase*, 5S, 257–260. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5S-257-260> (In Russian)
27. Ergun, R., Lietha, R., Hartel, R. W. (2010). Moisture and shelf life in sugar confections. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(2), 162–192. <https://doi.org/10.1080/10408390802248833>
28. Sitnikova, P.B., Tvorogova, A.A. (2019). Physical changes in the structure of ice cream and frozen fruit desserts during storage. *Food systems*, 2(2), 31–35. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-31-35>
29. 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), 82–88. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-82-88>
30. Torres, M. D., Chenlo, F., Moreira, R. (2018). Structural features and water sorption isotherms of carrageenans: A prediction model for hybrid carrageenans. *Carbohydrate Polymers*, 180, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.010>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Кондратьев Николай Борисович — доктор технических наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: +7-495-963-54-75 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-332-9621 * автор для контактов	Nikolay B. Kondratev — doctor of technical sciences, chief researcher, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-495-963-54-75 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-332-9621 * corresponding author
Осипов Максим Владимирович — кандидат технических наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: +7-495-963-54-75 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8981-5606	Maxim V. Osipov — candidate of technical sciences, director, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-495-963-54-75 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8981-5606
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	Oxana S. Rudenko — candidate of technical sciences, deputy director, All-Russian 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
Казанцев Егор Валерьевич — научный сотрудник, отдел современных методов оценки качества кондитерских изделий, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: +7-926-545-32-76 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8923-0029	Egor V. Kazantsev — researcher, department of modern methods for assessing the quality of confectionery, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-926-545-32-76 E-mail: conditerprom_lab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8923-0029
Калинкина Евгения Станиславовна — техник, технологический отдел, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, Москва, ул. Электrozаводская, д. 20 Тел.: +7-999-099-61-74 E-mail: kalinkina826@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0713-6667	Evgeniia S. Kalinkina — technician, technology department, All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-999-099-61-74 E-mail: kalinkina826@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0713-6667
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/10.21323/2618-9771-2021-4-3-180-189>

Поступила 24.08.2021

Поступила после рецензирования 17.09. 2021

Принята в печать 25.09.2021



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

Обзорная статья

РИСУНОК В СЫРАХ: ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ

Лепилкина О. В.*, Лепилкина О. Н., Логинова И. Н.

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

сыр, глазки, причины
образования, методы контроля

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены результаты научных исследований процесса образования глазков в сырах в зависимости от способа формования и режимов прессования сырной массы; вида газообразующих микроорганизмов, входящих в состав закваски; реологических свойств сырной массы; наличия в сырной массе «зародышей» — центров формирования глазков. Отмечено, что наиболее изученными в части формирования рисунка являются крупные сыры типа эмментальского или швейцарского с глазками диаметром до 3 см, которые легко можно оценить, подсчитав их количество и объем. Для этого существуют методы визуализации глазков в объеме сыра: рентгенография, компьютерная и магнитно-резонансная томография, ультразвуковое и акустическое зондирование. Наименее изученным остается процесс образования рисунка в сырах типа тильзитера и российского, формируемых насыпью, с большим количеством глазков неправильной, угловатой формы. В связи с наблюдаемой тенденцией к утрате отличительных признаков сыров этого типа (редкие, недостаточно выраженные глазки) придается важное значение объективным методам оценки рисунка в этих сырах как одного из важнейших показателей качества продукта. Так как компьютерная томография, рентген и магнитно-резонансная томография являются методами, требующими дорогостоящего оборудования, для использования в рутинных исследованиях обоснована необходимость в более простой процедуре, пригодной для производственных лабораторий сыродельных предприятий. Исходя из допущения, что сыры с частым рисунком угловатой, неправильной формы можно рассматривать как пористые тела, сделано предположение о целесообразности разработки метода измерений коэффициента пористости, который мог бы дополнить органолептическую оценку рисунка объективным показателем, позволяющим проводить отбраковку сыров по этому признаку.

Received 24.08.2021

Accepted in revised 17.09.2021

Accepted for publication 25.09.2021

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

Review article

EYES IN CHEESE: REASONS FOR FORMATION AND METHODS OF ASSESSMENT

Olga V. Lepilkina*, Olga N. Lepilkina, Irina V. Loginova

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

KEY WORDS:

cheese, eyes, causes of education,
control methods

ABSTRACT

The results of scientific research of the process of eyes formation in cheeses depending on the molding method and modes of pressing the cheese mass; the type of gassing microorganisms that make up the starter culture; rheological properties of curd; the presence in the cheese mass of “germs” — the centers of the formation of eyes — are considered. It is noted that the most studied in terms of the formation of the pattern are large cheeses of the Emmental or Swiss type with eyes up to 3 cm in diameter, which can be easily estimated by calculating their quantity and volume. For this, there are methods for visualizing eyes in the volume of cheese: X-ray, computed and magnetic resonance imaging, ultrasound and acoustic sounding. The least studied is the process of pattern formation in cheeses like Tilsiter and Russian, molded in bulk, with a large number of irregular, angular eyes. In connection with the observed tendency to the loss of the distinctive features of this type of cheese (rare, insufficiently pronounced eyes), great importance is attached to objective methods for assessing the pattern in these cheeses as one of the most important indicators of the product quality. Since computed tomography, X-ray and magnetic resonance imaging are methods that require expensive equipment, the need for a simpler procedure, suitable for production laboratories of cheesemaking enterprises, is justified for use in routine examinations. Based on the assumption that cheeses with a frequent pattern of angular, irregular shape can be considered as porous bodies, an assumption was made about the advisability of developing a method for measuring the porosity coefficient, which could supplement the organoleptic assessment of the pattern with an objective indicator that would allow the rejection of cheeses on this basis.

1. Введение

Сыр относится к числу древнейших и важнейших пищевых продуктов, получивших широкое признание во всем мире. Он производится из молока различных животных с разнообразными вкусом, консистенцией, внешним видом и формой [1,2,3]. Кусок сыра обладает способностью передавать атмосферу самобытности разных стран и потому этот

продукт по праву считается маркером идентичности во многих культурах [4,5,6].

Одним из важных идентификационных признаков сыра является его рисунок — это вид сыра на разрезе, характеризующийся определенной формой, количеством, размером и расположением глазков. Отклонение рисунка от типичного для данного вида сыра говорит о нарушениях технологии

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Лепилкина, О. В., Лепилкина, О. Н., Логинова, И. Н. (2021). Рисунок в сырах: причины образования и методы оценки. *Пищевые системы*, 4(3), 180-189. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-180-189>

FOR CITATION: Lepilkina, O. V., Lepilkina, O. N., Loginova, I. V. (2021). Eyes in cheese: reasons for formation and methods of assessment. *Food systems*, 4(3), 180-189. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-180-189>

или санитарных условий изготовления. Это влияет на органолептические показатели готового продукта: вкус, запах, консистенцию, внешний вид. Поэтому рисунок является одним из значимых показателей качества сыра, а его контроль — важным элементом комплексного контроля качества продукта [3,7,8,9,10].

В настоящее время во многих странах, в том числе в Российской Федерации оценка рисунка сыров проводится визуально. Как и все органолептические методы, этот способ является субъективным, и его результаты могут быть оспорены. Проведение объективной оценки бывает необходимо, например, при присвоении сыру высшей категории качества или для подтверждения исключительных свойств сыра при присвоении ему наименования места происхождения товара. Для этого требуется использование дополнительных критериев и методов оценки рисунка, позволяющих объективно судить о качестве сыров по этому показателю.

Особое внимание в последние годы привлечено к неразрушающим методам оценки качества сыра. Для контроля за формированием рисунка продукта используются рентгеновские системы, компьютерное зрение (CV), компьютерная томография (СТ), магнитно-резонансная томография (MRI) [2]. Использование указанных методов в условиях производственных лабораторий сыродельных предприятий проблематично по причине высокой стоимости оборудования и высоких требований к обслуживающему персоналу. Поэтому специалистами-сыроделами в разных странах предпринимались попытки разработать простые инструментальные способы контроля рисунка сыра, позволяющие провести быструю оценку этого показателя в созревающих и зрелых сырах.

Методическая сторона вопроса о контроле рисунка сыра неразрывно связана с исследованием причин и механизмов образования глазков в сырах, а также с изучением факторов, влияющих на этот процесс. Сыр является многофакторной биологической системой, состоящей из гетерогенных классов соединений (жиров, белков и углеводов) в сложной физической матрице, структура которой содержит микро- и макрополости, заполненные газом. Оценка и мониторинг образования сырного рисунка — это сложные задачи, требующие использования дополнительных методов для эффективного изучения этого процесса.

Сведения, представленные в настоящем обзоре, имеют целью информирование интересующихся специалистов сыроделия о достигнутых на данный момент результатах исследований причин и факторов влияния на образование глазков в сырах, а также методических аспектах оценки этого процесса.

2.1 Причины образования и факторы влияния на рисунок сыров

Каждый вид сыра должен иметь свой характерный рисунок, состоящий из глазков, которые образуются вследствие локального концентрирования газовой фазы в структуре продукта. Выделяют два источника образования газовой фазы в сырах. Один из них — это воздух, который попадает в сырную массу во время формования. В сырах, формируемых насыпью или наливом, включение воздуха в сырную массу является обязательным условием осуществления процесса. Находясь между сырными зернами, воздух запрессовывается в сырную массу, образуя пустотный щелевидный рисунок неправильной, угловатой формы, являющийся видовым признаком этой группы сыров [11,12]. В процессе созревания сыра такой рисунок мало изменяется [13,14].

Второй источник газа в сырной массе — образование его микроорганизмами заквасочной микрофлоры во время созревания продукта. В результате сбраживания ими лактозы

наряду с молочной и уксусной кислотами образуются газообразные вещества, которые, скапливаясь в микропустотах и полостях, оказывают давление на их стенки, способствуя формированию глазков. Преобладающим компонентом газовой фазы в сырах на всех этапах созревания является углекислый газ (CO_2) [11,15,16,17,18].

На формирование рисунка, кроме источников газообразования, влияют взаимоотношения компонентов газовой фазы и сырной массы. С одной стороны, этот процесс зависит от количества, состава и скорости образования газовой фазы, а с другой — от физико-химических свойств и реологического состояния сырной массы. Образующийся в сыре газ распределяется по нескольким направлениям: необратимо поглощается сырной массой, находится в свободной фазе, локально распределяется в сырной массе, выделяется в атмосферу [15,16,17].

Майоров А. А. и соавторы [15] рассматривают теорию образования рисунка на примере сыра с высокой температурой второго нагревания. В соответствии с ней продуцированный микрофлорой газ начинает насыщать сырную массу. В случаях ее полного насыщения или превышения скорости продуцирования над скоростью поглощения происходит выделение газа в свободную фазу. Этот газ заполняет микропустоты в сырной массе. Скапливаясь в них, газ способствует увеличению размера полостей, образуя глазки. На более поздних стадиях созревания сыра, когда продуцирование газов микроорганизмами уменьшается, процессы поглощения газов сырной массой и диффузия их в атмосферу продолжают. Это приводит к понижению давления газов и прекращению роста рисунка. Перенасыщение сырной массы газом CO_2 необходимо для образования глазков и может быть достигнуто, когда скорость образования CO_2 относительно высокая, а скорость диффузии из сыра — низкая [17].

Д. Нус и соавторы [7] проводили комплексные исследования по выявлению взаимосвязи микроструктуры полутвердого сыра и пространственного расположения глазков, а также кинетики их роста во время созревания. В течение 22 суток объектом исследования были сыры в виде блоков массой 11 кг, изготовленные с использованием молочнокислых и пропионовокислых заквасочных микроорганизмов.

Методом магнитно-резонансной томографии было установлено, что глазки в подкорковых слоях росли медленнее, чем в центре блока, а также были меньше по размеру и не так многочисленны. Для изучения микроструктуры сыра использовали три микроскопических метода: световую микроскопию, конфокальную лазерную сканирующую микроскопию, сканирующую электронную микроскопию. По результатам этих исследований не было обнаружено принципиальных различий в микроструктуре сыра в разных местах блока и в разные сроки созревания [7]. А именно: световая микроскопия показала неизменность при созревании границ между сырными зернами; конфокальная лазерная сканирующая микроскопия выявила жировые глобулы, встроенные в непрерывную белковую сеть, вне зависимости от местоположения и срока созревания; сканирующая электронная микроскопия показала сопоставимую сеть пористых белков для всех образцов. Авторы объясняют неизменность микроструктуры непродолжительным сроком созревания сыра (22 суток). Вместе с тем методом сканирующей электронной микроскопии было обнаружено перераспределение бактерий в объеме блока сыра: в периферийных областях их было меньше, в центре — больше. В центре скопления бактерий были более крупными, чем в слоях, расположенных ближе к корке, особенно в конце созревания сыра. Они были организованы в виде кластеров, встроенных в белковую сеть, что могло иметь два основных

последствия: кластеры бактерий могут действовать как ядра («зародыши») образования глазков, а их большие скопления должны производить больше газа. Этим авторы объясняют более интенсивное развитие глазков в центре блока сыра [7].

Основной причиной неравномерного распределения бактерий в объеме блока сыра авторы [19] считают различие в содержании соли в центре и на периферии. Ближе к внешней поверхности сыра соли больше, в центре — меньше, а соль, как известно, является веществом, ингибирующим рост и развитие молочнокислых и пропионовокислых микроорганизмов [12,20,21] и, следовательно, продуцирование ими CO_2 . Установлено, что пропионовокислые бактерии в центре блока выделяли 27,7 ммоль/кг CO_2 , а во внешней зоне — 18,7 ммоль/кг [22]. Обработка изображений глазков, полученных рентгеновской компьютерной томографией, позволила количественно оценить образование глазков в центральной и периферийной зонах: общая пористость сыра выросла с 0,03% в начале созревания до 4,60% в конце. Пористость во внешней зоне была в 10 раз меньше, а объем глазков в 13 раз меньше, чем в центре сыра. Твердость и жесткость сыра были также выше во внешней зоне, что могло способствовать дополнительному ограничению развития глазков [22].

Объектом исследования в публикации [23] был полутвердый сыр типа тильзитера, изготовленный с использованием дополнительных культур *Lactobacillus casei* или *Lactobacillus plantarum*. В данном исследовании авторы с помощью метода компьютерной томографии продемонстрировали влияние вида микроорганизмов и способности ими продуцировать CO_2 на общее количество глазков, их относительный объем и распределение по размерам. Обе дополнительные культуры полностью метаболизировали цитрат в сыре, тем самым увеличив газообразование. По сравнению с контролем добавление *L. casei* привело к значительному увеличению количества и объема глазков. Добавление *L. Plantarum*, напротив, не оказало существенного влияния на формирование глазков, хотя в результате были получены сыры с большим количеством сукцината и аспартата и меньшим количеством серина.

Аналогичные результаты были получены D. J. O'Sullivan и соавторами [24] на сырах типа швейцарского. Целью исследования было определить влияние факультативно гетероферментативных *Lactobacillus* (*Lactobacillus casei* DPC6987), выделенных из окружающей среды сыродельного завода, на возникновение дефектов рисунка сыра в случае нарушения активности закваски. Контрольные образцы сыра были изготовлены с типичными заквасочными культурами (*Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus helveticus*) вместе с пропионовокислыми бактериями. При изготовлении опытных образцов в закваске отсутствовали популяции *Lactobacillus helveticus*, чтобы имитировать отказ работы закваски. Взамен в каждую экспериментальную ванну добавляли *Lactobacillus casei* DPC6987 из расчета 4 log КОЕ/г.

Анализ состава сыра и рентгеновская компьютерная томография показали, что отсутствие заквасочных бактерий, в данном случае *L. helveticus*, в сочетании с наличием факультативно гетероферментативных лактобацилл (*L. casei*) привели к чрезмерному образованию глазков во время созревания сыра. Это связано с наличием избыточного количества лактозы, галактозы и цитрата на начальных стадиях созревания, которые обеспечили *L. casei* достаточным количеством субстратов для газообразования. Накопление этих ферментируемых субстратов было заметно в сырах, в которых отсутствовала стартовая популяция *L. helveticus*. Результаты этого исследования являются коммерчески значимыми, поскольку они демонстрируют важность жизнеспособности

стартовых популяций и контроля конкретных нестартовых молочнокислых бактерий для обеспечения надлежащего формирования глазков у сыра швейцарского типа [24].

Как уже отмечалось, для образования глазков в сыре необходимо наличие микропустот, являющихся «слабым местом», где скапливаются газы [11,15,16,17,22]. В исследовании [25] D.F.M. Daly и соавторы связывают возникновение микропустот как «ядер» или «зародышей» с микроскопическими пузырьками воздуха, образующимися из пены, получаемой при обработке молока. Количество глазков определяется степенью зародышеобразования, а форма — консистенцией сыра. И то, и другое зависит от образования газа микроорганизмами.

Особый подход к исследованию этого вопроса продемонстрировали D. Guggisberg и соавторы [26], которые предложили и экспериментально подтвердили гипотезу о том, что образование глазков в сырах связано с наличием в молоке инородных микрочастиц растительного происхождения, служащих «зародышами» для образования пустот в сырной массе. Свои исследования они проводили на эментальском сыре, который изготавливали из 90 л молока с добавлением от 0,0625 до 4000 мг порошка сухого сена. Формирование глазков определяли количественно с помощью рентгеновской компьютерной томографии в период от 30 до 130 суток созревания сыра.

Результаты исследования показали, что следовые количества порошка сена в микрофильтрованном молоке вызывают образование глазков во время созревания сыра. Авторы предполагают, что следовые количества сенной пыли, попадающие в сырое молоко, всегда были естественной затравкой, вызывающей начало образования глазков в сыре. Микроскопирование микрочастиц порошка сена выявило присутствие в тканях растений капиллярных структур, в которые возможно попадание воздуха, что способствует диффузии CO_2 из сырной массы в микрочастицы. Последующий рост воздушных полостей при увеличении количества CO_2 вследствие жизнедеятельности заквасочных микроорганизмов в конечном итоге приводит к образованию видимых глазков у сыра. Была обнаружена линейная зависимость между количеством добавленного порошка сена и количеством глазков в сыре ($R^2=0,900$), которая проявлялась до достижения дозы 1 мг порошка сена на 90 л молока. Повышенное содержание сенного порошка (до 4 мг на 90 л молока) привело к эффекту насыщения, т.е. количество и объем глазков, достигнув максимума, далее не изменялись.

Удаление микрочастиц порошка сена из молока с помощью микрофильтрации почти полностью исключило формирование глазков, хотя при ферментации пропионовой кислоты в контрольных сырах должно было образоваться достаточное количество CO_2 . На основании этих результатов авторы делают вывод о том, что отсутствие центров формирования глазков в сырной массе приводит к более высокому избыточному давлению CO_2 , за счет чего увеличивается скорость его диффузии из сыра. Диффузией CO_2 из головки сыра во внешнюю среду авторы объясняют отсутствие глазков в слоях, близко расположенных к поверхности сыра, несмотря на наличие в них достаточного количества центров возможного образования глазков [26].

D. Guggisberg и соавторы [26], ссылаясь на свой опыт многочисленных наблюдений, утверждают, что отсутствие в сыре достаточного количества центров зарождения глазков влечет за собой появление таких дефектов, как трещины и щели, которые образуются во время созревания в холодильной камере. Очевидно, что исследования швейцарских ученых, описанные в данной публикации [26], вступают в противоречие с санитарно-гигиеническими требованиями

к получению молока, которые исключают возможность попадания в молоко посторонних веществ из внешней среды, в частности, твердых частиц корма. Авторы признают это, одновременно отмечая, что с использованием современных закрытых автоматизированных доильных систем, обеспечивающих получение чистого молока, сыроделы все чаще сталкиваются с проблемой отсутствия глазков в сырах.

Конечно, это не единственный фактор, вызывающий такой порок, как «слепой» сыр (в «слепом» сыре либо полностью отсутствуют глазки, либо они расположены так редко, что не обнаруживаются на пробе, взятой щупом). Одной из наиболее важных причин отсутствия рисунка (или же появления редкого и мелкого рисунка) может быть применение «жестких» режимов прессования, а также использование вакуумирования сырной массы при прессовании и при упаковке сыров перед созреванием в полимерные пакеты с последующей термоусадкой. При этом часто происходит деформация рисунка, а в ряде случаев и полное его исчезновение. Для предотвращения этого порока А. А. Майоров с соавторами [14] рекомендуют применять вакуум-упаковочные машины бескамерного или камерного типа, в которых реализован принцип «мягкого вакуума».

Е. А. Николаевой и Л. А. Остроумовым [11] при исследовании образования рисунка в голландском брусковом сыре было установлено, что созревание сыра в термоусадочных пакетах из полимерной пленки в сравнении с сыром, созревающим при традиционном способе ухода, способствует более равномерному распределению рисунка и некоторому увеличению размера глазков. Такие же результаты были получены и при исследовании сыров с высокой температурой второго нагревания [27,28,29].

Форма глазков, образующих рисунок сыра, зависит от используемого способа формования головок. Типичным рисунком сыров, формируемых из пласта, являются глазки правильной округлой формы. Е. А. Николаевой [13] установлено, что в сырах с низкой температурой второго нагревания, формируемых из пласта, первые глазки, различимые рентгеновскими методами, появляются в центре сырной головки на 3–4 сутки созревания, а формирование рисунка заканчивается к 13–15-суточному возрасту. При нормальном развитии процесса созревания сыра «зародыши» глазков образуются в межзерновом пространстве. В сырах с высокой температурой второго нагревания первые глазки появляются на 8–12 сутки пребывания сыров в бродильной камере.

Образование глазков в сырах с высокой температурой второго нагревания наиболее изучено [14,15,19,21,24,25], что позволило разработать математические модели развития рисунка во время созревания, учитывающие изменение концентрации растворенного в сыре газа, диффузию газа через поверхность сыра, уменьшение концентрации газа в результате метаболической активности ферментов [30,31], изменение геометрических размеров головки сыра и плотности сырной массы, которые связаны с объемом глазков [32]. Также изучение данного процесса способствовало созданию коммерческих программных продуктов для анализа сырных глазков на основе метода рентгеновской компьютерной томографии [33].

Для большинства сыров с высокой температурой второго нагревания признаком высокого качества является хорошо развитый рисунок, состоящий из глазков круглой или овальной формы. Размер глазков в сырах этой группы является важным показателем качества продукта. Преимущественно их диаметр составляет от 1 до 3 см. В некоторых странах размер и количество глазков обычно указываются в технических характеристиках продукта как важный идентификационный признак [34].

Круглые или овальные глазки меньшего диаметра характерны для сыров с низкой температурой второго нагревания, формируемых из пласта. В отличие от них, идентификационным признаком сыров с низкой температурой второго нагревания, формируемых насыпью или наливом, рисунок должен состоять из глазков неправильной и угловатой формы.

Типичным представителем группы сыров, формируемых насыпью, является сыр российский — один из любимых видов сыров российского потребителя, что подтверждается последними исследованиями международной исследовательской компании Ipsos [35,36,37]. Технология российского сыра была создана учеными ВНИИМС в 60-х годах 20 века, и с тех пор производство этого продукта увеличивается из года в год. По объемам продаж он находится на первом месте среди всех сыров, производимых в стране, а объемы его производства составляют 70% в группе сыров с низкой температурой второго нагревания [35,36,37].

Особенностью технологии российского сыра является высокий уровень развития процесса молочнокислого брожения, вследствие чего сыр обладает слегка кисловатым вкусом на фоне выраженного сырного. Его рисунок состоит из глазков неправильной и угловатой формы. В отличие от других сыров с такой же технологией формирования рисунок в российском сыре должен быть более частым, а на разрезе тонкий ломтик сыра должен выглядеть, образно выражаясь, как легкое кружево. Это обусловлено особенностями технологических приемов изготовления, составом заквасочной микрофлоры, условиями созревания сыра [3,11,38].

Излишне мелкий или неравномерный рисунок в российском сыре может свидетельствовать о нарушении режимов самопрессования и прессования, повышенной влажности продукта, а отсутствие рисунка, редкий или мелкий рисунок — об излишне высокой кислотности сырной массы, при которой глазки «заплывают». Но и слишком крупные глазки или пустоты также говорят об изменении показателей качества не в лучшую сторону.

Основные причины возникновения пороков рисунка — это некачественное сырье, неблагоприятное санитарно-гигиеническое состояние окружающей среды, нарушение технологии при формировании и созревании сыра, допущение персоналом ошибок, приводящих к нарушению целостности головок. Из-за плохого санитарно-гигиенического состояния производства вследствие попадания в молоко посторонней микрофлоры в сырах развивается пустотный, сетчатый, рванный или губчатый рисунок [13,39,40].

Важно, что рисунок сыра является практически единственным доступным рядовому потребителю показателем качества при выборе сыра на торговой полке, особенно если продукт продается в расфасованном виде. Но если для потребителя будет достаточна визуальная оценка рисунка сыра, то для организаций, контролирующих качество сыров, необходимы дополнительные объективные критерии оценки, которые могли бы исключить возникновение спорных ситуаций по причине субъективности органолептического метода.

2.2 Методы контроля рисунка в сырах

Органолептическая оценка — самый простой способ оценки качества сыра, в том числе его рисунка, формирующегося во время созревания продукта. К органолептическим методам относятся визуальная оценка рисунка на разрезе сыра, а также акустический метод, когда сыродел по звуку, производимому сыром после удара по нему, судит о степени развития глазков и зрелости сыра. Оба метода, как и все органолептические методы, имеют главный недостаток — это

субъективность оценки, так как даже у специально обученных экспертов-дегустаторов отмечается различный уровень восприятия оцениваемого параметра [41].

Визуальная органолептическая оценка рисунка сыра требует разрезания продукта на части или отбора пробы с помощью цилиндрического пробоотборника. В обоих случаях нарушается целостность цилиндра или блока, что нежелательно, если сыр еще находится в процессе созревания. Поэтому очевидно, что неразрушающий контроль за формированием глазков в сыре предпочтителен.

Одним из неразрушающих органолептических методов оценки рисунка сыра считается акустический метод, которым издавна пользуются опытные сыроделы при производстве крупных сыров типа эмментальского или швейцарского. Для этого типа сыров важно определять, когда появляются глазки и когда они достигают оптимальных размеров и количества. С этой целью сыродел прослушивает издаваемый при простукивании по поверхности сыра звук, по которому определяет необходимость остановить или продолжить созревание продукта.

Глазки, изменяющиеся в размерах при созревании сыра, действуют как рассеиватели звука. При увеличении их количества и размеров происходит ослабление звукового сигнала. Кроме того, при созревании сыра происходят структурные и биохимические изменения самой сырной матрицы, что также отражается на распространении звуковых волн в сыре [42]. Все эти изменения должен чувствовать сыродел и на основе личного опыта, накопленного годами, делать выводы о состоянии созревающего сыра.

Как и все органолептические методы, этот способ не лишен недостатков, связанных с индивидуальными особенностями восприятия звука разными людьми в разных условиях, ведь в данном процессе решающую роль играет опыт.

С развитием компьютерных технологий на смену человеческих органов слуха пришли акустические методы в совокупности с независимой от человека компьютерной обработкой звукового сигнала [42,43,44].

М. Gonzalez с соавторами [42,43] разработан метод обнаружения и мониторинга образования глазков у сыра типа эмментальского с помощью акустической техники. Метод основан на анализе спектра Фурье звуковых колебаний, распространяющихся в сыре в процессе его созревания. Гипотеза, положенная в основу этой работы, заключалась в том, что глазки — это серьезное структурное изменение, которое изменит акустический отклик сыра.

Акустические измерения заключались в получении реакции на механическое воздействие — импульс, который генерировался на верхней плоскости сыра и принимался датчиком вибрации на нижней стороне алюминиевого лотка, не контактирующего напрямую с сыром. Импульсы генерировались с помощью ударного устройства с электронным управлением. Аналоговые сигналы, полученные пьезоэлектрическим датчиком, на нижней стороне сыра оцифровывались с помощью устройства сбора данных и передавались на персональный компьютер через порт USB.

Установлено, что затухание сигнала сильно зависит от соотношения между длиной звуковой волны и размером области распространения. Оно увеличивается с увеличением частоты, поэтому в данном методе использовались низкие частоты (0–500 Гц). Это, по мнению авторов, выгодно отличается предлагаемый метод от ультразвукового сканирования, при котором затухание сигнала происходит быстро в области, измеряемой несколькими сантиметрами [45].

Тем не менее J. J. Eskelinen и др. [45] на основании собственных результатов исследования делают положительное заключение о возможности использования ультразвукового

метода для мониторинга образования глазков и определения по ним окончания созревания швейцарского сыра. Эта возможность была продемонстрирована путем сравнения трехмерного ультразвукового изображения и эталонного трехмерного изображения, созданных из одного и того же образца сыра. На ультразвуковых изображениях можно было различить глазки, трещины и сырную матрицу. Структурные элементы на ультразвуковом изображении показали пространственное соответствие изображению, построенному на образце нарезанного сыра. Вместе с тем авторы признают, что в первую очередь этот метод целесообразно применять для обнаружения дефектов (трещин) и инородных тел в сыре [45,46], а также для определения структурно-механических свойств сыра [47,48,49]. Он может быть реализован в одном недорогом устройстве для оперативного мониторинга, проводимого на сыродельных предприятиях [50].

Таким образом, несмотря на положительные результаты использования акустических методов для оценки рисунка сыра, они не нашли широкого практического применения в сыроделии. Очевидно, это связано с определенной долей условности в интерпретации получаемых результатов. Более надежными считаются визуальные методы исследования, такие как компьютерное зрение (CV), рентгенография, рентгеновская и компьютерная томография, которые пришли на смену зрительного восприятия человеком рисунка сыров.

Компьютерное зрение (CV) предполагает обработку изображений поверхности сыра, полученных с помощью фотокамеры [2,10,51,52]. Систему компьютерного зрения составляют пять основных компонентов: источник света, камера, плата захвата изображения, компьютерное оборудование и программное обеспечение [2].

На основе компьютерного зрения разработан метод измерения площади поверхности ломтиков сыра, занятой глазками, с целью сравнительной оценки образования газа при созревании различных сыров [53]. Цифровая камера, установленная на копировальной стойке с освещением, использовалась для создания цифровых изображений каждого ломтика сыра. Была задействована коммерческая программа для анализа цифровых изображений и написан алгоритм для измерения площади изображения ломтика сыра, занятой глазками. Изображения сканировались, чтобы определить, какой цветовой канал обеспечивает их наилучший контраст. Используемая программа обработки изображений (MATLAB®) позволяла устранять механическую открытость или ложные глазки, а затем сканировать изображение для получения процентного распределения пикселей в зависимости от их интенсивности. Было определено пороговое значение, чтобы отличить пиксели, находящиеся в глазках, от пикселей, представляющих области без глазков. Для сыров эменталь, рагузано и чеддер был рассчитан процент от общей площади поверхности, занятой глазками. Коэффициент вариации метода изменялся от 2,43% (если площадь глазков составляла около 1% поверхности сырного ломтика) до 0,92% (если площадь глазков составляла около 6,8% площади поверхности ломтика сыра). По мнению авторов, этот метод можно использовать в качестве инструмента в исследовательских целях для установления влияния различных факторов на количество газа, образующегося при созревании сыров, или в качестве инструмента контроля качества при производстве сыра.

Компьютерное зрение считается неразрушающим методом контроля рисунка сыра [2], однако это не совсем верно, потому что для получения и анализа изображений внутренних поверхностей сыра этим методом его необходимо разрезать на ломтики или как минимум пополам. В данном

случае оптические измерения проводятся только на поверхности образца, что может стать причиной возникновения ошибок при характеристике блока сыра в целом [54].

Альтернативой методу CV являются методы, позволяющие получать изображения внутренней структуры сыра без вмешательства в его целостность. К ним относятся рентгенография, компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ) [2,34]. Исследования этих методов с целью проведения контроля качества сыров и других сельскохозяйственных продуктов показали положительные результаты, хотя применяются они преимущественно в медицине.

Рентгеновские лучи могут проходить через весь объем сыра без полного ослабления [55]. В результате получается рентгеновское изображение, представляющее собой проекцию глазков на плоскость светочувствительного материала [34].

Первые исследования в России, доказавшие перспективность использования рентгенографии для контроля процесса созревания сыров с высокой температурой второго нагревания, были проведены Г. Г. Шилером и соавторами [56]. Они предложили проводить оценку интенсивности образования рисунка в продукте путем томографического исследования головки сыра на рентгеновском аппарате. Для этого сыр, находящийся в бродильной камере, 3–5 раз подвергали процедуре рентгенографии в плоскостях головки, отстоящих друг от друга на 1 см. При достижении глазками размера от 5 до 15 мм сыр рекомендовано переносить из бродильной камеры в камеру с температурой 10–12 °С для окончательного созревания.

Недостатком рентгенографического метода является получение рентгеновских изображений с перекрывающимися глазками, что затрудняет подсчет глазков и измерение их истинных размеров. Для устранения этого недостатка предпринимались попытки создания учитывающих перекрытие глазков программ для автоматизированной обработки изображений [17], а развитие компьютерных технологий поставило метод рентгено-томографического исследования рисунка сыра на более высокий уровень [17,24,26,33].

В отличие от рентгенографии, где изображение рисунка сыра проецируется на плоскость, при использовании метода компьютерной томографии получают трехмерные изображения, обработка которых с помощью специальных программ позволяет получить более достоверную информацию о количестве, объеме и распределении глазков в сырной матрице [22,23,24,33]. Это подтверждено сравнительными исследованиями образования глазков в сыре по данным рентгенографии и компьютерной томографии [57]. Количество и общий объем глазков рассчитывали по рентгенограммам и сравнивали с результатами измерений с помощью компьютерной томографии. Было обнаружено, что результаты, полученные после анализа рентгенограмм, были систематически занижены по сравнению с данными компьютерной томографии, и это различие возрастало с увеличением количества глазков. Так, количество глазков, определенных с помощью рентгеновского метода, составляло всего 37,8–83,3% от значений, определенных с помощью компьютерной томографии, а общий объем глазков — всего 9,4–51,0%. Важной причиной этого была трудность для рентгеновского метода идентификации перекрывающихся глазков.

С целью подтверждения адекватности метода компьютерной томографии для контроля рисунка и программного обеспечения для анализа изображений в качестве неразрушающего метода количественной оценки объема глазков сыра D. Guggisberg и др. [23] провели эксперимент. Объектом стали 12 твердых сыров без глазков, приготовленных

с включением 0–100 полых шариков из полипропилена диаметром 10 и 20 мм. Результаты измерения общего объема «искусственных глаз» методом компьютерной томографии показали хорошую корреляцию с известным объемом добавленных шариков ($R^2 > 0,998$).

Из-за высокой точности обнаружения глазков неразрушающий метод компьютерной томографии обычно рассматривается как эталонный метод во многих литературных источниках по мониторингу роста глазков во время созревания сыра [2,22,26,57,58].

При положительном опыте использования рентгенографии и компьютерной томографии для оценки формирования рисунка в сыре необходимо все же отметить существующую озабоченность ученых по поводу безопасности оператора при работе с методами, в основе которых лежат рентгеновское и ионизирующее излучения.

Альтернативой методам рентгенографии и компьютерной томографии можно считать методы магнитно-резонансной томографии (МРТ) [7,59]. Они основаны на явлениях ядерно-магнитного резонанса с измерением электромагнитного отклика атомных ядер, находящихся в сильном постоянном магнитном поле, в ответ на возбуждение их определенным сочетанием электромагнитных волн. В МРТ такими ядрами являются ядра атомов водорода, присутствующие в огромном количестве в составе всех веществ сырной массы. Метод МРТ позволяет оценивать количество, объем и пространственное распределение глазков в сыре.

Использованию метода 3D МРТ в сочетании с алгоритмом обработки изображений для характеристики отдельных глазков полутвердых сыров во время созревания посвящена работа [59]. Было выявлено влияние пространственной неоднородности сыра на скорость роста глаз и обнаружено, что глазки могут иметь очень похожие профили роста и разную скорость роста. По мнению авторов, этот метод может быть мощным инструментом для изучения влияния изменений рецептуры или параметров технологического процесса изготовления на внутреннюю структуру сыра, в частности, на его рисунок.

Применение метода МРТ для мониторинга роста одного глазка сыра под известным давлением газа и для понимания реологического поведения полутвердого сыра описано в работе [60]. С этой целью была разработана специальная установка для одновременного измерения объема и давления внутри одного глазка полутвердого сыра. К глазку сыра применяли давление газа известного уровня. Раздувание глазка под давлением контролировали путем анализа изображений с измерением объема, горизонтального и вертикального диаметров глазка, а также изменения формы верхней поверхности исследуемой головки сыра. Результаты показали, что рост глазков определялся вязкой частью вязкоупругости при низкой упругой деформации. Это позволило сделать вывод о том, что линейная вязкоупругость применима для описания роста глазков в полутвердом сыре.

Вышеописанные методы неразрушающего контроля за формированием рисунка в сырах, основанные на явлениях ядерно-магнитного резонанса, рентгеновского и ионизирующего излучений, признаны очень полезным инструментом, например, для изучения культур газообразующих микроорганизмов, влияния различных технологических факторов на развитие глазков, для лучшего понимания механизмов, приводящих к дефектам во время формирования глазков. Однако они требуют наличия сложного и дорогостоящего приборного оборудования, а также специально обученного персонала для проведения измерений и грамотной интерпретации получаемых результатов. Очевидно, что использование этих методов будет ограничиваться только

научно-исследовательскими целями. Для практического применения на сыродельных предприятиях необходимы более простые в исполнении приборные методы контроля рисунка сыров в дополнение к органолептическим методам. Такие попытки предпринимались ранее [61,62] и предпринимаются в настоящее время [32].

Так, М. González и соавторами [32] разработана методика оценки объема глазков швейцарского сыра по внешним параметрам. Авторы предлагают неразрушающий метод, основанный на измерениях массы, диаметра и высоты цилиндрической головки сыра, которые изменяются во время созревания продукта в связи с формированием крупных глазков. Через каждые пять суток одну из созревающих головок разрезали по диаметру и делали фотографии глазков на разрезе для оценки их распределения. Была получена хорошая корреляция между оценкой объема глазков с использованием анализа изображений и изменениями размеров головки. На основе этого была разработана модель для оценки объемной доли глазков в зависимости от массы и геометрических размеров головки сыра. Вместе с тем авторы отмечают, что параметры упомянутых моделей необходимо оценить заранее, поскольку они зависят от типа сыра, температуры, относительной влажности, а также от других внутренних и внешних факторов.

Армянскими исследователями [61] предложен метод оценки формирования глазков в сырах типа швейцарского по диаметру глазка, определяемого путем прокалывания головки сыра иглой-датчиком на глубину 20–22 см через боковую поверхность. Игла-датчик представляет собой два электрода с изолирующей прокладкой между ними. При прохождении иглы через сплошную сырную массу электрическая цепь прибора замыкается через наконечник иглы, являющийся датчиком, и проходящий ток преобразуется в звуковой сигнал. При попадании наконечника иглы в глазок электрическая цепь размыкается, а звуковой сигнал прекращается на время прохождения датчиком пустого пространства глазка. При достижении наконечника иглы сырной массы (токопроводящей среды) звуковой сигнал возобновляется. Размер глазка определяется по градуированной шкале, нанесенной на иглу. Для реализации этого способа был сконструирован прибор, схема которого, кроме градуированной иглы-датчика, включала усилитель электрического сигнала и преобразователь электрического сигнала в звуковой.

В дальнейшем этот прибор был модернизирован путем включения в конструкцию подпружиненного токопроводящего наконечника иглы и динамометра с калиброванной пружиной [62]. Прокалывание головки сыра в этом способе осуществляется с постоянной скоростью с помощью электропривода. Состояние рисунка сыра оценивают по диаграмме, отражающей изменение усилия сопротивления сырной массы при проникновении в нее иглы-датчика (при попадании датчика на глазок усилие резко падает).

3. Заключение

Обзор опубликованных результатов научных исследований позволяет сделать вывод о достаточно полной изученности процесса образования глазков в сырах в зависимости от различных факторов. Наиболее значимыми из них явля-

ются: способ формирования и режимы прессования сырной массы; вид газообразующих микроорганизмов, входящих в состав закваски; реологические свойства сырной массы, ее проницаемость для образующихся газов; наличие в сырной массе «зародышей» — центров формирования глазков.

Наиболее изученными в части формирования рисунка являются крупные сыры типа эментальского или швейцарского, изготавливаемые с использованием пропионовокислых бактерий. Отличительным признаком этих сыров является наличие крупных глазков (диаметром до 3 см), которые легко можно подсчитать количественно, а также измерить их объем. Для этого существуют методы визуализации глазков в объеме сыра: рентгенография, компьютерная и магнитно-резонансная томография, ультразвуковое и акустическое зондирование. В сочетании с компьютерными программами обработки полученных изображений эти методы дают достаточную информацию о формировании рисунка в процессе созревания сыров этого типа.

Наименее изученным остается процесс образования рисунка в сырах, формируемых насыпью, для которых характерным признаком является наличие большого количества глазков неправильной, угловатой формы, равномерно распределенных по объему сыра. К ним относятся сыры типа тильзитера, а в России — российский сыр, лидирующий по объемам производства и потребительским предпочтениям. Только в одной публикации 2013 года, где описывается разработка компьютерной программы для анализа рисунка сыра по изображениям, полученным методом рентгеновской компьютерной томографии, речь идет о сыре тильзитер, близкому по характеристикам к сыру российский.

К сожалению, следует отметить, что в последние годы наметилась тенденция к утрате отличительных признаков сыров этого типа. Особенно это касается сыра российский, в котором одним из наиболее распространенных пороков являются пороки рисунка. Как правило, это редкие, недостаточно выраженные глазки, в то время как в идеале на разрезе ломтик этого сыра должен выглядеть тонким и «легким». Очевидно, что первостепенный вклад в решение этой проблемы должны внести методы оценки развития рисунка в сыре как одного из важнейших показателей качества продукта.

Компьютерная томография, рентген и МРТ — методы, требующие больших экономических затрат, не пригодны для использования в рутинных исследованиях. Поэтому должен быть более простой способ, не требующий дорогостоящего оборудования и высококвалифицированного обслуживающего персонала, применимый в условиях производственных лабораторий сыродельных предприятий.

Сыры с частым рисунком неправильной формы можно рассматривать как пористые тела, которые характеризуются коэффициентом пористости. На наш взгляд, разработка метода измерений этого параметра, например, по объемному весу сыра или по кажущейся плотности может эффективно дополнить органолептическую оценку рисунка объективным показателем, позволяющим проводить отбраковку сыров по показателю пористости. Использование этого показателя при оценке качества сыра может стать дополнительным стимулом для сыроделов к сохранению индивидуальной особенности продукта, характеризующейся рисунком.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. McSweeney, P. L. H., Ottogalli, G., Fox, P. F. (2004). Diversity of cheese varieties: An overview. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, 2, 1–23. [https://doi.org/10.1016/s1874-558x\(04\)80037-x](https://doi.org/10.1016/s1874-558x(04)80037-x)
2. Lei, T., Sun, D.-W. (2019). Developments of nondestructive techniques for evaluating quality attributes of cheeses: A Review. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 527–542. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.013>

3. Гудков, А.В. (2003). Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты. М.: ДеЛи принт, 2003.
4. Uzun, P., Serrapica, F., Masucci, F., Assunta, B. C. M., Yildiz, H., Grasso, F. et al. (2020). Diversity of traditional Caciocavallo cheeses produced in Italy. *International Journal of Dairy Technology*, 73(1), 234–243. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12640>
5. Berno, T., Fusté-Forné, F. (2020). Imaginaries of cheese: revisiting narratives of local produce in the contemporary world. *Annals of Leisure Research*, 23(5), 608–626. <https://doi.org/10.1080/11745398.2019.1603113>
6. Bragin, L. A., Panasenko, S. V., Nikishin, A. F., Aleksina, S. B., Boykova, A. V. (2019). Regional aspects of the development of the cheese market in terms of the trend of healthy nutrition. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7(1), 626–636. [https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.1\(44\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.1(44))
7. Huc, D., Mariette, F., Challos, S., Barreau, J., Moulin, G., Michon, C. (2014). Multi-scale investigation of eyes in semi-hard cheese. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 24, 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.10.002>
8. Martley, F.G., Crow, V.L. (1996). Open texture in cheese: the contributions of gas production by microorganisms and cheese manufacturing practices. *Journal of Dairy Research*, 63, 489–507. <https://doi.org/10.1017/s0022029900032015>
9. Ларкина, А.В., Комарова, С.Г. (2016). Оценка качества сыра на российском рынке. *Успехи в химии и химической технологии*, 30(2), 118–119.
10. Khatib, A.R., Guirguis, H.A., Tawfik, S.M., Farag, M.A. (2019). Cheese ripening: A review on modern technologies towards flavor enhancement, process acceleration and improved quality assessment. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 343–360. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.009>
11. Николаева, Е.А., Остроумов, Л.А. (2007). Образование рисунка в сырах с низкой температурой второго нагревания. *Сыроделие и маслоделие*, 2, 14–15.
12. Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., McSweeney, P.L.H. (2017). *Fundamentals of cheese science*. New York: Springer, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7681-9>
13. Николаева, Е.А. (2005). Пороки рисунка сыра. *Сыроделие и маслоделие*, 5, 22–23.
14. Майоров, А.А., Николаева, Е.А., Чупин, А.А. (2009). Технические и технологические перспективы производства сыров, формуемых насыщенным способом. *Сыроделие и маслоделие*, 4, 28–30.
15. Майоров, А.А., Щетинин, М.П., Николаева, Е.А. (2004). К теории образования рисунка в крупных сырах. Сборник статей: Технология и техника пищевых производств. Кемерово: КемТИПП, 40–41.
16. Law, B.A., Tamime A. Y. (2010). *Technology of cheesemaking*. United Kingdom: Blackwell Publishing Ltd., 2010.
17. Van den Berg, G., Meijer, W. C., Düsterhöft, E.-M., Smit, G. (2004). Gouda and related cheeses. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, 2, 103–140. [https://doi.org/10.1016/s1874-558x\(04\)80041-1](https://doi.org/10.1016/s1874-558x(04)80041-1)
18. Stephanie Clark E. C. (2008) Swiss Cheese and Related Products. Chapter in a book: *The Sensory Evaluation of Dairy Products*. Springer, New York, NY, 2008. https://doi.org/10.1007/978-0-387-77408-4_14
19. Huc, D., Roland, N., Grenier, D., Challos, S., Michon, C., Mariette, F. (2014). Influence of salt content on eye growth in semi-hard cheeses studied using magnetic resonance imaging and CO₂ production measurements. *International Dairy Journal*, 35(2), 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.11.010>
20. Hickey, C.D., Fallico, V., Wilkinson, M. G., Sheehan, J. J. (2018). Redefining the effect of salt on thermophilic starter cell viability, culturability and metabolic activity in cheese. *Food Microbiology*, 69, 219–231. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.08.015>
21. Bisig, W., Guggisberg, D., Jakob, E., Turgay, M., Irmeler, S., Wechsler, D. et al. (2018). The effect of NaCl and metabolic profile of propionibacteria on eye formation in experimental Swiss-type cheese. *International Dairy Journal*, 89, 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.09.001>
22. Huc, D., Challos, S., Monziols, M., Michon, C., Mariette, F. (2014). Spatial characterisation of eye-growing kinetics in semi-hard cheeses with propionic acid fermentation. *International Dairy Journal*, 39(2), 259–269. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.06.010>
23. Guggisberg, D., Fröhlich-Wyder, M. -T., Irmeler, S., Greco, M., Wechsler, D., Schuetz, P. (2013). Eye formation in semi-hard cheese: X-ray computed tomography as a non-invasive tool for assessing the influence of adjunct lactic acid bacteria. *Dairy Science & Technology*, 93(2), 135–149. <https://doi.org/10.1007/s13594-012-0105-2>
24. O'Sullivan, D. J., McSweeney, P. L. H., Cotter, P. D., Giblin, L., Sheehan, J. J. (2016). Compromised *Lactobacillus helveticus* starter activity in the presence of facultative heterofermentative *Lactobacillus casei* DPC6987 results in atypical eye formation in Swiss-type cheese. *Journal of Dairy Science*, 99(4), 2625–2640. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10503>
25. Daly, D. F. M., McSweeney, P. L. H., Sheehan, J. J. (2009). Split defect and secondary fermentation in Swiss-type cheeses — A review. *Dairy Science & Technology*, 90(1), 3–26. <https://doi.org/10.1051/dst/2009036>
26. Guggisberg, D., Schuetz, P., Winkler, H., Amrein, R., Jakob, E., Fröhlich-Wyder, M.-T. et al. (2015). Mechanism and control of the eye formation in cheese. *International Dairy Journal*, 47, 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.03.001>
27. Остроумов, Л.А., Николаева, Е.А. (2007). Рисунок в сырах с высокой температурой второго нагревания. *Сыроделие и маслоделие*, 1, 17–18.
28. Остроумов, Л.А., Майоров, А.А., Николаева, Е.А. (2009). Динамика образования рисунка в сырах. *Техника и технология пищевых производств*, 3(14), 19а–23.
29. Дубовик, Н.В. (2012). Изменение массы и качества сыра «Витязь» при созревании в полимерной пленке «Криовак». Сборник научных трудов: *Молодые ученые — сельскому хозяйству Алтая*, 6, 149–150.
30. Осинцев, А.М., Остроумов, Л.А., Николаева, Е.А. (2008). Модель роста рисунка в сырах с высокой температурой второго нагревания: кинетика газообразования. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 10, 36–39.
31. Осинцев, А.М., Остроумов, Л.А., Николаева, Е.А. (2009). Модель развития рисунка в сырах с высокой температурой второго нагревания. *Техника и технология пищевых производств*, 2, 22а–26.
32. González, M., Budelli, E., Pérez, N., Lema, P. (2020). Estimation of eye formation in Swiss-type cheese using geometrical measurements. *Journal of Food Engineering*, 275, Article 109848. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109848>
33. Schuetz, P., Guggisberg, D., Fröhlich-Wyder, M.-T., Wechsler, D. (2016). Software comparison for the analysis of cheese eyes in X-ray computed tomography. *International Dairy Journal*, 63, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.08.001>
34. Kraggerud, H., Wold, J. P., Høy, M., Abrahamsen, R. K. (2009). X-ray images for the control of eye formation in cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 62(2), 147–153. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2009.00478.x>
35. Россияне назвали любимым сорт сыра. Электронный ресурс: <https://iz.ru/1069497/2020-10-05/rossiane-nazvali-liubimiy-sort-syra> Дата обращения 07.07.2021.
36. Россияне назвали любимые сыры. Электронный ресурс: <https://ria.ru/20201005/syr-1578199543.html> Дата обращения 07.07.2021.
37. Стал известен самый любимый сыр в России. Электронный ресурс: <https://bobo.ru/news/stal-izvesten-samyu-lyubimyy-syr-v-rossii> Дата обращения 07.07.2021.
38. Энциклопедия «Пищевые технологии». Том 4 «Технология сыров и масла». (2017). Углич: «ИД «Углич». 2017.
39. Дунченко, Н.И., Михайлова, К.В. (2018). Причины возникновения технологических рисков при производстве сыра «Российский». *Сыроделие и маслоделие*, 3, 38–40.
40. Дунченко, Н.И., Михайлова, К.В., Попова, А.В. (2015). Оценка рисков при производстве сыра «Российский». *Сыроделие и маслоделие*, 6, 30–32.
41. Njoman, M. F., Nugroho, G., Chandra, S. D. P., Permana, Y., Suhadi, S., Mujiono, P. et al. (2017). The vulnerability of human sensory evaluation and the promising senses instrumentation. *British Food Journal*, 119(10), 2145–2160. <https://doi.org/10.1108/bfj-10-2016-0505>
42. González, M., Budelli, E., Pérez, N., Lema, P. (2020). Acoustic techniques to detect eye formation during ripening of Emmental type cheese. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 59, Article 102270. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102270>
43. Gonzalez, M., Pérez, N., Budelli, E., Lema, P. (2019). *Acoustic monitoring of eye formation in Swiss type cheese*. International Congress on Ultrasonics, 38(1) <https://doi.org/10.1121/2.0001084>
44. Kertész, I., Felföldi, J. (2016). Comparison of sound velocity estimation and classification methods for ultrasonic testing of cheese. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 12(1), 51–62. <https://doi.org/10.1556/446.12.2016.3>
45. Eskelinen, J.J., Alavuotunki, A.P., Hægström, E., Alatosava, T. (2007). Preliminary study of ultrasonic structural quality control of swiss-type cheese. *Journal of Dairy Science*, 90(9), 4071–4077. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0105>
46. Leemans, V., Destain, V.-F. (2009). Ultrasonic internal defect detection in cheese. *Journal of Food Engineering*, 90(3), 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.042>
47. Cho, B.-K., Irudayaraj, J. M. K. (2003). A Noncontact Ultrasound Approach for Mechanical Property Determination of Cheeses. *Journal of Food Science*, 68(7), 2243–2247. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05754.x>
48. Conde, T., Cárcel, J. A., García-Pérez, J. V., Benedito, J. (2007). Non-destructive analysis of Manchego cheese texture using impact force–deformation and acoustic impulse–response techniques. *Journal of Food Engineering*, 82(2), 238–245. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.027>
49. Benedito, J., Conde, T., Clemente, G., Mulet, A. (2006). Use of the Acoustic Impulse-Response Technique for the Nondestructive Assessment of Manchego Cheese Texture. *Journal of Dairy Science*, 89(12), 4490–4502. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(06\)72497-3](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(06)72497-3)
50. Haeggstrom, E., Eskelinen, J., Haapalainen, J., Alavuotunki, A., Alatosava, T. (2006). *PIH-6 ultrasonic structural quality control of swiss-type cheese*. 2006 IEEE Ultrasonics Symposium. <https://doi.org/10.1109/ultsym.2006.342>
51. Granlund G. H., Knutsson H. (2013). *Signal Processing for Computer Vision*. Springer Science & Business Media, 2013.
52. Szeliski R. (2011) Introduction. Chapter in a book: *Computer Vision. Texts in Computer Science*. Springer, London. https://doi.org/10.1007/978-1-84882-935-0_1
53. Caccamo, M., Melilli, C., Barbano, D.M., Portelli G., Marino, G., Licitra, G. (2004). Measurement of Gas Holes and Mechanical Openness in Cheese

- by Image Analysis. *Journal Dairy Science*, 87(3), 739–748. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(04\)73217-8](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(04)73217-8)
 54. Everard, C.D., O'Callaghan, D.J., Fagan, C.C., O'Donnell, C.P., Castillo, M., Payne, F.A. (2007). Computer vision and color measurement techniques for Inline monitoring of cheese curd syneresis. *Journal Dairy Science*, 90(7), 3162–3170. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-872>
 55. Kotwaliwale, N., Singh, K., Kalne, A., Jh, S.N., Seth, N., Kar, A. (2014). X-ray imaging methods for internal quality evaluation of agricultural produce. *Journal of Food Science and Technology*, 51(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0485-y>
 56. Патент № 499530. Способ контроля процесса созревания сыров / Бахарев Г. Л., Майоров А. А., Остроумов Л. А., Прибыловский С. Л., Шиллер Г. Г. Опубл. 15.01.76. Бюл. № 2.
 57. Schuetz, P., Guggisberg, D., Jerjen, I., Fröhlich-Wyder, M.T., Hofmann, J., Wechsler, D. et al. (2013). Quantitative comparison of the eye formation in cheese using radiography and computed tomography data. *International Dairy Journal*, 31(2), 150–155. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2012.12.007>
 58. Lee, K., Uegaki, K., Nishii, C., Nakamura, T., Kubota, A., Hirai, T., Yamada, K. (2012). Computed tomographic evaluation of gas hole formation and structural quality in Gouda-type cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 65(2), 232–236. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2011.00751.x>
 59. Musse, M., Challos, S., Huc, D., Quéllec, S., Mariette, F. (2014). MRI method for investigation of eye growth in semi-hard cheese. *Journal of Food Engineering*, 121, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.010>
 60. Grenier, D., Laridon, Y., Le Ray, D., Challos, S., Lucas, T. (2016). Monitoring of single eye growth under known gas pressure: Magnetic resonance imaging measurements and insights into the mechanical behaviour of a semi-hard cheese. *Journal of Food Engineering*, 171, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.10.018>
 61. Патент № 606131. Способ контроля процесса созревания сыров / Магакян А. Т., Симонян А. Г. Опубл. 05.05.78. Бюл. № 17.
 62. Патент № 885875. Устройство для определения консистенции и рисунка / Давидянц П. В., Мартиросян А. А., Симонян А. Г. Опубл. 30.11.81. Бюл. № 44.
- ## REFERENCES
1. McSweeney, P. L. H., Ottogalli, G., Fox, P. F. (2004). Diversity of cheese varieties: An overview. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, 2, 1–23. [https://doi.org/10.1016/s1874-558x\(04\)80037-x](https://doi.org/10.1016/s1874-558x(04)80037-x)
 2. Lei, T., Sun, D.-W. (2019). Developments of nondestructive techniques for evaluating quality attributes of cheeses: A Review. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 527–542. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.013>
 3. Gudkov, A.V. (2003). Cheese making: technological, biological and physicochemical aspects. Moscow: DeLi print, 2003. (In Russian)
 4. Uzun, P., Serrapica, F., Masucci, F., Assunta, B. C. M., Yildiz, H., Grasso, F. et al. (2020). Diversity of traditional Caciocavallo cheeses produced in Italy. *International Journal of Dairy Technology*, 73(1), 234–243. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12640>
 5. Berno, T., Fusté-Forné, F. (2020). Imaginaries of cheese: revisiting narratives of local produce in the contemporary world. *Annals of Leisure Research*, 23(5), 608–626. <https://doi.org/10.1080/11745398.2019.1603113>
 6. Bragin, L. A., Panasenko, S. V., Nikishin, A. F., Aleksina, S. B., Boykova, A. V. (2019). Regional aspects of the development of the cheese market in terms of the trend of healthy nutrition. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7(1), 626–636. [https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.1\(44\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.1(44))
 7. Huc, D., Mariette, F., Challos, S., Barreau, J., Moulin, G., Michon, C. (2014). Multi-scale investigation of eyes in semi-hard cheese. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 24, 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.10.002>
 8. Martley, F.G., Crow, V.L. (1996). Open texture in cheese: the contributions of gas production by microorganisms and cheese manufacturing practices. *Journal of Dairy Research*, 63, 489–507. <https://doi.org/10.1017/s0022029900032015>
 9. Larkina, A.V., Komarova, S.G. (2016). Evaluation of the quality of the cheese to the Russian market. *Advances in Chemistry and Chemical Technology*, 30 (2), 118–119. (In Russian)
 10. Khatib, A.R., Guirguis, H.A., Tawfik, S.M., Farag, M.A. (2019). Cheese ripening: A review on modern technologies towards flavor enhancement, process acceleration and improved quality assessment. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 343–360. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.009>
 11. Nikolaeva, E.A., Ostroumov, L.A. (2007). Picture formation in cheeses with low temperature of the second heating. *Cheese and butter making*, 2, 14–15. (In Russian)
 12. Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., McSweeney, P.L.H. (2017). Fundamentals of cheese science. New York: Springer, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7681-9>
 13. Nikolaeva, E.A. (2005). Defects of cheese “picture”. *Cheese and butter making*, 5, 22–23. (In Russian)
 14. Mayorov, A.A., Nikolaeva, E.A., Chupin, A.A. (2009). Technical and technological prospects of cheese formed by the bulk method. *Cheese and butter making*, 4, 28–30. (In Russian)
 15. Mayorov, A.A., Shchetinin, M.P., Nikolaeva, E.A. (2004). Towards the theory of pattern formation in large cheeses. Collection of scientific works: Technology and technology of food production. Kemerovo: KemTIPP, 40–41. (In Russian)
 16. Law, B.A., Tamime A. Y. (2010). Technology of cheesemaking. United Kingdom: Blackwell Publishing Ltd., 2010.
 17. Van den Berg, G., Meijer, W. C., Düsterhöft, E.-M., Smit, G. (2004). Gouda and related cheeses. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, 2, 103–140. [https://doi.org/10.1016/s1874-558x\(04\)80041-1](https://doi.org/10.1016/s1874-558x(04)80041-1)
 18. Stephanie Clark E. C. (2008) Swiss Cheese and Related Products. Chapter in a book: The Sensory Evaluation of Dairy Products. Springer, New York, NY, 2008. https://doi.org/10.1007/978-0-387-77408-4_14
 19. Huc, D., Roland, N., Grenier, D., Challos, S., Michon, C., Mariette, F. (2014). Influence of salt content on eye growth in semi-hard cheeses studied using magnetic resonance imaging and CO₂ production measurements. *International Dairy Journal*, 35(2), 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.11.010>
 20. Hickey, C.D., Fallico, V., Wilkinson, M. G., Sheehan, J. J. (2018). Redefining the effect of salt on thermophilic starter cell viability, culturability and metabolic activity in cheese. *Food Microbiology*, 69, 219–231. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.08.015>
 21. Bisig, W., Guggisberg, D., Jakob, E., Turgay, M., Irmeler, S., Wechsler, D. et al. (2018). The effect of NaCl and metabolic profile of propionibacteria on eye formation in experimental Swiss-type cheese. *International Dairy Journal*, 89, 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.09.001>
 22. Huc, D., Challos, S., Monziols, M., Michon, C., Mariette, F. (2014). Spatial characterisation of eye-growing kinetics in semi-hard cheeses with propionic acid fermentation. *International Dairy Journal*, 39(2), 259–269. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.06.010>
 23. Guggisberg, D., Fröhlich-Wyder, M. -T., Irmeler, S., Greco, M., Wechsler, D., Schuetz, P. (2013). Eye formation in semi-hard cheese: X-ray computed tomography as a non-invasive tool for assessing the influence of adjunct lactic acid bacteria. *Dairy Science & Technology*, 93(2), 135–149. <https://doi.org/10.1007/s13594-012-0105-2>
 24. O'Sullivan, D. J., McSweeney, P. L. H., Cotter, P. D., Giblin, L., Sheehan, J. J. (2016). Compromised *Lactobacillus helveticus* starter activity in the presence of facultative heterofermentative *Lactobacillus casei* DPC6987 results in atypical eye formation in Swiss-type cheese. *Journal of Dairy Science*, 99(4), 2625–2640. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10503>
 25. Daly, D. F. M., McSweeney, P. L. H., Sheehan, J. J. (2009). Split defect and secondary fermentation in Swiss-type cheeses — A review. *Dairy Science & Technology*, 90(1), 3–26. <https://doi.org/10.1051/dst/2009036>
 26. Guggisberg, D., Schuetz, P., Winkler, H., Amrein, R., Jakob, E., Fröhlich-Wyder, M.-T. et al. (2015). Mechanism and control of the eye formation in cheese. *International Dairy Journal*, 47, 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.03.001>
 27. Ostroumov, L.A., Nikolaeva, E.A. (2007). “Picture” in cheeses with high temperature of second heating. *Cheese and butter making*, 1, 17–18. (In Russian)
 28. Ostroumov, L.A., Mayorov, A.A., Nikolaeva, E.A. (2009). Dynamics of formation of figure in cheeses. *Food processing: techniques and technology*, 3(14), 19a–23. (In Russian)
 29. Dubovik, N.V. (2012). Changes in the weight and quality of the “Vityaz” cheese when ripening in the polymer film “Kriovac”. *Collection of Scientific Papers: Young Scientists — to Altai Agriculture*, 6, 149–150. (In Russian)
 30. Osintsev, A.M., Ostroumov, L.A., Nikolaeva, E.A. (2008). Model of growth of figure in cheeses with a heat of the second heating: gas generation kinetics. *Storage and processing of farm products*, 10, 36–39. (In Russian)
 31. Osintsev, A.M., Ostroumov, L.A., Nikolaeva, E.A. (2009). Model of development of figure in cheeses with a heat of the second heating. *Food processing: techniques and technology*, 2, 22a–26. (In Russian)
 32. González, M., Budelli, E., Pérez, N., Lema, P. (2020). Estimation of eye formation in Swiss-type cheese using geometrical measurements. *Journal of Food Engineering*, 275, Article 109848. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109848>
 33. Schuetz, P., Guggisberg, D., Fröhlich-Wyder, M.-T., Wechsler, D. (2016). Software comparison for the analysis of cheese eyes in X-ray computed tomography. *International Dairy Journal*, 63, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.08.001>
 34. Kraggerud, H., Wold, J. P., Høy, M., Abrahamsen, R. K. (2009). X-ray images for the control of eye formation in cheese. *International Journal of Dairy Technology*. 62(2), 147–153. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2009.00478.x>
 35. The Russians named their favorite type of cheese. Retrieved from <https://iz.ru/1069497/2020-10-05/rossiiane-nazvali-liubimyi-sort-syra> Accessed July 7, 2021. (In Russian)
 36. Russians named their favorite cheeses. Retrieved from <https://ria.ru/20201005/syr-1578199543.html> Accessed July 7, 2021. (In Russian)
 37. The most favorite cheese in Russia became known. Retrieved from <https://bober.ru/news/stal-izvesten-samyy-lyubimyy-syr-v-rossii> Accessed July 7, 2021. (In Russian)
 38. Encyclopedia “Food Technologies”. Volume 4 “Cheese and Butter Technology”. Uglich: “Publishing House Uglich”, 2017. (In Russian)

39. Dunchenko, N.I., Mikhailova, K.V. (2018). Reasons of technological risks at the "Rossiiskii" cheese production. *Cheese and butter making*, 3, 38–40. (In Russian)
40. Dunchenko N. I., Mikhailova K. V., Popova A. V. (2015). Assessment of risks at the production of the cheese "Rossiiskii". *Cheese and butter making*, 6, 30–32. (In Russian)
41. Njoman, M. F., Nugroho, G., Chandra, S. D. P., Permana, Y., Suhadi, S., Mujiono, M. et al. (2017). The vulnerability of human sensory evaluation and the promising senses instrumentation. *British Food Journal*, 119(10), 2145–2160. <https://doi.org/10.1108/bfj-10-2016-0505>
42. González, M., Budelli, E., Pérez, N., Lema, P. (2020). Acoustic techniques to detect eye formation during ripening of Emmmental type cheese. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 59, Article 102270. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102270>
43. Gonzalez, M., Pérez, N., Budelli, E., Lema, P. (2019). *Acoustic monitoring of eye formation in Swiss type cheese*. International Congress on Ultrasonics, 38(1) <https://doi.org/10.1121/2.0001084>
44. Kertész, I., Felföldi, J. (2016). Comparison of sound velocity estimation and classification methods for ultrasonic testing of cheese. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 12(1), 51–62. <https://doi.org/10.1556/446.12.2016.3>
45. Eskelinen, J.J., Alavuotunki, A.P., Hægström, E., Alatosava, T. (2007). Preliminary study of ultrasonic structural quality control of swiss-type cheese. *Journal of Dairy Science*, 90(9), 4071–4077. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0105>
46. Leemans, V., Destain, M.-F. (2009). Ultrasonic internal defect detection in cheese. *Journal of Food Engineering*, 90(3), 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.042>
47. Cho, B.-K., Irudayaraj, J. M. K. (2003). A Noncontact Ultrasound Approach for Mechanical Property Determination of Cheeses. *Journal of Food Science*, 68(7), 2243–2247. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05754.x>
48. Conde, T., Cárcel, J. A., García-Pérez, J. V., Benedito, J. (2007). Non-destructive analysis of Manchego cheese texture using impact force–deformation and acoustic impulse –response techniques. *Journal of Food Engineering*, 82(2), 238–245. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.027>
49. Benedito, J., Conde, T., Clemente, G., Mulet, A. (2006). Use of the Acoustic Impulse-Response Technique for the Nondestructive Assessment of Manchego Cheese Texture. *Journal of Dairy Science*, 89(12), 4490–4502. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(06\)72497-3](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(06)72497-3)
50. Haeggstrom, E., Eskelinen, J., Haapalainen, J., Alavuotunki, A., Alatosava, T. (2006). *PIH-6 ultrasonic structural quality control of swiss-type cheese*. 2006 IEEE Ultrasonics Symposium. <https://doi.org/10.1109/ultsym.2006.342>
51. Granlund G. H., Knutsson H. (2013). *Signal Processing for Computer Vision*. Springer Science & Business Media, 2013.
52. Szeliski R. (2011) Introduction. Chapter in a book: *Computer Vision*. Texts in Computer Science. Springer, London. https://doi.org/10.1007/978-1-84882-935-0_1
53. Caccamo, M., Melilli, C., Barbano, D.M., Portelli G., Marino, G., Licitra, G. (2004). Measurement of Gas Holes and Mechanical Openness in Cheese by Image Analysis. *Journal Dairy Science*, 87(3), 739–748. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(04\)73217-8](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(04)73217-8)
54. Everard, C.D., O'Callaghan, D.J., Fagan, C.C., O'Donnell, C.P., Castillo, M., Payne, F.A. (2007). Computer vision and color measurement techniques for Inline monitoring of cheese curd syneresis. *Journal Dairy Science*, 90(7), 3162–3170. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-872>
55. Kotwaliwale, N., Singh, K., Kalne, A., Jh, S.N., Seth, N., Kar, A. (2014). X-ray imaging methods for internal quality evaluation of agricultural produce. *Journal of Food Science and Technology*, 51(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0485-y>
56. Bakharev G. L., Maiorov A. A., Ostroumov L. A., Pribylovskiy S. G., Shiler G. G. Method for controlling the cheese ripening process. Patent RF, no.499530, 1976. (In Russian)
57. Schuetz, P., Guggisberg, D., Jerjen, I., Fröhlich-Wyder, M.T., Hofmann, J., Wechsler, D. et al. (2013). Quantitative comparison of the eye formation in cheese using radiography and computed tomography data. *International Dairy Journal*, 31(2), 150–155. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2012.12.007>
58. Lee, K., Uegaki, K., Nishii, C., Nakamura, T., Kubota, A., Hirai, T., Yamada, K. (2012). Computed tomographic evaluation of gas hole formation and structural quality in Gouda-type cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 65(2), 232–236. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2011.00751.x>
59. Musse, M., Challos, S., Huc, D., Quéllec, S., Mariette, F. (2014). MRI method for investigation of eye growth in semi-hard cheese. *Journal of Food Engineering*, 121, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.010>
60. Grenier, D., Laridon, Y., Le Ray, D., Challos, S., Lucas, T. (2016). Monitoring of single eye growth under known gas pressure: Magnetic resonance imaging measurements and insights into the mechanical behaviour of a semi-hard cheese. *Journal of Food Engineering*, 171, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.10.018>
61. Magakyan A. T., Simonyan A. G. Method for controlling the cheese ripening process. Patent RF, no. 606131, 1978. (In Russian)
62. Davidyants P. V., Martirosyan A. A., Simonyan A. G. A device for determining the consistency and pattern of cheese. Patent RF, no. 885875, 1981. (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
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: lepillkina_vniims@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2375-3959 * автор для контактов	Olga. V. Lepilkina — doctor of technical sciences, leading scientific worker, head of the Department of Physical Chemistry, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-910-965-51-61 E-mail: lepillkina_vniims@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2375-3959 * corresponding author
Лепилкина Ольга Николаевна — инженер, отдел физической химии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская обл., Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-903-646-99-54 E-mail: olgalep1986@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5624-8801	Olga. N. Lepilkina — engineer, Department of Physical Chemistry, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-901-172-06-27 E-mail: olgalep1986@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5624-8801
Логонова Ирина Вячеславовна — кандидат технических наук, научный сотрудник, отдел физической химии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская обл., Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-903-646-99-54 E-mail: irinaloginovavniims@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9224-8246	Irina. V. Loginova — candidate of technical sciences, researcher, Department of Physical Chemistry, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-903-646-99-54 E-mail: irinaloginovavniims@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9224-8246
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/10.21323/2618-9771-2021-4-3-190-196>

Поступила 22.07.2021

Поступила после рецензирования 15.09.2021

Принята в печать 25.09.2021

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

Научная статья

ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИЗОМЕРОВ АМИНОКИСЛОТ В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ

Князева А. С.*, Утьянов Д. А., Куликовский А.В., Курзова А. А.

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

D-энантиомеры, рацемизация, ВЭЖХ, хиральный агент

АННОТАЦИЯ

Пищевая продукция претерпевает большой спектр химических изменений в процессе ее технологической обработки и хранения. В результате таких реакций могут образовываться как новые химические соединения, так и оптическая изомеризация уже присутствующих в составе соединений. Ко второму случаю относится образование D-энантиомеров аминокислот из их L-форм. D-формы аминокислот не только не обладают биологической ценностью для организма, но и зачастую оказывают негативное влияние на человеческий организм из-за невозможности их метаболизировать и, как следствие, их накопления в организме. Целью работы было исследование количественного содержания D-изомеров аминокислот в молоке прошедшем процессы ультрапастеризации и молочных продуктах на бактериальной закваски. Результаты исследований показали, что в обоих случаях рассмотренных технологических приемов происходит изомеризация аминокислот. Наибольшая степень изомеризации отмечена в образцах кефира относительно других образцов. Однако из полученных результатов нет возможности оценить, какая аминокислота в наибольшей степени подвержена процессу рацемизации, т. к. разные образцы содержали разные D-изомеры аминокислот. Наименьшее количество D-изомеров обнаружено в молоке, которое не подвергалось никаким промышленным технологическим обработкам. Исследования показали, что технологическая обработка молока неминуемо приводит к образованию D-изомеров аминокислот, а это в свою очередь как минимум снижает пищевую и биологическую ценность продукта, что делает необходимым более глубокие исследования в данном направлении для установления наиболее важных факторов процесса рацемизации аминокислот пищевых продуктов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по Государственному заданию ФНИ-№ FNEN-2019-0009 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 22.07.2021

Accepted in revised 15.09.2021

Accepted for publication 25.09.2021

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

Original scientific article

STUDIES OF THE CONTENT OF OPTICAL ISOMERS OF AMINO ACIDS IN FOOD

Aleksandra S. Knyazeva*, Dmitry A. Utyanov, Andrey V. Kulikovskii, Anastasiya A. Kurzova

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

KEY WORDS:

D-enantiomers, racemization, HPLC, chiral agent

ABSTRACT

Food products undergo a wide range of chemical changes during their processing and storage. As a result of such reactions, both new chemical compounds and optical isomerization of compounds already present in the composition can be formed. The second case concerns the formation of D-enantiomers of amino acids from their L-forms. D-forms of amino acids not only have no biological value for the body, but also often have a negative effect on the human body due to the impossibility of metabolizing them and, as a consequence, their accumulation in the body. The aim of the work was to study the quantitative content of D-isomers of amino acids in milk that passed the ultra-pasteurization process and dairy products based on bacterial starter culture. The research results showed that in both cases of the considered technological methods, amino acid isomerization occurs. The highest degree of isomerization was observed in kefir samples relative to other samples. However, from the results obtained, it is not possible to estimate which amino acid is most susceptible to the racemization process, since different samples contained different D-isomers of amino acids. The smallest amount of D-isomers is found in milk that has not undergone any industrial processing. Studies have shown that technological processing of milk inevitably leads to the formation of D-isomers of amino acids, and this, in turn, at least reduces the nutritional and biological value of the product, which makes it necessary to conduct deeper studies in this direction to establish the most important factors in the process of racemization of amino acids in food products.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FNEN-2019-0009 of the state assignment of the V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

Пищевая продукция содержит множество ксенобиотиков эндогенного и экзогенного происхождения, которые должны нормироваться, поскольку они потенциально или дока-

зано обладают негативными свойствами для человеческого организма. Ксенобиотики экзогенного происхождения образуются в пищевой продукции в результате различных технологических обработок. Попадая во внутрь, ксенобиотики

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Князева, А.С., Утьянов, Д.А., Куликовский, А.В., Курзова, А.А. (2021). Исследования содержания оптических изомеров аминокислот в пищевых продуктах. *Пищевые системы*, 4(3), 190-196. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-190-196>

FOR CITATION: Knyazeva, A.S., Utyanov, D.A., Kulikovskii, A.V., Kurzova, A.A. (2021). Studies of the content of optical isomers of amino acids in food. *Food systems*, 4(3), 190-196. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-190-196>

оказывают токсичное воздействие на организм. Во время метаболизма эндогенных и экзогенных соединений образуются производные ксенобиотиков — метаболиты, которые повышают восприимчивость к нейродегенеративным заболеваниям во взрослом возрасте или в развивающейся нервной системе [1,2]. К ксенобиотикам относят не только пестициды, радионуклиды, синтетические красители, но и энантиомеры аминокислот.

Аминокислоты являются основой ферментов, рецепторов, антител, сигнальных молекул, гормонов и множества других важных белковых структур во всех живых организмах. Всего описано 20 аминокислот с протеогенной способностью. Их энантиомерные аналоги, D-аминокислоты, считались нефункциональными и не присутствовали в естественных условиях в живых организмах. Однако исследования, проведенные в середине 20-го века, обнаружили присутствие D-аминокислот в тканях у высших животных и в клеточной стенке бактерий.

С 1980-х годов у млекопитающих, включая человека, были обнаружены некоторые D-энантиомеры. В частности, D-серин считается нейромодулятором подтипа N-метил-D-аспартата (NMDA) рецепторов глутамата в головном мозге, а D-аспарагин регулирует гормональную секрецию в различных эндокринных железах [3,4]. D-аланин также действует как агонист рецептора NMDA и локализуется в поджелудочной железе и передней доле гипофиза. Он также показывает четкие постнатальные и циркадные изменения [5]. Выше описанные D-энантиомеры считаются основными веществами для разработки лекарственных средств и диагностики различных заболеваний, поэтому необходимо иметь быстрый аналитический метод с высокой чувствительностью и селективностью [5]. Количество прочих D-энантиомеров у млекопитающих невелико, и они не были хорошо изучены из-за отсутствия соответствующих аналитических методов [6]. Усовершенствования этих методов дало возможность количественно определить D-энантиомеры в нейроэндокринных и эндокринных тканях млекопитающих [7,8]. Такие энантиомеры как D-серин, D-пролин, D-аспарагиновая кислота, D-аланин, D-глутаминовая кислота и D-метионин были обнаружены в центральной нервной системе (ЦНС), цереброспинальной жидкости, зубной эмали, дентине, хрусталике, сетчатке, аорте, кости. В опухолевых клетках были обнаружены энантиомеры глутаминовой кислоты, валина, лейцина, лизина. Большинство энантиомеров сопутствуют таким заболеваниям как болезни Альцгеймера, Паркинсона, Боковой амиотрофический склероз (БАС), эпилепсия, заболевания почек, атеросклероз, катаракта, эластоз [9,10,11].

Наличие D-энантиомеров в белковых тканях человека обусловлено потреблением пищи и напитков. Около 80% D-энантиомеров поглощаются в кишечнике и метаболизируются в печени и почках под действием фермента аминокислоты оксидазы. Низкая активность этого фермента может привести к накоплению данных соединений в организме, которые встраиваются в структуру клетки и изменяют ее [11]. А также присутствие D-энантиомеров в пищевых продуктах снижает усвояемость белка и биодоступность незаменимых аминокислот. D-энантиомеры могут являться основным фактором токсичности пищевых продуктов [12]. Скорость всасывания L-аминокислот в кишечнике выше, чем скорость всасывания D-энантиомеров [13].

Некоторые работы ученых описывают наличие энантиомеров в различных пищевых продуктах. Так во фруктах и овощах концентрации энантиомеров относительно низкие и не превышают 3,4% (фрукты) и 0,7% (овощи) от содержания L-формы. В клементине D-серина — 1,7%, D-глутаминовой кислоты — 1,3% от содержания L-формы. D-аспараги-

новая кислота была обнаружена в грейпфруте и винограде, а D-аланин в яблоках — 2,7% от содержания L-формы.

В промышленных фруктовых соках обнаружили D-аланина от 10% — 42% от содержания L-формы. Такие высокие концентрации свидетельствуют о бактериальном заражении продукта на начальном этапе приготовления. Так как после термообработки бактерии не выживают, таким образом, образовавшиеся энантиомеры можно обнаружить инструментальным способом.

Известно, что молоко, молочные продукты и продукты, подвергшиеся ферментативной обработке, содержат значительное количество D-энантиомеров. Это связано с метаболизмом используемых микроорганизмов [13].

D-энантиомеры могут образовываться в результате пастеризации клеточных стенок микроорганизмов в рубце. Ферментация молока микроорганизмами приводит к высокому содержанию энантиомеров. В йогурте было найдено до 68% D-аланина, 66% D-глутаминовой кислоты и 32% D-аспарагиновой кислоты от содержания L-формы [14].

Пастеризация не приводила к значительному увеличению содержания данных соединений, но при ультрапастеризации молока увеличивала содержание энантиомеров с 2% — 4% до 4% — 6% от содержания L-формы. Использование молочнокислых бактерий и дрожжей привело к образованию несвязанного D-аланина до 38% и 34% от содержания L-формы несвязанного D-гуламиновой кислоты в тесте. Обжаренный кофе содержал 9% и 41% D-фенилаланина, D-аспарагиновой кислоты и D-глутаминовой кислоты от содержания L-формы, тогда как зеленые кофейные бобы содержали <0,2% энантиомеров от содержания L-формы. Квашеная капуста содержала до 25 раз большее количество энантиомеров (аланина, аспарагиновой кислоты, глутаминовой кислоты, глицина, лейцина и лизина) по сравнению со свежей белокочанной капустой [14].

Из выше сказанного энантиомеры можно считать маркерными веществами для оценки возраста, изучения качества при хранении [15], оценки фальсификации [16] и контаминации [17,18], оценки процессов ферментации и изучение связи между компонентами пищи и здоровьем [19,20], а также при выявлении различных патологий.

При воздействии определенных условий обработки на пищевые белки происходит два основных химических изменения: рацемизация всех L-аминокислот до D-энантиомеров и одновременное образование сшитых аминокислот, например лизиноаланин. Рацемизация L-аминокислот возможна в условиях высоких температур и щелочного pH. Данный процесс наблюдался у восьми аминокислот в жареном казеине и бычьем сывороточном альбумине [21,22]. Кроме того, как отмечалось ранее в статье D-энантиомеры синтезируются микроорганизмами из L-изомеров, под воздействием ферментов, аминокислотных оксидаз, трансминаз и рацемаз.

Белки, содержащие D-энантиомеры аминокислот, так же гидролизуются по пептидным связям, как и белки с L-аминокислотами, однако скорость гидролиза ниже, чем у соответствующих нативных белков [23].

Так как у млекопитающих преобладание оксидазами преобладает над коэффициентами конверсии рацематов или эпимеразы. Таким образом, у некоторых видов скорость использования D-энантиомеров в качестве источника L-изомера ограничена активностью оксидазы, что приводит к накоплению D-энантиомеров в организме [15].

Мастерс и Фридман в 1980 году вывели константу степени рацемизации $v\%$ для каждой аминокислоты (отношение D/L) в течение определенного времени, данные представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Степень рацемизации аминокислот

Аминокислота	Казеин	Лактальбумин	Пшеничная клейковина	Зеленый белок	Рыба	Соя	БСА	Гемоглобин
Аланин	15,2	14,4	18,6	22,2	19,3	15,8	22,1	17,1
Валин	2,6	2,7	4,0	4,9	3,1	2,5	3,5	4,0
Лейцин	7,4	5,0	7,2	7,8	6,8	6,3	8,2	6,6
Изолейцин	3,3	3,1	4,0	5,5	3,6	3,9	5,7	5,0
Цистеин		32,1	32,0	43,7	22,8	21,0	23,0	30,0
Метионин	24,7	32,3	33,1	29,8	29,2	24,3	30,0	26,2
Фенилаланин	24,4	24,3	24,4	32,4	28,0	25,5	28,1	30,0
Лизин	8,1	7,2	9,4	8,0	11,5	11,3	13,3	9,9
Аспарагиновая кислота	29,2	22,6	25,6	41,6	25,0	30,8	27,0	18,9
Глутаминовая кислота	19,7	19,5	32,3	35,0	18,9	21,1	18,4	19,8
Серин	41	47,1	42,2	44,0	42,1	44,2	43,0	44,5
Триптофан	29,3	29,1	30,0	36,3	32,8	27,8	28,3	31,2
Тирозин	15,0	18,9	19,5	35,5	16,3	13,7	15,3	22,6

Оптические изменения аминокислот ухудшают питательные качества и безопасность пищевых продуктов за счет образования неметаболизируемых и биологически непригодных для использования их форм. Связанные D-D, D-L и L-D пептидные связи, частично или полностью недоступны для протеолитических ферментов, а так же образуются антагонистические и токсичные соединения. Кроме того, эти измененные белки конкурируют с белками, которые не имеют в своей структуре рацемизированных аминокислот, за активный центр пищеварительных протеиназ в кишечнике и, таким образом, делают нерацемизированные белки менее доступными для усвоения. Однако пока неизвестно, могут ли олигопептиды, содержащие D-энантиомеры, изменять микробную флору пищеварительного тракта [24]. Определение степени рацемизации аминокислот в белках долгое время было затруднительно из-за отсутствия подходящих аналитических методов для измерения образовавшихся специфических D-энантиомеров. В многочисленных исследованиях предпринимались попытки оптимизировать разделение дериватизированных аминокислот на различных хиральных колонках или с использованием хиральных агентов с последующим анализом с помощью ГХ, ГХ/МС и ВЭЖХ [25,26,27,28].

Поскольку D-энантиомеры образуются во время обработки пищевых продуктов, а также происходят из микробных источников, воды, почвы и других сред то они становятся частью нашего рациона (Таблица 2), существует потребность в оценке факторов, влияющих на их образование в пище, безопасность и роль в антимикробных пептидах, компонентах бактериальной клеточной стенки (пептидогликаны) и других функциональных и структурных биомолекулах.

Включение пробиотических бактерий в пищевые продукты увеличилось за последние десятилетия из-за благотворного воздействия, которое эти микроорганизмы оказывают на микрофлору кишечника. К числу наиболее часто используемых пробиотических бактерий в молочных продуктах относятся виды рода *Bifidobacterium*. Бифидобактерии ведут себя иначе по сравнению с обычными молочнокислыми бактериями, которые используются в ферментированных молочных продуктах (например, йогурте), поскольку они требуют длительного времени брожения, анаэробных условий, низкого окислительно-восстановительного потенциала и демонстрируют более слабый рост и выработку кислоты. Все молочнокислые бактерии содержат в своих клеточных стенках D-аланин, D-глутаминовую и D-аспарагиновую кислоты. В своей обзорной статье Шмидт и Мартин обобщили методы, используемые для определения белка микробного происхождения, и продемонстрировали потенциал использования D-аспарагиновой и D-глутаминовой кислот в качестве маркеров белков микробного происхождения [29].

Цель данной работы — провести исследования молока и кисломолочной продукции на содержание оптических изомеров аминокислот и определить степень рацемизации аминокислот в условиях разной обработки продукции. Полученные данные позволят провести анализ по изменению оптической структуры аминокислот и способствующих этому факторов.

2. Материалы и методы

2.1 Материалы

Для эксперимента было использовано сырое коровье молоко с фермы, по 3 пакета ($1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ каждый) ультрапастеризованного молока и кефира различных производителей в сети розничной торговли.

- ☐ сырое коровье молоко 3,4% жирности — 1 образец;
- ☐ молоко ультрапастеризованное 3,2% жирности — 2 образца;
- ☐ молоко ультрапастеризованное 3,2% жирности — 3 образца;
- ☐ молоко ультрапастеризованное 3,2% жирности — 4 образца;
- ☐ кефир на бактериальной закваске 3,2% — 5 образец;

Таблица 2

Продукты, содержащие D-аминокислоты

спиртные напитки	Пиво, вина (белые, красные), саке, уксусы, бактериальные закваски
Выпечка	Хлеб (свежий, поджаренный), сухарики, тесто, пшеничная мука
Бобовые продукты (бобовые)	Черная фасоль (ферментированная), соевая мука (экструдированная), соевая детская смесь, соевый белок (текстурированный), соевые соусы и пасты, соевые бобы (ферментированные, мисо) какао-порошок
Кофе, сливки (казеинат натрия), зеленые, растворимые, жареные кукурузная мука тако и лепешки	
Молочные продукты	Сыры: выдержанный (созревший), Чеддер, свежий, запеченный, итальянский (моцарелла, пармезан), швейцарский (эмменталер), молоко (коровы, коровы с маститом, козье, овцы, пастеризованное, порошковое, сырое), кисломолочные продукты (кефир, йогурт, простокваша), сметана, сыворотка, детские смеси, бекон (имитация), пахта, сливки (имитация), соусы (бекон и чеддер).
Фрукты и овощи	Яблоки, морковь, капуста (белая, зеленая, маринованная, красная), чеснок, грейпфруты, виноград, лимоны, апельсины, помидоры фруктовые и овощные соки абрикос, свекла, ежевика, капуста (маринованная), морковь, сельдерей, вишня, клюква, смородина, нектарин, апельсин, персик, груша, малина, квашеная капуста, томат (паста, пюре, кетчуп), клубника
Яйца, рыбное блюдо, пищевые красители	

- ☐ кефир на бактериальной закваске 3,2% — 6 образец;
- ☐ кефир на бактериальной закваске 3,2% — 7 образец.

2.2 Метод

Определение D-энантиомеров в пищевых продуктах проводили на системе ВЭЖХ с дидно-матричным детектором и автоматизированным пробоотборником.

Условия градиентного элюирования для определения энантиомеров представлены в Таблице 3.

Таблица 3

Условия градиентного элюирования		
Время, мин	CH ₃ OH, %	0,01 М Na ₂ HPO ₄ (pH 6,0), %
0–0,5	2	98
70	40	60
75	100	0
77	100	0
80	2	98
83	2	98
Скорость потока	0,5 мл/мин	

2.3 Реагенты и растворители

В качестве реагентов использовали: CH₃OH для ВЭЖХ, производства Panreac (Франция), хиральные агенты N-ацетил-L-цистеин (НАК) (Sigma), ортофталевый альдегид (≥ 99,9%) (Sigma), гидрофосфат натрия (≥ 99,9%) (Sigma), соляную кислоту (≥ 37%), пепсин из слизистой оболочки желудка свиньи, (Sigma) (Активность, ед./мг белка 600–1,800) деионизованную воду, полученную на системе MilliQDirect 8 (Франция).

При проведении анализа использовали хроматографическую колонку длиной 150 мм и диаметром 2,1 мм с обращенной фазой C18, размером частиц 3,5 мкм, а так же ВЭЖХ систему Agilent 1260 Infinity LC со диодноматричным детектором.

Для твердофазной очистки использовали картриджи, заполненные обращено-фазовым сорбентом C18, 500 мг, объемом картриджа 6 мл, размер частиц 30 мкм.

2.4 Подготовка проб к анализу

100 мг гомогенизированной пробы количественно перенесли в центрифужную пробирку и добавили буферный раствор Трис-HCl до массовой концентрации 2 мг/см³, Расщепление ферментным препаратом (пепсином) осуществляли с использованием соотношения фермента к субстрату 1:10 от массы пробы. Инкубировали 16 ч при 37 °C на водяной бане.

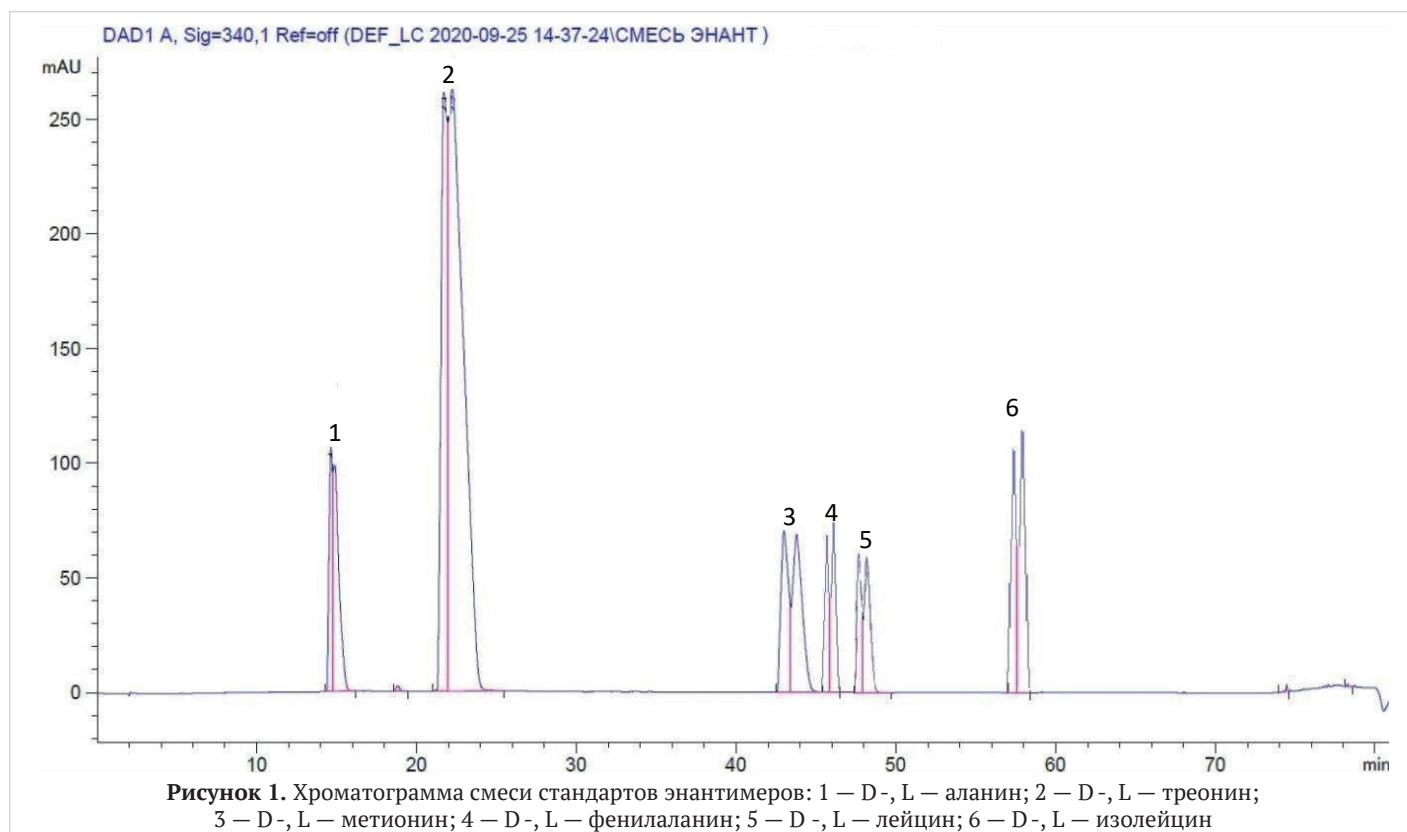
Для осаждения нерастворимых продуктов получившийся гидролизат центрифугировали в течение 5 мин при 15000 об/мин. Супернатант пропускали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм. Далее очистку гидролизата проводили методом твердофазной экстракции (ТФЭ).

Патрон ТФЭ предварительно кондиционировали пропусканием последовательно 2 см³ метилового спирта и 2 см³ дистиллированной воды. 0,4 см³ гидролизата пробы наносили на патрон. Экстракцию с патрона осуществляли в две стадии: последовательным элюированием 1 см³ метилового спирта и 1,5 см³ смеси ацетонитрила, собирая смывы. Затем элюент переносили в круглодонную колбу вместимостью 50 см³ и упаривали до сухого остатка при 60 °C. Сухой остаток перерастворяли в 1 см³ буфера с pH 2,2. Растворенный сухой остаток пропускали через шприцевой фильтр 0,45 мк в хроматографическую вialу для проведения анализа.

Для разделения аминокислот, можно использовать как ручную, так и автоматическую дериватизацию, хиральный агент должен прореагировать с аминокислотами в течении 30 секунд (Рисунок 1).

3. Результаты и обсуждение

Исследования проводились в двух выборках по три параллельных измерения в каждой. За окончательный результат принималось среднее арифметическое трех параллелей в первой выборке. Критерий Стьюдента двух выборок для каждого определяемого аналита в каждом образце не превышал табличное значение при n = 3 и доверительной вероятности p = 0,95, т. е. различия между выборками



статистически не значимы. В выбранных объектах исследования так же провели количественное определение белка по ГОСТ 25179–2014. Результаты приведены в Таблицах 4 и 5.

Таблица 4

Содержание белка в образцах							
Наименование	1 образец, %	2 образец, %	3 образец, %	4 образец, %	5 образец, %	6 образец, %	7 образец, %
Белок	11,9 ± 0,18	11,3 ± 0,18	11,2 ± 0,18	11,3 ± 0,18	11,4 ± 0,18	11,5 ± 0,18	11,5 ± 0,18

Таблица 5

Содержание D-энантиомеров в образцах (% г/100 г продукта)							
Наименование аминокислоты	1 образец, %	2 образец, %	3 образец, %	4 образец, %	5 образец, %	6 образец, %	7 образец, %
Аланин	0,051	0,071	0,061	0,070	0,061	0,061	0,062
Фенилаланин	0,014	0,044	0,041	0,043	0,089	0,091	0,091
Метионин	0,012	0,066	0,063	0,056	0,090	0,089	0,090
Треонин	0,004	0,018	0,016	0,018	0,016	0,013	0,012
Изолейцин	0,011	0,014	0,014	0,015	0,050	0,051	0,051
Лейцин	0,011	0,019	0,019	0,019	0,033	0,035	0,035
Всего	0,103	0,232	0,214	0,221	0,339	0,320	0,341

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что наименьшее количество энантиомеров по сумме во образце сырого молока — № 1 (0,103%), относительно образцов молока (2, 3, 4) — 0,222% и кефира (5, 6, 7) — 0,333%.

Образец № 1 обладает наименьшим содержанием D-энантиомеров, так как сырое молоко не имеет внешнего бактериального заражения и не подвергнуто высокотемпературной обработке, однако по предоставленным результатам видно, что энантиомеры все же образовались в сыром молоке, данное явление возможно связано с процессами метаболизма растительной пищи у КРС. У КРС, как и у других жвачных животных, есть многоступенчатая система переваривания. На одном из этапов в рубце пища подвергается микробиологическому расщеплению, в этот момент происходит рацемизация аминокислот, которые дальше распределяются по организму. При разном кормлении в рубце формируются различные популяции микроорганизмов. А также в одной из работ, ученые доказали связь присутствия энантиомеров в сыром молоке при заболелании маститом. Поскольку D-аминокислоты часто являются продуктами бактериального метаболизма, а мастит — это воспаление вымени, вызванное бактериями [30]. Анализируя полученные данные из Таблицы 5, видно, что количество D-фенилаланина в образцах кефира на бактериальной закваске в 2 раза выше, чем в ультрапастеризованном молоке. В этих же образцах наибольшей рацемизацией подвергся и D-метионин, его содержание в кефире в 1,5 раза выше, чем в молоке. Количество D-изолейцина увеличилось в 3,6 раза, а D-лейцин в 1,8 раза.

Так в своей работе Кехагиас С. доказал образование энантиомеров в молоке при обработке бактерией *B. Longum*. D-аминокислоты присутствуют в клеточных стенках бактерий, и образуются из соответствующих L-энантиомеров под действием ферментов. Кехагиас проследил за ферментацией молока и ростом бактерий путем определения несвязанных D-аминокислот. В этом исследовании были количественно

определены несвязанные D-аспарагиновая и D-глутаминовая кислоты в молоке коров, овец и коз во время роста *B. Longum*. Результаты D-энантиомеров приведены в Таблице 6. По полученным результатам Кехагиаса можно наблюдать увеличение D-энантиомеров во время ферментации молочнокислыми бактериями [31].

Таблица 6

Несвязанные D-аспарагиновая и глутаминовая кислоты (мг/100 г) сухого обезжиренного молока коров, коз и овец во время ферментации *B. Longum*

Инкубационный период, ч	Корова		Коза		Овца	
	D-аспарагиновая кислота	D-глутаминовая кислота	D-аспарагиновая кислота	D-глутаминовая кислота	D-аспарагиновая кислота	D-глутаминовая кислота
0	0,77 ± 0,05	1,12 ± 0,06	0,35 ± 0,02	0,86 ± 0,07	0,32 ± 0,02	0,73 ± 0,05
24	2,28 ± 0,15	2,42 ± 0,10	0,86 ± 0,05	1,68 ± 0,11	0,78 ± 0,06	1,79 ± 0,12

Разница в результатах между тремя образцами молока находится в диапазоне погрешности методики, что может свидетельствовать о стабильности рацемизации в процессе технологического производства молочной продукции. Аналогичный вывод можно сделать и для кисломолочной продукции анализируя три образца кефира на бактериальной закваске. Так же по изученным результатам зарубежных ученых наблюдаем тенденцию в образовании энантиомеров в несвязанном виде, которые выделили в качестве маркеров при молочнокислой ферментации в присутствии бактерии *B. Longum*

Так же провели исследование образцов на содержание L-аминокислот (Таблица 7).

Таблица 7

Содержание L-аминокислот в образцах (% г/100 г продукта)

Наименование аминокислоты	Молоко ультрапастеризованное	Кефир на бактериальной закваске
Аланин	0,40	0,43
Фенилаланин	0,55	0,57
Метионин	0,29	0,28
Треонин	0,52	0,44
Изолейцин	0,69	0,64
Лейцин	1,12	1,11

Исходя из полученных результатов была рассчитана степень рацемизации каждой аминокислоты при тепловой обработке и кисломолочном брожении (Рисунок 2).

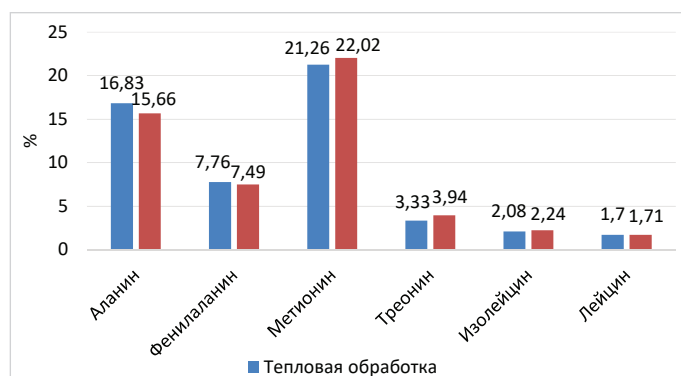


Рисунок 2. Диаграмма степени рацемизации аминокислот в условиях разной обработки

Исходя из рассчитанной степени рацемизации видно, что способ обработки почти не влияет на оптические изменения каждой индивидуальной аминокислоты, однако наибольшей рацемизацией при тепловой обработке и кислото-молочном брожении подверглась аминокислота метионин в среднем на 21,64%, аланин на 16,24%, меньше всего оптические изменения претерпели лейцин — 1,7% и изолейцин — 2,16%.

Данные результаты доказывают, что образование D-энантиомеров связано с технологией производства, а именно ферментация молока микроорганизмами приводит к завышенному содержанию энантиомеров в продукте. Стоит отметить, что некоторые аминокислоты, такие как метионин, аланин и фенилаланин подверглись рацемизации сильнее чем треонин, изолейцин и лейцин, что подтверждают данные из Таблицы 1 и такое явление связано со строением каждой аминокислоты, хиральные изменения аминокислот та же в значительной степени зависят от силы пептидных связей.

4. Заключение

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы: поскольку молоко и молочные продукты получают с использованием различных технологических обработок и сырье для пастеризованного молока и кефира так же получают различными способами, то энантиомеры будут

присутствовать и влиять в той или иной степени на качество и безопасность продукции. В большинстве молочных продуктов были обнаружены D-энантиомеры аминокислот, как в связанных с белком, так и не связанных, но вследствие отсутствия норм по предельно допустимым концентрациям, невозможно оценить уровень опасности продукции.

Дальнейшие мониторинговые исследования будут направлены на сбор статистических данных по количественному содержанию D-энантиомеров аминокислот в различных видах пищевой продукции, так как известно, что пороговая токсическая величина у мышей после внутримышечного введения составляет 1000 мг/кг. Такое понимание позволит свести к минимуму неблагоприятные последствия обработки пищевых продуктов и максимизировать полезные, а также оценить риск здоровью человека. Полученные результаты показали необходимость более глубоких исследований в данном направлении для установления наиболее важных факторов процесса рацемизации аминокислот пищевых продуктов.

Для оценки степени рацемизации каждой аминокислоты планируется проанализировать аминокислотный состав и затем подвергнуть сырое молоко различным видам обработки, что позволит получить данные по изменению оптической структуры аминокислот и способствующих этому факторах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК/ REFERENCES

- Silva-Adaya, D., Garza-Lombó, C., Gonsébat, M. E. (2021). Xenobiotic transport and metabolism in the human brain. *NeuroToxicology*, 86, 125–138. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2021.08.004>
- Aung, M. T., Song, Y., Ferguson, K. K., Cantonwine, D. E., Zeng, L., McElrath, T. F. et al. (2020). Application of an analytical framework for multivariate mediation analysis of environmental data. *Nature Communications*, 11(1), Article 5624. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19335-2>
- Snyder, S. H., Kim, P. M. (2000). D-amino acids as putative neurotransmitters: Focus on D-serine. *Neurochemical Research*, 25(5), 553–560. <https://doi.org/10.1023/a:1007586314648>
- Furuchi, T., Homma, H. (2005). Free D-aspartate in mammals. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 28(9), 1566–1570. <https://doi.org/10.1248/bpb.28.1566>
- Bastings, J. J. A. J., van Eijk, H. M., Damink, S. W. O., Rensen, S. S. (2019). D-amino acids in health and disease: A focus on cancer. *Nutrients*, 11(9), Article 2205. <https://doi.org/10.3390/nu11092205>
- Hamase, K. (2007). Sensitive two-dimensional determination of small amounts of D-amino acids in mammals and the study on their functions. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 55(4), 503–510. <https://doi.org/10.1248/cpb.55.503>
- D'Aniello, G., Grieco, N., Di Filippo, M. A., Cappiello, F., Topo, E., D'Aniello, E., Ronsini, S. (2007). Reproductive implication of D-aspartic acid in human pre-ovulatory follicular fluid. *Human Reproduction*, 22(12), 3178–3183. <https://doi.org/10.1093/humrep/dem328>
- Karakawa, S., Shimbo, K., Yamada, N., Mizukoshi, T., Miyano, H., Mita, M. et al. (2015). Simultaneous analysis of D-alanine, D-aspartic acid, and D-serine using chiral high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry and its application to the rat plasma and tissues. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 115, 123–129. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2015.05.024>
- Visser, W. F., Verhoeven-Duif, N. M., Ophoff, R., Bakker, S., Klomp, L. W., Berger, R. et al. (2011). A sensitive and simple ultra-high-performance-liquid chromatography-tandem mass spectrometry based method for the quantification of d-amino acids in body fluids. *Journal of Chromatography A*, 1218(40), 7130–7136. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.07.087>
- Ohide, H., Miyoshi, Y., Maruyama, R., Hamase, K., Konno, R. (2011). D-amino acid metabolism in mammals: Biosynthesis, degradation and analytical aspects of the metabolic study. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 879(29), 3162–3168. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2011.06.028>
- Xing, Y., Li, X., Guo, X., Cui, Y. (2016). Simultaneous determination of 18 d-amino acids in rat plasma by an ultrahigh-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry method: Application to explore the potential relationship between alzheimer's disease and d-amino acid level alterations. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 408(1), 141–150. <https://doi.org/10.1007/s00216-015-9086-3>
- Man, E. H., Bada, J. L. (1987). Dietary D-amino acids. *Annual Review of Nutrition*, 7, 209–225. <https://doi.org/10.1146/annurev.nu.07.070187.001233>
- Finch, L. R., Hird, F. J. R. (1960). The uptake of amino acids by isolated segments of rat intestine II. A survey of affinity for uptake from rates of uptake and competition for uptake. *BBA — Biochimica Et Biophysica Acta*, 43(C), 278–287. [https://doi.org/10.1016/0006-3002\(60\)90438-8](https://doi.org/10.1016/0006-3002(60)90438-8)
- Cartus, A. T. (2012). D-amino acids and cross-linked amino acids as food contaminants. Chapter in a book: Chemical contaminants and residues in food. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857095794.2.286>
- Friedman, M., Levin, C. E. (2012). Nutritional and medicinal aspects of D-amino acids. *Amino Acids*, 42(5), 1553–1582. <https://doi.org/10.1007/s00726-011-0915-1>
- D'Orazio, G., Cifuentes, A., Fanali, S. (2008). Chiral nano-liquid chromatography-mass spectrometry applied to amino acids analysis for orange juice profiling. *Food Chemistry*, 108(3), 1114–1121. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.062>
- Guimont, Ch. (2002). Change of free amino acids in M₁₇ medium after growth of *Streptococcus thermophilus* and identification of a glutamine transport ATP-binding protein. *International Dairy Journal*, 12(9), 729–736. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(02\)00068-7](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00068-7)
- Mangia, N. P., Murgia, M. A., Garau, G., Sanna, M. G., Deiana, P. (2008). Influence of selected lab cultures on the evolution of free amino acids, free fatty acids and flore sardo cheese microflora during the ripening. *Food Microbiology*, 25(2), 366–377. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2007.09.009>
- Rocco, A., Aturki, Z., Fanali, S. (2013). Chiral separations in food analysis. *TrAC — Trends in Analytical Chemistry*, 52, 206–225. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2013.05.022>
- Kris-Etherton, P. M., Hecker, K. D., Bonanome, A., Coval, S. M., Binkoski, A. E., Hilpert, K. F. et al. (2002). Bioactive compounds in foods: Their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *American Journal of Medicine*, 113(9 SUPPL.2), 71–88. [https://doi.org/10.1016/S0002-9343\(01\)00995-0](https://doi.org/10.1016/S0002-9343(01)00995-0)
- Inoue, Y., Sugahara, N., Wada, T. (2001). Vital role of entropy in photochirogenesis. *Pure and Applied Chemistry*, 73(3), 475–480. <https://doi.org/10.1351/pac200173030475>
- Kojo, S., Uchino, H., Yoshimura, M., Tanaka, K. (2004). Racemic D, L-asparagine causes enantiomeric excess of other coexisting racemic D, L-amino acids during recrystallization: A hypothesis accounting for the origin of L-amino acids in the biosphere. *Chemical Communications*, 19, 2146–2147. <https://doi.org/10.1039/b409941a>
- Konno, R., Brückner, H., D'Aniello, A., Fisher, G. H., Fujii, N., Homma, H. (2009). D-Amino Acids: Practical Methods and Protocols. D-Amino Acids in Peptides and Proteins. Nova Science Publishers, Inc., New York, USA. 2009.
- Zawirska-Wojtasiak, R. (2006). Chirality and the nature of food authenticity of aroma. *Aliment Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 5(1), 21–36.
- Soyez, D., Toullec, J. -Y., Montagné, N., Ollivau, C. (2011). Experimental strategies for the analysis of d-amino acid containing peptides in

- crustaceans: A review. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 879(29), 3102–3107. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2011.03.032>
26. Müller, C., Fonseca, J. R., Rock, T. M., Krauss-Etschmann, S., Schmitt-Kopplin, P. (2014). Enantioseparation and selective detection of D-amino acids by ultra-high-performance liquid chromatography/mass spectrometry in analysis of complex biological samples. *Journal of Chromatography A*, 1324, 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.11.026>
27. Sakai-Kato, K., Kinouchi, T., Fujii, N., Imai, K., Utsunomiya-Tate, N. (2009). Screening system for D-asp-containing proteins using D-aspartyl endopeptidase and two-dimensional gel electrophoresis. *Amino Acids*, 36(1), 125–129. <https://doi.org/10.1007/s00726-008-0040-y>
28. Sadakane, Y., Yamazaki, T., Nakagomi, K., Akizawa, T., Fujii, N., Tanimura, T. et al. (2003). Quantification of the isomerization of asp residue in recombinant human α A-crystallin by reversed-phase HPLC. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 30(6), 1825–1833. [https://doi.org/10.1016/s0731-7085\(02\)00525-3](https://doi.org/10.1016/s0731-7085(02)00525-3)
29. Csapo, J., Csapo-Kiss, Zs., Schmidt, J., Martin, T. G. (2001). Quantitative determination of protein of bacterial origin. *TrAC-Trends in Analytical Chemistry*, 20(1), 42–48. [https://doi.org/10.1016/s0167-2940\(01\)90105-0](https://doi.org/10.1016/s0167-2940(01)90105-0)
30. Csapó, J., Csapó-Kiss, Z., Stefler, J., Martin, T. G., Némethy, S. (1995). Influence of mastitis on D-amino acid content of milk. *Journal of Dairy Science*, 78(11), 2375–2381. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(95\)76865-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76865-5)
31. Kehagias, C., Csapó, J., Konteles, S., Kolokitha, E., Koulouris, S., Csapó-Kiss, Z. (2008). Support of growth and formation of d-amino acids by bifidobacterium longum in cows', ewes', goats' milk and modified whey powder products. *International Dairy Journal*, 18(4), 396–402. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.11.014>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Князева Александра Сергеевна — младший научный сотрудник, лаборатория «Научно-методических работ, биологических и аналитических исследований», Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-79-61 E-mail: a.knyazeva@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0038-9744 * автор для контактов Утьянов Дмитрий Александрович — кандидат технических наук, научный сотрудник, лаборатория «Научно-методических работ, биологических и аналитических исследований», Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 +7-495-676-79-61 E-mail: d.utyantov@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7693-3032 Куликовский Андрей Владимирович — кандидат технических наук, заведующий лабораторией «Научно-методических работ, биологических и аналитических исследований», Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-60-11 E-mail: a.kulikovskii@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9140-5390 Курзова Анастасия — младший научный сотрудник, лаборатория «Научно-методических работ, биологических и аналитических исследований», Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-79-61 E-mail: a.kurzova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5679-3984	Aleksandra S. Knyazeva — junior researcher, Laboratory “Scientific and methodical work, biological and analytical research”, V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences. 26, Talalikhina, 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-79-61 E-mail: a.knyazeva@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0038-9744 * corresponding author Dmitry A. Utyanov — candidate of technical sciences, research scientist, Laboratory «Scientific and methodical work, biological and analytical research», V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences. 26, Talalikhina, 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-79-61 E-mail: d.utyantov@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7693-3032 Andrey V. Kulikovskii — candidate of technical sciences, a head of laboratory «Scientific and methodical work, biological and analytical research», V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences. 26, Talalikhina, 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-60-11 E-mail: a.kulikovskii@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9140-5390 Anastasiya A. Kurzova — junior researcher, Laboratory “Scientific and methodical work, biological and analytical research”, V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences. 26, Talalikhina, 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-79-61 E-mail: a.kurzova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5679-3984
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/10.21323/2618-9771-2021-4-3-197-203>

Поступила 12.06.2021

Поступила после рецензирования 14.08.2021

Принята в печать 25.09.2021



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

Научная статья

ОБЕЗВОЖИВАНИЕ СЕМЯН КОНОПЛИ МЕТОДОМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ МИКРОНИЗАЦИИ

Зверев С. В.

Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

конопляное семя, инфракрасный
нагрев, температура,
влажность, модель

АННОТАЦИЯ

В ряде случаев для снижения влажности, инактивации некоторых ферментов, повышения сохраняемости и эффективности переработки зернопродукты необходимо термообработать. Одним из методов термообработки является высокотемпературная микронизация — нагрев в потоке инфракрасного излучения. Метод удобен в условиях малых и средних предприятий. Целью работы являлось получение фактографического материала по нагреву и обезвоживанию семян конопли при нагреве в потоке инфракрасного излучения, а также моделирование процессов нагрева и обезвоживания. Получены экспериментальные зависимости температуры семян и влажности от времени нагрева при различных режимах инфракрасной термообработки. Предложены математические модели изменения температуры семян в функции времени и влагосодержания в зависимости от температуры семян и исходной влажности. Модели обезвоживания основывались на упрощенных решениях системы дифференциальных уравнений теплообмена, полученных академиком В. А. Лыковым и его учениками. По результатам экспериментов были идентифицированы коэффициенты моделей. Анализ полученных коэффициентов показал, что в рассмотренных моделях без существенной потери прогностической точности можно ограничиться одним коэффициентом. При постоянных условиях ИК-нагрева семян конопли (облученность и температура в зоне обработки) предложенные модели довольно хорошо подтверждаются экспериментальными данными. Однако на зависимость относительной влажности W/W_0 и приращения температуры $\Delta T(t)$ от времени существенно влияют условия нагрева. В то же время исходя из результатов обработки и имеющихся экспериментальных данных следует, что характер зависимости $W(\Delta T)$ определяется исходной влажностью и является инвариантным к условиям нагрева, т. е. слабо от них зависящим.

Received 12.06.2021

Accepted in revised 14.08.2021

Accepted for publication 25.09.2021

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

Original scientific article

DESICCATION OF HEMP SEEDS BY HIGH TEMPERATURE MICRONIZATION

Sergey V. Zverev

All-Russian Scientific Research Institute for Grain and Products of its Processing, Moscow, Russia

KEY WORDS:

hemp seed, infrared heating,
temperature, humidity, model

ABSTRACT

In several cases, it is necessary to use heat treatment of cereal products to reduce moisture, inactivate some enzymes, increase storability and processing efficiency. One of the methods for heat treatment is high-temperature micronization — heating in a flow of infrared radiation. The method is convenient in the conditions of small and medium-sized enterprises. The aim of the study was to obtain the factual material regarding heating and desiccation of hemp seeds when heating in the flow of infrared radiation and modeling of the heating and desiccation processes. The experimental dependences of a seed temperature and moisture on heating time at different regimes of infrared heat treatment were obtained. Mathematical models were proposed for changes in a seed temperature as a function of time and moisture content depending on a seed temperature and the initial moisture. The desiccation models were based on simplified solutions of the system of differentiated equations of heat and mass transfer obtained by academician V. A. Lykov and his students. Model coefficients were identified by the results of the experiments. Analysis of the obtained coefficients shows that it is possible to use one coefficient in the examined models without a significant loss of the prognostic accuracy. The proposed models describe the experimental data quite well upon constant conditions of infrared heating of hemp seeds (irradiance and temperature in the treatment zone). However, heating conditions significantly affect the time dependence of the relative moisture (W/W_0) and temperature increment $\Delta T(t)$. At the same time, it follows from the processing results and available experimental data that the character of the dependence $W(\Delta T)$ is determined by the initial moisture and is stable (that is, weakly depends on heating conditions).

1. Введение

Тепловое воздействие на растительное сырье, в частности, на зерно и семена в процессе их переработки, может иметь различные цели: инактивация антипитательных веществ, обеззараживание, обезвоживание и т. п.

Обезвоживание — едва ли не самая востребованная операция в технологических процессах производства продук-

тов питания. Суть ее состоит в удалении влаги, и целью процесса является получение продукта с заданной влажностью. При этом методы и средства могут использоваться самые разнообразные: от чисто механических (как, например, центрифугирование, основанное на действии центробежных сил и свойстве текучести свободной воды) до химических. Все зависит от вида конкретного продукта и его влажности;

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Зверев, С.В. (2021). Обезвоживание семян конопли методом высокотемпературной микронизации. *Пищевые системы*, 4(3), 197-203. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-197-203>

FOR CITATION: Zverev, S.V. (2021). Desiccation of hemp seeds by high temperature micronization. *Food systems*, 4(3), 197-203. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-197-203>

необходимость процесса определяется экономической целесообразностью и безопасностью.

На Рисунке 1 приведен один из вариантов классификации видов дегидратации (обезвоживания) в зависимости от условий протекания процесса, в том числе от вида и способа энергоподвода.

В зернопереработке наибольшее распространение находит сушка — процесс удаления влаги из продукта, основанный на тепловом воздействии, изменении агрегатного состояния воды и влагосорбционных свойств продукта. Данному вопросу посвящено огромное количество работ как теоретического, так и практического плана, рассматривающих процесс тепло- и влагопереноса, начиная от отдельных зерновок и заканчивая гигантскими зерносушилками производительностью до сотен тонн в час. Обезвоживание сопровождает любую технологическую операцию, связанную с нагревом зерна или крупы, — например, термообработку.

Влажность является важным показателем, поскольку оказывает существенное влияние на технологические характеристики и сохраняемость зернопродуктов. Потеря влаги (сушка, дегидратация, обезвоживание) при нагреве зерна (крупы) является сопутствующим, хотя и не всегда желательным процессом в производстве зернопродуктов.

В зависимости от условий можно различать изотермическую сушку и неізотермическую. Изотермическая сушка — это процесс, протекающий при постоянной температуре продукта $T = \text{const}$, при котором постоянная времени нагрева (т. е. время выхода температуры продукта на стационарный уровень) намного меньше периода термообработки). Сушка также может быть термостатированной (температура окружающей среды постоянна) и не термостатированную. В зависимости от температуры продукта сушка может быть как низко-, так и высокотемпературной. Имеет свои особенности сушка в заигроскопической и догигроскопической областях. Следует учитывать и основные методы энергоподвода — конвективный, кондуктивный, радиационный (ИК, СВЧ-излучением).

Некоторые показатели эффективности различных видов сушки, по данным ООО Techno Food Service (г. Ташкент), даны в Таблице 1.

Как видно, ИК сушка относится к экономически выгодному виду и широко используется для переработки пищевого и, в частности, зернового сырья [1–10].

Существует множество моделей, описывающих зависимость влагопотери в функции времени сушки.

Математическая модель — приближенное описание объекта реального мира, на языке математики. Одна из



Рисунок 1. Классификация способов обезвоживания

Сравнительные данные различных технологий сушки

Таблица 1

	Принцип технологии	Качество вырабатываемого продукта	Энергозатраты на испарение влаги, кВт.ч/кг	Стоимость испарения влаги, \$/кг
Инфракрасная газовая	Передача тепла ИК излучением	Качество продукта максимально близко качеству сублимационной сушки. Сохраняется до 90% исходных свойств продукта.	0,9–1,0	0,01
Сублимационная	Удаление влаги в два этапа — возгонка льда из замороженного продукта и тепловая досушка в вакууме	Сохраняется форма, цвет, органолептические свойства при минимальных потерях биоактивных веществ, прекрасно восстанавливается.	2,7–3,00	1,16
СВЧ-сушка	Генераторы тепла — диполи воды, содержащейся в продукте, который помещается в сверхвысокочастотное электромагнитное поле	Равномерный нагрев, практически не зависит от теплопроводности сушительного материала. Наиболее перспективна комбинированная сушка — конвективная подсушка и СВЧ-досушка. Специфического воздействия СВЧ-поля на продукт не обнаружено.	1,6–1,8	0,4–0,8
Конвективная	Передача тепла продукту от сушительного агента (нагретый воздух или парогазовая смесь)	Снижение теплопроводности продукта в конце сушки значительно удлиняет процесс, ухудшая качество готового продукта. Добиться стабильного качества можно за счет правильной нарезки, бланширования. Конвективным способом производят 90% сушеных продуктов.	1,8–3,0	0,06–0,12
Кондуктивная	Передача тепла продукту непосредственно от греющей поверхности	Стабильное, удовлетворяющее требованиям потребителя качество достигается при сушке белковых гидролизатов (содержащих свернутый белок), соусов с высоким содержанием крахмала, суспензий и т. д. Продукты, содержащие сахар, и термолабильные продукты (содержащие свежий белок) этим способом не сушат.	1,6–1,8	0,4–0,8

основных целей моделирования — предсказать результаты наблюдений в различных, но ограниченных, условиях функционирования объекта. В данном случае объект замещается его математической моделью, т. е. системой математических соотношений (уравнений, неравенств, логических соотношений и т. п.), которые описывают главные свойства объекта. Т.е. суть модели заключается в отображении некоторого заданного множества ΩX допустимых входных переменных X на множество значений ΩY допустимых выходных переменных Y , и в таком случае математическая модель есть некоторый математический оператор A :

$$A: X \rightarrow Y, X \in \Omega X, Y \in \Omega Y \quad (1)$$

Математически представленная модель должна отвечать трем основным требованиям: адекватность, достаточная простота и продуктивность [11]. Т.е. задача модели — верно (качественно и/или количественно) описывать свойства объекта, поддаваться анализу (при разумных трудозатратах) и включать доступные и надежные исходные данные. Эти требования взаимосвязаны и могут вступать в противоречие. Повышение адекватности может привести к усложнению модели и снижению ее продуктивности. Чрезмерное упрощение — к снижению адекватности и, соответственно, снижению точности прогностических оценок.

Критерием достоверности в вопросе адекватности модели является практика. Благодаря возможностям компьютера и программного обеспечения можно анализировать все более сложные модели.

Неадекватность модели как результат непрофессионального подхода ее разработчика может быть обусловлена недостаточностью информации о данном объекте — незнанием законов его функционирования либо отсутствием достоверных данных о значениях и связанных с ними параметрах.

Математическая модель содержит переменные входные (независимые) и выходные (зависимые) и параметры (факторы), которые связываются математическими соотношениями.

Различают модели:

1. Сосредоточенные (не включают пространственные координаты) и распределенные;
2. Статические (параметры и входные переменные не зависят от времени);
3. Динамические (зависят от времени).

В свою очередь, динамические модели делятся на стационарные (содержат параметры, не зависящие от времени) и нестационарные.

Различают два основных класса задач, связанных с математическими моделями: прямые и обратные. В первом случае все параметры модели считаются известными, и нам остается только исследовать ее поведение. Сразу отметим, что в инженерной практике такая ситуация практически не реальна.

В случае с обратными математическими моделями какие-то параметры модели неизвестны (например, не могут быть измерены явно), но их можно найти, сопоставляя поведение реальной системы с ее моделью (идентификация параметров) и используя, например, метод наименьших квадратов. К обратным задачам относится и подбор параметров модели (а в дальнейшем и реального моделируемого объекта) таким образом, чтобы она удовлетворяла каким-то заданным условиям — такие задачи возникают при проектировании систем. В последнем случае обратную задачу приходится решать дважды, сперва опираясь на имеющиеся экспериментальные данные, а потом задаваясь этими гипотетическими условиями.

Однако даже при минимальных знаниях объекта можно создать адекватную модель, используя метод черного ящика и решая обратную задачу.

Предлагаемые модели сушки относятся к динамическим стационарным моделям. Так, в работах Andreas Pujianto рассмотрено тринадцать вариантов модели сушки рыбы на открытом солнце и в сушилке [12]. Аналогичные модели использовались, например, для оценки содержания влаги в семенах Розеллы (суданской розы) и мoringи [13,14].

Практически все перечисленные модели устанавливая пропорциональную зависимость влажности продукта от времени нагрева в виде формулы:

$$M_g \sim \exp(-at), \quad (2)$$

где M_g — содержание влаги в продукте,

t — время,

a — эмпирический коэффициент, что вытекает из решения задачи тепломассопереноса, полученного А. В. Лыковым [15].

В последнее время оживился интерес к конопле, как источнику натурального волокна для текстильной промышленности, растительного масла и белка для пищевой промышленности [16,17]. Хранение семян конопли допускается при влажности не выше 11–14% (влажность воздуха около 75%) [18]. Один из вариантов переработки семян предполагает их обрушение — удаление оболочки и выделения ядра. Однако, в состоянии поставки семена плохо поддаются обрушению и измельчению. Одним из способов сушки семян конопли может стать высокотемпературная микронизация (BTM) — нагрев в потоке инфракрасного излучения. Данный метод удобен в использовании на малых предприятиях, поскольку установки компактны, просты в эксплуатации и легко адаптируются под различное сырье. Кроме того, при интенсивном энергоподводе имеет место градиент температуры, что позволяет прогревать оболочки зерна до более высоких температур, чем при нагревании сердцевин.

Поскольку, равновесное влажность при комнатной температуре у семян конопли существенно ниже, чем, например, у пшеницы, т. е. адсорбционный потенциал является более низким), эти семена должны легче десорбировать влагу при сушке [19].

Температурный диапазон денатурации белка конопли составляет 85–95 °C и сопоставляется с соответствующим диапазоном для зерна бобовых культур [20].

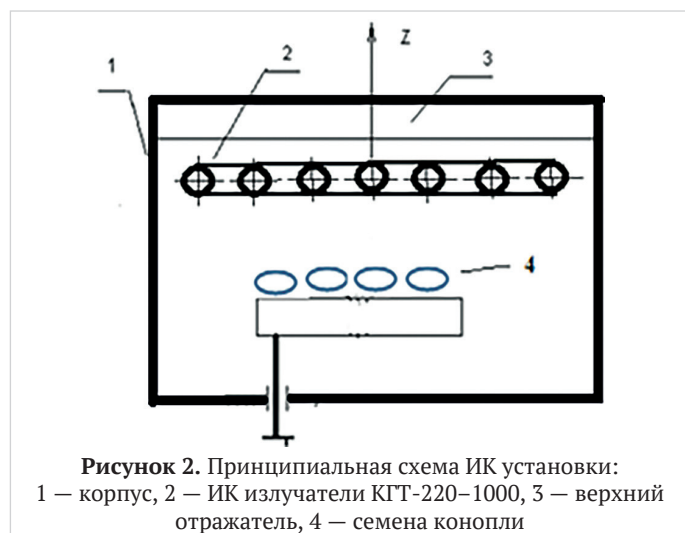
Целью исследований в данной работе являлось получение фактографических данных и построение модели нагрева и обезвоживания нативных семян конопли при нагреве в потоке ИК излучения.

2. Объекты и методы

В качестве объекта исследований использовались семена конопли, предоставленные Федеральным научным центром лубяных культур (Тверь, Россия).

Изучения процесса термообработки семян конопли проводились при помощи лабораторной установки. Принципиальная схема ИК установки представлена на Рисунке 2.

В качестве источника ИК излучения использовались кварцевые галогеновые лампы КГТ-220–1000. Коробчатая конструкция установки образует ограниченное пространство вокруг ИК — излучателей. Варьируя числом излучателей, можно менять их суммарную мощность и облученность в рабочей зоне. Кроме того, имелась возможность изменять высоту излучателей над продуктом, т. е. объем пространства рабочей зоны, что также приводит к изменению облученности и температуры среды. Облученность рассчитывалась по программе в среде «Wolfram Mathematica 10».



Семена размещались на поддоне монослоем и помещались в зону обработки на фиксированный период времени.

Температуру семян замеряли с помощью термопары (Мультиметр ТЕК DT 838), помещая их после нагрева в термоизолированную емкость [1].

Исходная влажность определялась по ГОСТ 10856-96 [21], текущую — по убыли влаги из навески по формуле:

$$W = 100 (W_0 / 100 - \Delta m / m_0) / (1 - \Delta m / m_0) \quad (3)$$

где:

W_0 — исходная влажность, %,
 m_0 — исходная масса навески, г,
 Δm — потеря массы навески, г.

Масса навесок определялась на электронных весах (модели МАССА ВК-300.1) с точностью 0,01 г.

В Таблице 2 даны условия нагрева семян конопли, примененные при получении эмпирических зависимостей изменения их температуры $T(t)$ и влажности $W(t)$ от времени t .

Таблица 2

Режимы нагрева семени конопли

Номер на графиках	Исходная влажность W_0 , %	Исходная температура T_0 , °C	Температура среды T_c , °C	Облученность E , кВт/м ²
1	5.4	24	235	18
2	10.3	22	225	18
3	10.3	22	242	12
4	13.1	24	225	18
5	13.1	24	160	12

Идентификация коэффициентов моделей проводилась с помощью программы TableCurve 3D v4.01 и TableCurve 2D v5.01.

3. Результаты и обсуждение

На Рисунке 3 и Рисунке 4 представлены графики зависимости температуры и влажности семян конопли от времени нагрева в потоке инфракрасного излучения.

Время термообработки ограничивается началом растрескивания семян, их подсаживанием на поддоне, сопровождаемое характерным звуком.

Как видно из Рисунка 3 процесс термообработки протекает в переходный период нагрева семян. На этом этапе влажность семян существенно снижается, что видно из Рисунка 4. Поскольку температура семян функционально

связана со временем нагрева, представляет интерес зависимость влажности семян от их текущей температуры.

Зависимости влажности семян конопли от их текущей температуры при ИК нагреве даны на Рисунке 5.

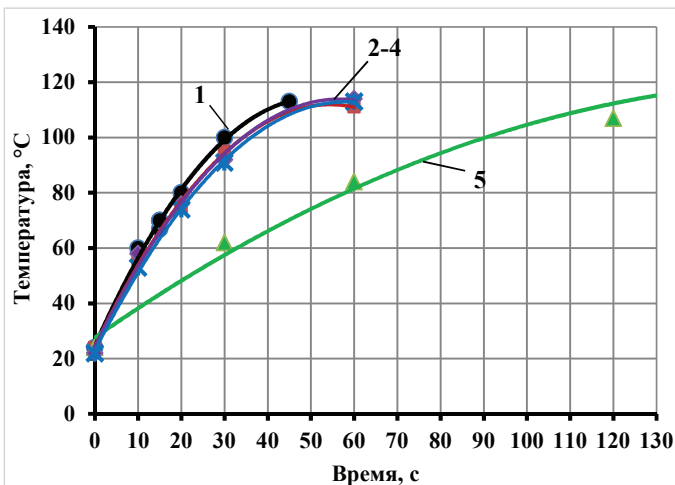


Рисунок 3. Влияние времени нагрева на температуру семян конопли при различных условиях нагрева (Таблица 2)

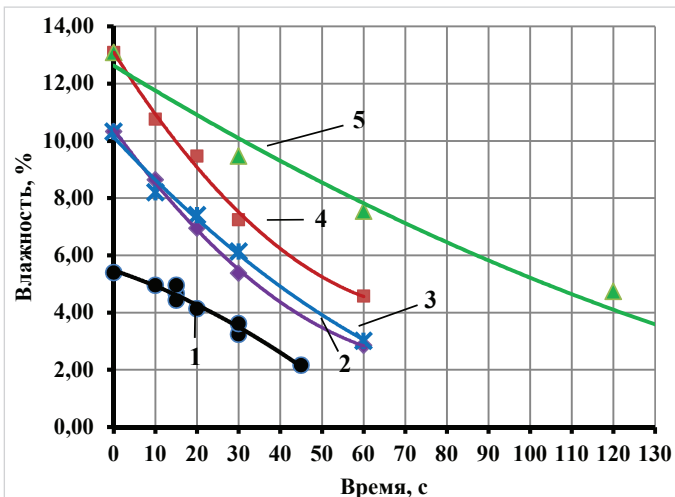


Рисунок 4. Влияние времени нагрева на влажность семян конопли при различных условиях нагрева (Таблица 2)

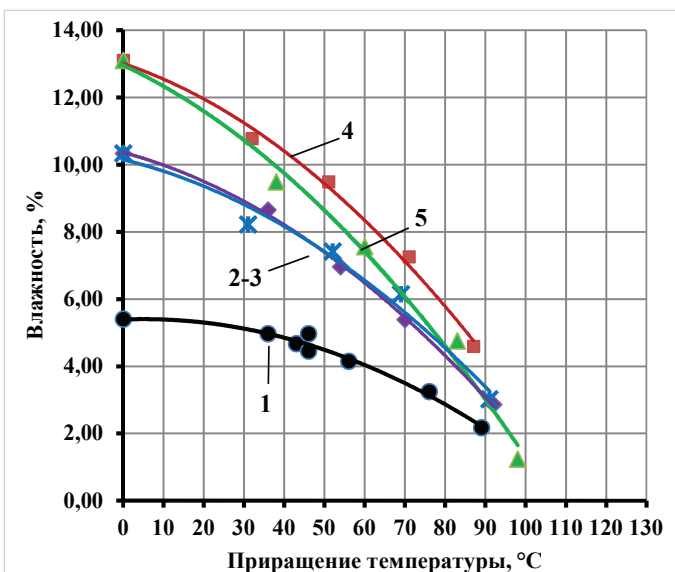


Рисунок 5. Зависимость влажности семян конопли от их температуры при различных условиях нагрева (Таблица 2)

На графиках Рисунка 5 просматривается функциональная зависимость текущей влажности семян от их текущей температуры.

Модель нагрева

Зависимость, описывающая изменение температуры в процессе нагрева, в результате решения системы дифференциальных уравнения тепло- и массопереноса, в том числе и с внутренним источником тепла, получена А. В. Лыковым и его учениками в виде экспоненциального ряда вида [15].

$$\Delta T / \Delta T_{\infty} = a_0 + a_1 \exp(-b_1 t) + a_2 \exp(-b_2 t) + \dots (4)$$

где:

$\Delta T = T - T_0$ — приращение температуры, °C,
 T — текущая температура, °C,
 T_0 — начальная температура, °C,
 ΔT_{∞} — приращение температуры при $t \rightarrow \infty$, °C,
 t — время,
 a_i, b_i — коэффициенты.

Если воспользоваться первыми двумя членами, то при начальных условиях $\Delta T(t=0) = 0$ приходим к известному выражению

$$\Delta T(t) = K_0 [1 - \exp(-K_1 t)]. (5)$$

где $K_0 = \Delta T_{\infty}$, K_1 — эмпирические коэффициенты.

Поскольку по предварительным оценкам исходная влажность существенно сказывается на коэффициенте K_1 предлагается использовать модифицированный вариант модели (5) в виде формулы:

$$\Delta T(t) = K_0 [1 - \exp(-K_1 W_0^K t)]. (6)$$

где W_0 — исходная влажность,

K_1 и K — эмпирические коэффициенты.

В результате идентификации коэффициентов модели (6) по данным для $E = 18$ кВт/м² получены следующие данные: $K_0 = 102,1$, $K_1 = 0,0297$, $K = -0,116$, квадрат коэффициента множественной корреляции $R^2 = 0,99$, остаточное среднеквадратичное отклонение $F = 2,4$. График зависимости приращения температуры семян конопли от влагосодержания и времени термообработки по экспериментальным данным и расчету по (6) представлен на Рисунке 6.

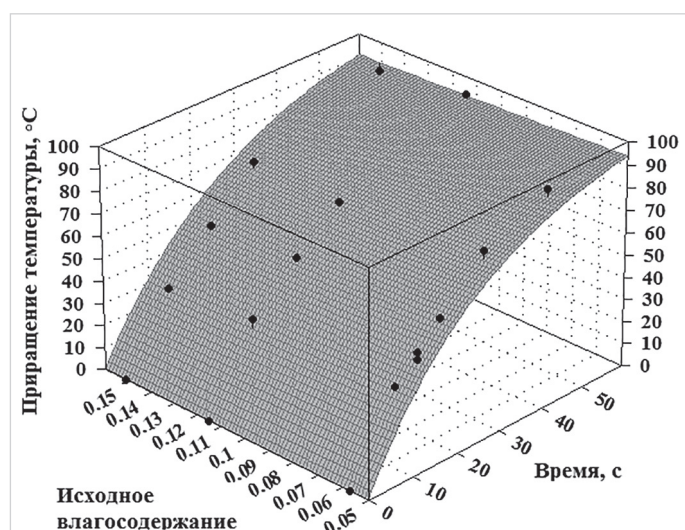


Рисунок 6. Зависимости приращения температуры семян конопли от влагосодержания и времени термообработки по экспериментальным данным (при $E = 18$ кВт/м²), и расчету по уравнению (6)

Кроме исходной влажности, на значение коэффициентов влияют температура в зоне обработки T_c и облученность E .

Модель влагопотерь

Зависимость, описывающая изменение влажности в процессе нагрева с учетом высокой температуры в зоне обработки ($W = 0$ при $t \rightarrow \infty$) также может быть представлена в виде экспоненциального ряда вида [15]:

$$\Delta W / W_0 = a_0 + a_1 \exp(-b_1 t) + a_2 \exp(-b_2 t) + \dots (7)$$

где:

$\Delta W = W_0 - W$ — потеря влаги,
 W — текущая влажность,
 W_0 — исходная влажность,
 t — время,
 a_i, b_i — коэффициенты.

При начальных условиях $W(t=0) = W_0$, воспользовавшись первыми двумя членами ряда (7), зависимость относительного влагосодержания от времени нагрева можно представить в виде:

$$W = W_0 \exp(-At), (8)$$

где A — эмпирический коэффициент.

Анализ экспериментальных данных показал зависимость коэффициентов модели (8) от исходного влагосодержания. Сказывается и влияние температуры в зоне обработки. Поэтому для фиксированных условий термообработки (постоянные облученность E и температура в зоне обработки T_c), которые чаще всего применяются в работе на установках ВТМ, модель предлагается модифицировать при помощи формулы:

$$W = W_0 \exp(-A W_0^B t), (9)$$

где A, B — эмпирические коэффициенты.

Для условий нагрева при температуре $T_c = 225-235$ °C и для облученности $E = 18$ кВт/м² после идентификации коэффициентов модели (9) были получены следующие данные: $A = 0,0289$, $B = 0,138$, квадрат множественной корреляции $R^2 = 0,95$, остаточное среднеквадратичное отклонение $F = 0,056$. Эмпирические и расчетные данные представлены на графике Рисунке 7.



Рисунок 7. Эмпирические и расчетные данные зависимости относительного влагосодержания семян конопли от его исходного значения и времени термообработки (нагрев при температуре $T_c = 225-235$ °C и облученность $E = 18$ кВт/м²)

Время и температура в первом приближении связаны функциональной зависимостью (5). Подставим (5) в (8) и после преобразований, модель для относительного влагосодержания можно представить в виде функции от приращения температуры

$$W = W_0 (1 - a \Delta T)^b, \quad (10)$$

где:

ΔT — приращение температуры,
 W_0 — исходная влажность,
 W — текущая влажность,
 a и b — эмпирические коэффициенты.

Апробация модели (10) при различной исходной влажности семян конопли и ряда других видов зерна показала, что значение коэффициента « b » нелинейно зависит от исходной влажности [8]. Поэтому, предлагается модифицированная модель в виде

$$W = W_0 (1 - a \Delta T)^{bW_0^c} \quad (11)$$

где a , b , c — эмпирические коэффициенты.

В результате идентификации коэффициентов модели (11) по всем экспериментальным данным ($E = 12-18$ кВт/м²) были получены следующие их значения: $a=0,010$, $b=1,506$, $c=0,498$ при коэффициенте корреляции $R=0,98$ и остаточном среднеквадратичном отклонении $F=0,033$.

Относительное изменение влагосодержания при ИК нагреве по данным модели (11) и результатам экспериментов представлены на Рисунке 8.

При постоянных условиях ИК нагрева семян конопли (облученность и температура в зоне обработки) предложенные модели довольно хорошо описывают экспериментальные данные. Однако, на зависимость влажности $W(t)$ и приращения температуры $\Delta T(t)$ от времени оказывают существенное влияние условия нагрева. В то же время исходя из результатов обработки и имеющихся экспериментальных данных следует, что характер зависимости $W(\Delta T)$ определяется исходной влажностью и является инвариантным к условиям нагрева, т. е. слабо от них зависящим.

4. Выводы

Предлагаемые динамические стационарные модели нагрева и обезвоживания позволяют прогнозировать резуль-

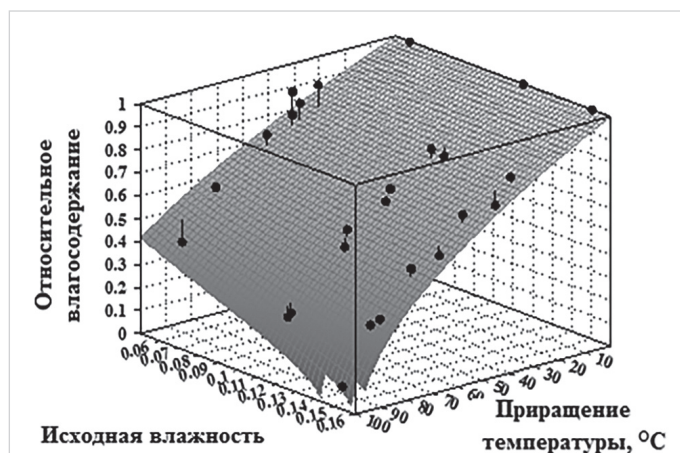


Рисунок 8. Зависимость относительного влагосодержания от приращения температуры семян и исходной влажности

таты ИК термообработки семян конопли в зависимости от исходной влажности и времени нагрева при постоянстве остальных режимов. При изменении режимов нагрева коэффициенты существенно меняются. Как правило, ВТМ установки не предполагают оперативного изменения параметров излучения и температуры среды (режимов) в рабочей зоне. В то же время, влажность сырья может существенно меняться.

Однако следует учитывать, что данные модели удовлетворительно описывают процесс обезвоживания в пределах ограниченных верхним значением температуры семян не многим более 100 °C.

Метод ВТМ позволяет за короткое время снизить влажность семян (в зависимости от режимов и исходной влажности) в 1,1–1,5 раз не превышая при этом температуру в 60 °C, что важно для сохранения биоактивных веществ. В случае необходимости более существенной дегидратации целесообразно использовать циклический нагрев.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Зверев, С.В. (2009). Высокотемпературная микронизация в производстве зернопродуктов. — М.: ДеЛи принт, 2009.
- Ilyasov, S. G., Krasnikov, V. V. (1991). Physical principles of infrared irradiation of food products. New York: Hemisphere Publishing House, 1991.
- Pan, Z., Atungulu, G.G. (2010). Infrared heating for food and agricultural processing. New York, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010.
- Yadav, K., Gupta, N., Sood, M., Anjum, N., Ankita Chib, A. (2020). Infrared heating and its application in food processing. *Pharma Innovation Journal*, 9(2), 142–151.
- Brandão, R. J., Borel, L. D. M. S., Marques, L. G., Prado, M. M. (2016). Heat and mass transfer, energy and product quality aspects in drying processes using infrared radiation. *Advanced Structured Materials*, 63, 111–130. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19767-8_6
- Зверев, С.В., Ставцев, А.Э., Цыгутин, А.С. (2019). Белый люпин: обрушение и термообработка зерна. — М.: Сам Полиграфист, 2019.
- Rahmawati, L., Saputra, D., Sahim, K., Priyanto, G. (2018). Effect of infrared radiation on chemical and physical properties on duku's peel. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1), 744–755. <https://doi.org/10.5219/985>
- Zverev, S., Sesikashvili, O. (2018). Heating and dehydration of grain and cereals at a combined energy supply. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1), 79–90. <https://doi.org/10.5219/840>
- Зверев С. В., Зубцов В. А. (2018). Высокотемпературная микронизация семян льна. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология, 2–3(362–363), 78–81.
- Zverev, S., Sesikashvili, O. (2018). Modeling of urease thermal inactivation processes in soybean at high-temperature micronization. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1), 512–519. <https://doi.org/10.5219/940>
- Мышкис, А.Д. (2007). Элементы теории математических моделей. — М.: КомКнига, 2007.
- Pujianto, A., Sidhi, S. D. P., Nurfaui, A. (2019). Mathematical modeling of thin layer drying of salted yellowtail fish under open sun and greenhouse drier. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 7(91), 391–400. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2019-07.46>
- Ismail, N. F., Mat Nawi, H. N., Zainuddin, N. (2019). Mathematical modelling of drying kinetics of oven dried hibiscus sabdariffa seed. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series, 1349(1), Article 012144. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1349/1/012144>
- de Almeida, F. N. C., Johann, G., Siqueira, N. W., Souza, G. K., Pereira, N. C. (2021). Convective drying of moringa oleifera seeds: Kinetics modelling and effects on oil yield from different extraction techniques. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01198-8> (unpublished data)
- Лыков, А.В., Михайлов Ю. А. (1963). Теория тепло- и массопереноса. — М.-Л.: Государственное энергетическое издательство. — 1963.
- Серков, В.А., Александрова, М.Р., Смирнов, А.Д. (2018). Развитие коноплеводства в России и мире. *Сурский вестник*. 3(3), 29–36.
- Динамика коноплеводства отдельных стран мира. Электронный ресурс: <http://tku.org.ua/ru/view-news>. Дата обращения 12.01.2021.
- ГОСТ 9158–76 «Семена конопли. Промышленное сырье. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2010. — 6 с.
- Зверев, С.В., Зубцов, В. А., Росляков, Ю.Ф., Ефремов, Д.П., Янова, М.А. (2020). Физико-технологические свойства семян конопли. *Вестник КрасГАУ*, 11(164), 240–247. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-11-240-247>
- Leonard, W., Zhang, P., Ying, D., Fang, Z. (2020). Hempseed in food industry: Nutritional value, health benefits, and industrial applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(1), 282–308. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12517>
- ГОСТ 10856–96 «Семена маслянистые. Методы определения влажности». М.: Стандартинформ, 2010. — 6 с.

REFERENCES

- Zverev, S. V. (2009). High-temperature micronization in the production of grain products. Moscow: DeLi Print, 2009. (In Russian)
- Ilyasov, S. G., Krasnikov, V. V. (1991). Physical principles of infrared irradiation of food products. New York: Hemisphere Publishing House, 1991.
- Pan, Z., Atungulu, G. G. (2010). Infrared heating for food and agricultural processing. New York, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010.
- Yadav, K., Gupta, N., Sood, M., Anjum, N., Ankita Chib, A. (2020). Infrared heating and its application in food processing. *Pharma Innovation Journal*, 9(2), 142–151.
- Brandão, R. J., Borel, L. D. M. S., Marques, L. G., Prado, M. M. (2016). Heat and mass transfer, energy and product quality aspects in drying processes using infrared radiation. *Advanced Structured Materials*, 63, 111–130. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19767-8_6
- Zverev, S. V., Stavtsev, A. E., Tsygutkin, A. S. (2019). White lupin: collapse and heat treatment of grain. Moscow: Sam Polygraphist, 2019. (In Russian)
- Rahmavati L., Saputra D., Sahim K. Priyanto G. (2018). The effect of infrared radiation on the chemical and physical properties of the dooku peel. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1), 744–755. <https://doi.org/10.5219/985>
- Zverev, S., Sesikashvili, O. (2018). Heating and dehydration of grain and cereals with combined energy supply. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1), 79–90. <https://doi.org/10.5219/840>
- Zverev, S. V., Zubtsov, V. A. (2018). High-temperature micronization of flax seeds. *Izvestiya VUZov. Food technology*, 2–3(362–363), 78–81. (In Russian)
- Zverev, S., Sesikashvili, O. (2018). Modeling of urease thermal inactivation processes in soybean at high-temperature micronization. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1), 512–519. <https://doi.org/10.5219/940>
- Myshkis, A. D. (2007). Elements of the theory of mathematical models. Moscow: ComBook, 2007. (In Russian)
- Pujianto, A., Sidhi, S. D. P., Nurfaizi, A. (2019). Mathematical modeling of thin layer drying of salted yellowtail fish under open sun and greenhouse drier. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 7(91), 391–400. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2019-07.46>
- Ismail, N. F., Mat Nawi, H. N., Zainuddin, N. (2019). Mathematical modelling of drying kinetics of oven dried hibiscus sabdariffa seed. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series, 1349(1), Article 012144. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1349/1/012144>
- de Almeida, F. N. C., Johann, G., Siqueira, N. W., Souza, G. K., Pereira, N. C. (2021). Convective drying of moringa oleifera seeds: Kinetics modeling and effects on oil yield from different extraction techniques. *Biomass Conversion and Biorefinery*, <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01198-8> (npublished data)
- Lykov, A. V. Mikhailov, Yu. A. (1963). The theory of heat and mass transfer. Moscow-Leningrad: State Energy Publishing House, 1963. (In Russian)
- Serkov, A. V., Alexandrova, M. R., Smirnov, A. D. (2018). The development of hemp in Russia and the world. *Sursky vestnik*, 3(3), 29–36. (In Russian)
- Dynamics of hemp production in individual countries of the world. Retrieved from <http://tku.org.ua/ru/view-news> Accessed January 12, 2021. (In Russian)
- GOST 9158–76 “Hemp seed. Industrial raw material. Specifications”. Moscow: Standartinform, 2010. — 6 p. (In Russian)
- Zverev, S. V., Zubtsov, V. A., Roslyakov, Yu. F., Efremov, D. P., Yanova, M. A. (2020). Physical and technological properties of hemp seeds. *Bulletin of KSAU*, 11, 240–247. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-11-240-247> (In Russian)
- Leonard, W., Zhang, P., Ying, D., Fang, Z. (2020). Hempseed in food industry: Nutritional value, health benefits, and industrial applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(1), 282–308. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12517>
- GOST 10856–96 “Oil seeds. Method for determination of moisture content”. Moscow: Standartinform, 2010. — 6 p. (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Зверев Сергей Васильевич — доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией «Технология и техника производства зерновых культур», Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки 127434, Москва, Дмитровское шоссе, 11 Тел.: +7-903-533-38-43 E-mail: zverevsv@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6136-1796	Sergey V. Zverev — doctor of technical sciences, professor, head of laboratory “Technology and technique of cereal production”, All-Russian Scientific Research Institute of Grain and Products of Its Processing 11, Dmitrovskoe shosse, 127434, Moscow, Russia Tel.: +7-903-533-38-43 E-mail: zverevsv@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6136-1796
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/10.21323/2618-9771-2021-4-3-204-212>

Поступила 07.08.2021

Поступила после рецензирования 15.09.2021

Принята в печать 25.09.2021

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

Обзорная статья

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МОЛОКОСВЕРТЫВАЮЩИХ ФЕРМЕНТОВ НА ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЯГКИХ СЫРОВ

Мягконосов Д. С.,* Смыков И. Т., Абрамов Д. В., Делицкая И. Н., Краюшкина В. Н.

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

молокосвертывающие ферменты, ферментативное свертывание, мягкие сыры, подсырная сыворотка, выход сыра

АННОТАЦИЯ

Исследовано влияние типа молокосвертывающего фермента (МФ) на продолжительность свертывания молока, показатели состава сыворотки и сыров, а также на выход сыров при производстве мягкого сыра типа «Любительский». Изучены три марки МФ разного происхождения: Marzyme® (МФ микробного происхождения на основе протеазы *Rhizomucor miehei*), Naturen® (телячий сычужный фермент) и Chy-max® М (рекомбинантный химозин верблюда). Установлено, что МФ имели разное соотношение молокосвертывающей активности (МСА) к общей протеолитической активности (ПА). Определено, что показатель МСА/ПА, характеризующий степень специфичности действия МФ в отношении каппа-казеина, у препарата Chy-max М в ~7 раз выше, чем у препарата Naturen, и в ~50 раз выше, чем у препарата Marzyme. Подобные отличия не привели к получению негативного эффекта при использовании препарата Marzyme при выработке мягких сыров. Не было отмечено статистически достоверных различий по величине потерь сухих веществ сгустка в сыворотку, а также по физико-химическим показателям и выходу между вариантами сыров, изготовленных с исследованными МФ. При использовании Marzyme наблюдалась меньшая продолжительность свертывания молока (16,5 мин), чем при использовании МФ Naturen (20,5 мин) и Chy-max М (22,5 мин). Полученные результаты по продолжительности свертывания были объяснены стимулированием активности МФ микробного происхождения уровнем рН молока перед свертыванием (ниже рН 6,4). Показано, что современные МФ микробного происхождения могут быть рекомендованы как экономически эффективная замена более дорогостоящим сычужным ферментам и рекомбинантным химозинам при производстве мягких и свежих сыров.

Received 07.08.2021

Accepted in revised 15.09.2021

Accepted for publication 25.09.2021

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

Review article

INFLUENCE OF DIFFERENT MILK-COATING ENZYMES ON THE PROCESS OF PRODUCING SOFT CHEESES

Dmitriy S. Myagkonosov*, Igor T. Smykov, Dmitriy V. Abramov, Irina N. Delitskaya, Valentina N. Krayushkina

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

KEY WORDS:

Milk-clotting enzymes, enzymatic coagulation, soft cheese, cheese whey, cheese yield

ABSTRACT

The effect of the type of milk clotting enzyme (MCE) on the duration of milk coagulation, parameters of the composition of whey and cheeses, and the output of cheeses in the production of soft cheese such as "Lyubitel'skiy" were investigated. Three brands of MCE of different origins were investigated: Marzyme® (MCE of microbial origin based on *Rhizomucor miehei* protease), Naturen® (calf rennet) and Chy-max® М (recombinant camel chymosin). It was established that MCEs had different ratios of milk clotting activity (MCA) to total proteolytic activity (PA). It was determined that the MCA/PA ratio, which characterizes the degree of specificity of the MCE action with regard to kappa-casein, in Chy-max М 1000 is ~7 times higher than that of Naturen and ~50 times higher than that of Marzyme. Such differences did not lead to a negative effect when using the Marzyme preparation in the production of soft cheeses. There were no statistically significant differences in the amount of dry matter loss of the curd into the whey, physicochemical parameters and output between the variants of cheeses made with the studied brands of MCE. Shorter duration of milk clotting (16.5 min) was observed with Marzyme than with MCE of Naturen (20.5 min) and Chy-max М (22.5 min). The results of the coagulation duration were explained by the stimulation of the activity of MCE of microbial origin, by the pH level of milk before coagulation (below pH 6.4). It was shown that modern MCEs of microbial origin could be recommended as a cost-effective replacement for more expensive rennet and recombinant chymosins in the production of soft and fresh cheeses.

1. Введение

Процесс ферментативного свертывания молока является составной частью технологии производства большинства разновидностей сыров. Ферментативное свертывание позволяет сконцентрировать сухие вещества через стадию получения молочного сгустка, отделяющего влагу, но удерживаю-

щего в себе основные питательные вещества молока — белки и жир. Ключевым участником ферментативного свертывания является молокосвертывающий фермент (МФ), который расщепляет молекулы каппа-казеина, что приводит к объединению казеинов в пространственную матрицу, имеющую тенденцию к уплотнению (синерезису) с отделением влаги [1].

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мягконосов, Д. С., Смыков, И. Т., Абрамов, Д. В., Делицкая, И. Н., Краюшкина, В. Н. (2021). Влияние различных молокосвертывающих ферментов на процесс изготовления мягких сыров. *Пищевые системы*, 4(3), 204-212. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-204-212>

FOR CITATION: Myagkonosov, D. S., Smykov, I. T., Abramov, D. V., Delitskaya, I. N., Krayushkina, V. N. (2021). Influence of different milk-coating enzymes on the process of producing soft cheeses. *Food systems*, 4(3), 204-212. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-204-212>

Молокосвертывающий фермент характеризуют два вида активности:

- ❑ молокосвертывающая активность (МСА) — это специфическая протеолитическая активность в отношении каппа-казеина молока;
- ❑ общая протеолитическая активность (ПА) — это степень протеолитической активности в отношении всех казеинов и других белков.

Молокосвертывающий фермент с высокой МСА обладает высокой скоростью расщепления каппа-казеина, что способствует сокращению продолжительности свертывания молока и расщеплению большей доли каппа-казеина, который обеспечивает стабильность казеиновых мицелл [2]. Чем большая часть каппа-казеина на поверхности мицелл подвергнута расщеплению, тем большая площадь поверхности мицеллы доступна для контакта и агрегирования с другими мицеллами и тем плотнее структура формируемого молочного сгустка [1].

Молокосвертывающий фермент, обладающий высоким уровнем общей ПА, кроме расщепления каппа-казеина способен расщеплять казеины, образующие каркас белкового сгустка, что приводит к ослаблению структуры молочного сгустка, снижению его способности к синерезису и потере части белкового материала сгустка из-за его дробления при механической обработке. Также часть белкового материала сгустка может быть потеряна в форме водорастворимых пептидов, образовавшихся при расщеплении казеинов [3]. Негативный эффект от высокой ПА может проявиться и на стадии созревания сыра, что ведет к образованию излишней пластичной, мажущейся консистенции и к появлению сильного горького вкуса [4]. Поэтому результирующим критерием, характеризующим качество МФ, является соотношение МСА/ПА [2].

Длительное время, до конца 1980-х годов, самым лучшим молокосвертывающим ферментом был сычужный фермент (СФ), выделяемый из желудков телят. Но такой фермент имеет существенные недостатки в виде высокой стоимости и ограниченности сырьевой базы для производства, не позволяющей полностью обеспечить СФ производство сыров в его современных масштабах. В качестве заменителя СФ в сыродельной промышленности применяли кислые протеазы, близкие по специфичности действия к СФ — пепсины КРС, свиней, кур их смеси с СФ (комбинированные препараты), кислые протеазы микроскопических грибов и бактерий. Такие заменители имели более высокий уровень общей протеолитической активности в сравнении с СФ со всеми следующими из этого недостатками [5,6].

Ситуация с дефицитом СФ и связанные с этим проблемы с использованием заменителей СФ были решены к началу 1990-х годов с началом промышленного производства МФ на основе рекомбинантных химозинов. Такие МФ позволили обеспечить столь же высокий выход сыров и столь же высокое их качество, как и при использовании СФ [7].

Анализ состава российского рынка МФ показывает, что ферменты животного, рекомбинантного и микробного происхождения представлены на рынке примерно в равных долях. При этом среди МФ животного происхождения пепсины и препараты комбинированного состава спросом не пользуются [8]. На мировом рынке МФ доля МФ микробного происхождения более чем в два раза превышает долю МФ животного происхождения [9].

Одной из причин, объясняющей высокий спрос на МФ микробного происхождения, является их низкая стоимость. Стоимость такого МФ в пересчете на единицы МСА примерно в 3 раза ниже, чем у СФ, и примерно в 1,5 раза ниже, чем у МФ на основе рекомбинантных химозинов [10]. Однако

низкая стоимость не является основным критерием, определяющим популярность МФ микробного происхождения у сыроделов. На выбор в пользу микробных МФ влияет качество сыров, выпускаемых с их применением.

С момента начала промышленного выпуска МФ микробного происхождения технология их производства была усовершенствована. Было использовано три подхода для снижения ПА и повышения соотношения МСА/ПА для МФ микробного происхождения:

- ❑ селекция штаммов (например, препарат Meito Microbial Rennet) [5];
- ❑ улучшенная очистка (например, препараты Fromase, Hannilase) [11];
- ❑ генная инженерия (препарат Marzyme) [12].

С другой стороны, произошло совершенствование сыродельного оборудования и технологий сыроделия, позволивших нивелировать недостатки микробных МФ на стадии получения и обработки молочного сгустка. В настоящее время в сыродельной отрасли на смену открытым сыродельным ваннам пришли закрытые сыроизготовители, продолжительность операций в которых задается программой. Если ранее в открытой ванне сыродел имел свободный доступ к сгустку и мог определять момент формирования молочного геля по его консистенции, то в закрытых сыроизготовителях такая возможность отсутствует. Для контроля процесса формирования молочного сгустка в практике современного сыроделия используются приборы, основанные на разных физических принципах [13]. Контроль процесса свертывания позволяет точно определять момент приобретения сгустком оптимальной плотности, что обеспечивает высокую скорость синерезиса (т. е. сокращение продолжительности техпроцесса) и минимальные потери сухих веществ молока в сыворотку (т. е. высокий выход сыра) [1].

Целью настоящего исследования является повышение эффективности производства мягких сыров за счет обоснованного выбора молокосвертывающего фермента по оптимальному соотношению его стоимости к выходу и качеству готового продукта.

2. Материалы и методы

2.1 Материалы

В исследованиях использовали коровье молоко одного поставщика-производителя — ООО «АгриВолга» (Ярославская область, Угличский район, д. Бурмасово).

При производстве сыров использовали молочнокислую закваску на основе бактериальных концентратов БК-Углич-№ 4 и БК-Углич-№ 5А (ФГБНУ «Экспериментальная биофабрика», Россия), состоящую из набора культур *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *diacetylactis* с предварительной активизацией культуры на стерилизованном молоке. Для свертывания молока использовали МФ марок:

- ❑ Marzyme® MT 2200 на основе кислой протеазы, выделенной от *R. miehei*. Номинальная МСА 2200 IMCU/г (Danisco SAS, Франция);
- ❑ Naturen® Extra 220 NB, представляющий собой натуральный сычужный фермент, выделенный из желудков телят с номинальным содержанием химозина не менее 95%, пепсина — не более 5%. Номинальная МСА 220 IMCU/см³ (Chr Hansen A/S, Дания);
- ❑ Chy-max® M 1000 на основе рекомбинантного химозина верблюда. Номинальная МСА 1000 IMCU/см³ (Chr Hansen A/S, Дания).

2.2 Методы

2.2.1 Методы исследования свойств молокозвертывающих ферментов

Определение общей протеолитической активности проводилось по ГОСТ 34430–2018¹, применительно к слабокислым протеазами (при pH 5,3).

2.2.2 Методы исследования свойств молока, сыворотки и сыров

Активную кислотность молока, сыворотки и сыров определяли на pH-метре pH-150МИ (ООО «Измерительная техника», Россия). Активную кислотность сыров в процессе самопрессования определяли путем погружения потенциометрических электродов pH-метра в сырную массу. Активную кислотность сыра после посолки определяли в суспензии сыра, для приготовления которой 10 г сыра растирали в ступке с 10 см³ деионизированной воды.

Определение массовой доли влаги в молоке и сырах проводили методом высушивания при температуре 102 ± 2 °C по российскому государственному стандарту ГОСТ 3626–73². Определение массовой доли влаги в сыворотке проводили методом по ГОСТ 3626–73 (п. 2.3, применительно к молоку).

Определение массовой доли общего белка в молоке и сыворотке — методом Кьельдаля по российскому государственному стандарту ГОСТ 23327–98³.

Определение массовой доли общего белка в сырах — методом Кьельдаля по российскому государственному стандарту ГОСТ Р 54662–2011⁴.

Определение массовой доли жира в молоке и сыворотке — кислотным методом по российскому государственному стандарту ГОСТ 5867–90⁵.

Определение массовой доли жира в сырах — кислотным методом по российскому государственному стандарту ГОСТ Р 55063–2012⁶.

Определение молекулярно-массового распределения растворимых белковых веществ в сыворотке проводили методом гель-фильтрации высокого разрешения с использованием колонки Superose 12 10/300 GL (GE Healthcare, Швеция). Элюент — водный раствор 0,05 М Na₂HPO₄ + 0,15 М NaCl, скорость подачи элюента — 0,5 мл/мин; длина волны детектора — 280 нм. Калибровку колонки проводили по времени выхода белковых веществ с известной молекулярной массой: IgG (180 кДа), альдолаза (158 кДа), BSA (69 кДа), овоальбумин (43 кДа), β-Lg (36,0 кДа), α-La (14,4 кДа), цитохром С (12,3 кДа), триптофан (0,204 кДа). Калибровочный график был построен на основе логарифмической регрессионной модели [14]. Для определения молекулярно-массового распределения растворимых белковых веществ сыворотки отбирали сыворотку в конце процесса обработки зерна, фильтровали на бумажном фильтре, а затем на фильтре из ацетата целлюлозы с размером пор 0,45 мкм (Владипор, Россия).

Выход сыров рассчитывали по формулам, приведенным в [15].

Фактический выход сыра рассчитывали по формуле (1):

$$B_{\phi} = \frac{M_{\text{сыра}}}{M_{\text{мол}} + M_{\text{закв}}} \quad (1)$$

где B_{ϕ} — фактический выход сыра, %;

$M_{\text{сыра}}$ — масса сыра, кг;

$M_{\text{мол}}$ — масса молока, использованного для производства сыра, кг;

$M_{\text{закв}}$ — масса закваски, использованной для производства сыра, кг.

Долю жира молока, перешедшего в сыр, рассчитывали по формуле (2):

$$M_{\text{жс}} = \frac{M_{\text{сыра}} \cdot \%Ж_{\text{с}}}{M_{\text{мол}} \cdot \%Ж_{\text{мол}}} \quad (2)$$

где $M_{\text{жс}}$ — доля жира молока, перешедшего в сыр, %;

$\%Ж_{\text{с}}$ — массовая доля жира в сыре, %;

$\%Ж_{\text{мол}}$ — массовая доля жира в молоке, использованном для производства сыра, %.

2.2.3 Методы контроля процесса формирования молочного сгустка

С целью получения сравнимых результатов момент готовности сгустка к разрезке определяли в онлайн-режиме с помощью измерительной системы, действующей на основе метода горячей проволоки (Hot-Wire method) [16,17].

2.2.4. Процесс производства сыров

Производили мягкий сыр типа «Любительский» с содержанием жира в сухом веществе 50%. Технологический регламент производства сыра приведен в Таблице 1.

Таблица 1

Технологический регламент производства сыра

Стадия технологического процесса	Параметры процесса
Массовая доля жира молочной смеси	2,9 ± 0,1%
Режим пастеризации молока	75 ± 1 °C; 20 сек
Доза внесения хлористого кальция	Из расчета 35 г безводной соли на 100 кг молока
Доза молочнокислой закваски	1,5%
Кислотность молока перед свертыванием	6,40 ± 0,05 ед. pH
Доза МФ	3000 IMCU / 100 кг молока
Температура свертывания молока и обработки зерна	31 ± 1 °C
Продолжительность свертывания	30 ± 10 мин
Размер граней зерна при разрезке	20 ± 2 мм
Продолжительность разрезки и постановки зерна	7,5 ± 2,5 мин
Продолжительность выдержки зерна после разрезки	10 ± 1 мин
Продолжительность обработки зерна	25 ± 5 мин
Продолжительность самопрессования	180 ± 10 мин
Температура сырной головки в конце самопрессования	22 ± 2 °C
Активная кислотность сыра после прессования	5,80 ± 0,05 ед. pH

Примечание: В таблице приведены номинальные продолжительности стадий техпроцесса ± допустимые отклонения.

После завершения самопрессования свежий сыр солили погружением в 18%-й раствор соли в течение 1 ч при температуре 4 ± 2 °C. После посолки сыры были обсушены в течение ночи (14–16 ч) при температуре 4 ± 2 °C и относительной влажности 85 ± 5%, а затем упакованы под вакуумом (давление (0,95–0,97) · 10⁻⁵ Па; продолжительность вакуумирования 17 с) в пакеты из полимерной пленки Амивак СН-В (Атлантис-Пак, Россия). Упакованные сыры хранили при температуре 3 ± 1 °C.

¹ ГОСТ 34430–2018 Ферментные препараты для пищевой промышленности. Метод определения протеолитической активности. М.: Стандартинформ, 2018. — 12 с.

² ГОСТ 3626–73 Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества. М.: Стандартинформ, 2009. — 11 с.

³ ГОСТ 23327–98 Молоко и молочные продукты. Метод измерения массовой доли общего азота по Кьельдалю и определение массовой доли белка. М.: Стандартинформ, 2009. — 8 с.

⁴ ГОСТ Р 54662–2011 Сыры и сыры плавленые. Определение массовой доли белка методом Кьельдаля. М.: Стандартинформ, 2012. — 16 с.

⁵ ГОСТ 5867–90 Молоко и молочные продукты. Методы определения жира. М.: Стандартинформ, 2009. — 12 с.

⁶ ГОСТ Р 55063–2012 Сыры и сыры плавленые. Правила приемки, отбор проб и методы контроля. М.: Стандартинформ, 2013. — 28 с.

2.2.5 Методы статистического анализа

Математическая обработка данных проводилась с применением программных пакетов Microsoft Excel и Statsoft Statistica (v.5.5). Оценку влияния категориального фактора «тип МФ» на переменные отклика проводили с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) методом множественных сравнений Шеффе [18].

3. Результаты и обсуждение

3.1 Молокоосвертывающая и протеолитическая активность МФ

Результаты измерения протеолитической активности и значения МСА/ПА, рассчитанные исходя из номинальной активности МФ, приведены в Таблице 2.

Таблица 2

Молокоосвертывающая и общая протеолитическая активность МФ

Марка МФ	Молокоосвертывающая активность (МА), номинальная, IMCU/г	Протеолитическая активность (ПА), ед. ПА/г	Соотношение МСА/ПА, IMCU/ед. ПА
Marzyme MT 2200	2200	70,90	31
Naturen Extra 220	193*	0,97	227
Chy-max M 1000	909**	0,68	1470

Примечание: молокоосвертывающая активность препаратов Naturen Extra и Chy-max пересчитана из номинальной активности в 1 см³ на номинальную активность в 1 г, исходя из плотности данных препаратов (г/см³):

* измеренная плотность препарата Naturen Extra 220 равна 1,134 г/см³;

** измеренная плотность препарата Chy-max M 1000 равна 1,101 г/см³.

Из представленных в Таблице 2 данных следует, что имеют место существенные отличия по величине неспецифической протеолитической активности (ПА) между МФ разного происхождения, что сказывается на величине соотношения МСА/ПА. Показатель МСА/ПА, характеризующий степень специфичности действия МФ в отношении каппа-казеина, у препарата Chy-max M 1000 в ~7 раз выше, чем у препарата Naturen Extra 220, и в ~50 раз выше, чем у препарата Marzyme MT 2200. Исходя из определенной в результате исследований величины критерия МСА/ПА, следует ожидать, что продолжительность свертывания молока препаратами будет следующей: Chy-max M < Naturen Extra < Marzyme. При этом, наименьшие потери сухих веществ молока в сыворотку должны быть у вариантов сыров, производимых с препаратом Chy-max M, а наибольшие потери — у вариантов сыров, производимых с препаратом Marzyme.

3.2 Процесс свертывания молока

Для свертывания молока готовили рабочие растворы МФ с концентрацией 5,0 IMCU/см³. Доза внесения рабочих растворов МФ была рассчитана для достижения концентрации МФ равной 3000 IMCU на 100 кг перерабатываемого молока. Молоко с внесенным раствором МФ перемешивали в течение 2 мин, после в продукт погружали датчики измерительной системы. Момент завершения перемешивания считается моментом начала свертывания.

На Рисунке 1 представлены графики изменений модуля упругости (G', усл. ед.) молока в сыродельной ванне от момента начала свертывания до момента формирования пригодного к разрезке молочного сгустка. Конечные точки графиков соответствуют моментам готовности сгустка к разрезке. Момент завершения свертывания (готовность сгустка к разрезке) подтверждался квалифицированным сыроделом органолептической пробой на излом сгустка.

Готовый к разрезанию сгусток при подъеме шпателем давал излом с острыми краями с выделением прозрачной желтовато-зеленой сыворотки.

На графиках, приведенных на Рисунке 1, заметны различия в динамике свертывания молока МФ разного типа. Фактическая продолжительность свертывания молока разными препаратами при одинаковой дозе внесения (в единицах IMCU) была следующей: Marzyme < Naturen Extra < Chy-max M. Полученные данные отличаются от теоретически ожидаемого результата, при котором наименьшее время свертывания должно быть достигнуто при свертывании молока препаратом Chy-max M, обладающим наибольшим показателем МСА/ПА.

Полученный результат объясняется отличием реальных условий свертывания от условий, при которых определяется молокоосвертывающая активность МФ в единицах IMCU: при температуре 32 °C и pH 6,50 (для МФ микробного происхождения — по ГОСТ ISO 15174–2014⁷, для говяжьих сычужных ферментов — по ГОСТ ISO 11815–2015⁸). В процессе выработки сыров свертывание проводилось в диапазоне температур 31,0±0,5 °C и pH 6,39±0,02. Изменение условий ферментативной реакции повлекло за собой изменение активности МФ.

Авторами статьи [19] при исследовании зависимости активности МФ на основе протеазы *R. miehei*, СФ и химозина верблюда установлено, что молокоосвертывающая активность МФ разного типа зависит от температуры и pH. В частности, продолжительность свертывания молока исследованными МФ увеличивалась при снижении температуры свертывания от 38 °C до 26 °C и сокращалась при снижении pH от 6,5 до 6,2. Снижение pH в большей степени повышает активность МФ на основе протеазы *R. miehei* и СФ, чем химозина верблюда. При уровне кислотности молока ниже pH 6,4, во всем диапазоне исследованных температур, отмечалась меньшая продолжительность свертывания молока МФ на основе протеазы *R. miehei* и СФ, чем химозином верблюда, при равных дозах внесения ферментов.

Также, следует отметить различия в плотности сгустка на момент его готовности к разрезке, при использовании МФ разного типа (Рисунок 1). Подобные результаты совпадают с результатами исследований по данной теме других ученых.

В работе [16] было установлено, что плотность сгустка в момент достижения кондиционной плотности (модуля упругости) зависела от типа МФ, использованного при изготовлении сыра. Soodam et al [20], исследовавшие влияние типа и дозы МФ на показатели сыра Чеддер, установили, что при использовании разных типов и доз МФ (препарат Hannilase на основе протеазы *R. miehei* и препарат Chy-max M) величина модуля упругости сгустков на момент готовности сгустка к разрезке отличалась. Причиной этого было различие в микроструктуре сгустков, получаемых с использованием разных типов и доз МФ.

Alinovi et al [21], контролировавшие свертывание молока препаратами Naturen и Chy-max M с помощью прибора Formagraph (Foss, Дания), из-за различий в величине модуля упругости сгустка в конце свертывания дополнительно контролировали момент готовности сгустка традиционным методом с участием мастера-сыродела.

⁷ ГОСТ ISO 15174–2014 Молоко и молочные продукты. Микробные коагулянты. Определение общей молокоосвертывающей активности. М.: Стандартинформ, 2015. — 10 с.

⁸ ГОСТ ISO 11815–2015 Молоко. Определение общей молокоосвертывающей активности говяжьего сычужного фермента. М.: Стандартинформ, 2015. — 10 с.

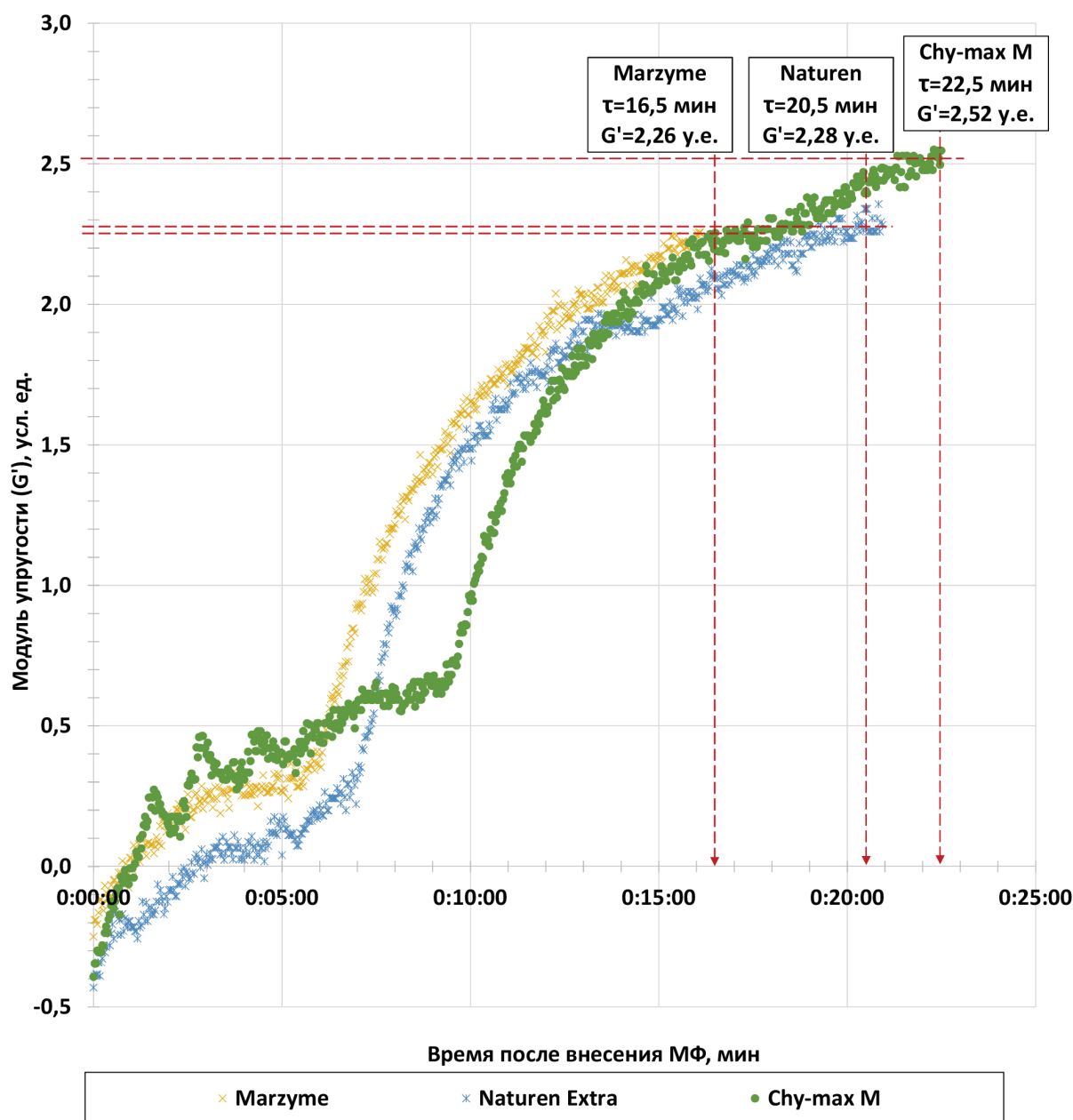


Рисунок 1. Изменение модуля упругости молочного сгустка в процессе свертывания молока разными типами МФ. Проекция пунктирными линиями показывают модуль упругости сгустка (G') и момент готовности сгустка к разрезке (τ)

3.3 Обработка сгустка

В процессе изготовления сыров исследовали следующие показатели:

- продолжительность отдельных стадий процесса обработки в сыродельной ванне;
- динамика изменения активной кислотности молока и молочного сгустка.

Продолжительность стадий обработки сгустка и сырного зерна в сыродельной ванне определяли по моменту достижения требуемой плотности сгустка и сырного зерна, оцениваемому мастером-сыроделом.

Фактические значения показателей технологического процесса на стадии изготовления сыра в ванне приведены в Таблице 3.

При анализе полученных данных (Таблица 3) при помощи метода множественных сравнений Шеффе было установлено, что отсутствует статистически значимое влияние ($p < 0,05$) типа МФ в использованной дозировке на продолжительность свертывания молока, а также на продолжительность отдельных этапов процесса обработки зерна в сыродельной ванне.

Таблица 3

Показатели технологического процесса на стадии изготовления сыра в ванне

Параметр технологического процесса	Значение параметра для сыров, произведенных с МФ марки		
	Marzyme MT 2200	Naturen Extra 220	Chy-max M 1000
Активная кислотность перед свертыванием, ед. pH	6,39±0,02	6,39±0,02	6,39±0,02
Температура свертывания, °C	31,50±0,40	31,20±0,26	31,50±0,26
Продолжительность свертывания, мин	16,0±2,0	19,0±2,7	17,0±1,7
Продолжительность разрезки и постановки зерна*, мин	10	10	10
Продолжительность обработки зерна, мин	25,0±2,7	20,7±2,5	20,7±2,9
Общая продолжительность обработки**, мин	35,0±2,7	30,7±2,5	30,7±2,9

Примечание:

* Продолжительность разрезки и постановки зерна во всех вариантах сыров проводилась одинаковое время.

** Время от момента разрезки зерна до момента завершения обработки. Данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение».

Ранее проведенными исследованиями установлено, что тип используемого МФ влияет на структуру и механические свойства молочного сгустка (плотность, упругость), от которых зависят степень дробления сгустка при обработке и количество сухих веществ сгустка, теряемых в подсырную сыворотку [6,20]. Также молокосвертывающий фермент на стадии обработки зерна в ванне способен проявлять протеолитическое действие в отношении казеинов с образованием растворимых пептидов, которые переходят в подсырную сыворотку. В особенности это касается МФ микробного происхождения, которые обладают высокой протеолитической активностью [3,4].

Для установления влияния типа использованного МФ на количество сухих веществ молока, теряемых в сыворотку, оценивали показатели состава сыворотки (Таблица 4).

Таблица 4

Показатели состава сыворотки

Показатель состава сыворотки	Значение показателя для сыворотки от сыров, произведенных с МФ марки		
	Marzyme MT 2200	Naturen Extra 220	Chy-max M 1000
Массовая доля жира, %	0,30±0,06	0,30±0,05	0,30±0,08
Массовая доля сухого вещества, %	7,28±0,13	7,32±0,07	7,26±0,08
Массовая доля общего белка, %	0,68±0,08	0,52±0,03	0,53±0,08

Примечание: Данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение».

При анализе полученных данных (Таблица 4) при помощи метода множественных сравнений Шеффе было установлено, что отсутствует статистически значимое влияние ($p < 0,05$) типа МФ в использованной дозировке на содержание жира и сухого вещества сыворотки. Различие по содержанию общего белка сыворотки в варианте с МФ Marzyme в сравнении с другими вариантами МФ находится на грани статистической достоверности ($p < 0,10$). Это может свидетельствовать о меньшей механической прочности сырного сгустка, полученного с использованием МФ Marzyme. Такой сгусток в большей степени подвержен дроблению с потерями сухого вещества при механической обработке. Были проведены дополнительные исследования состава сыворотки.

На Рисунке 2 приведен типичный микропрепарат образца подсырной сыворотки, полученной от одного из образцов сыров, произведенных в процессе работы.

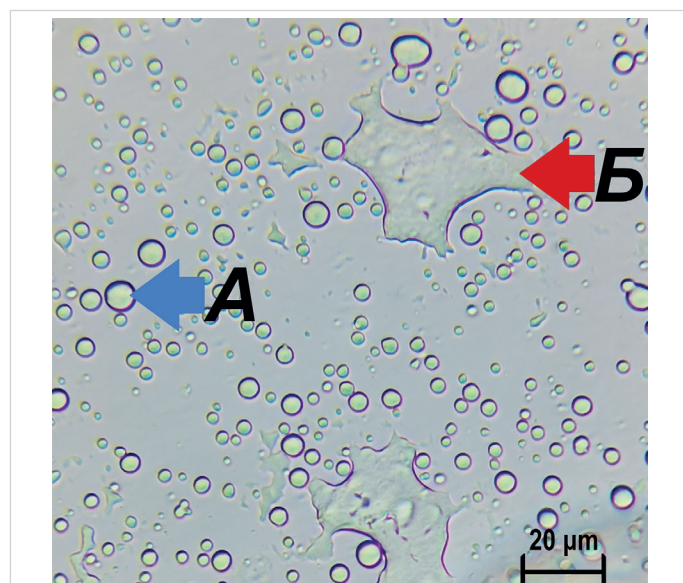


Рисунок 2. Микропрепарат подсырной сыворотки, содержащей микрочастицы жира и белка: А) жировые шарики, Б) микрочастицы сгустка («сырная пыль»)

В микропрепарате подсырной сыворотки, представленном на Рисунке 2, наряду с жировыми шариками видны микрочастицы сгустка (т. н. «сырная пыль»). Частицы «сырной пыли» образуются в результате дробления сырного сгустка в процессе его механической обработки, они нерастворимы и могут быть отделены центрифугированием или фильтрацией. Показатель «общий белок» сыворотки включает в себя как белок, находящийся в составе «сырной пыли», так и растворимые белковые вещества сыворотки (липопротеины, фосфолипиды, казеины, сывороточные белки (альбумины, глобулины и др.), протеозо-пептоны, пептиды и свободные аминокислоты).

На Рисунке 3 показаны хроматограммы молекулярно-массового распределения растворимых белковых веществ образцов сыворотки, полученной от сыров, произведенных с разными типами МФ.

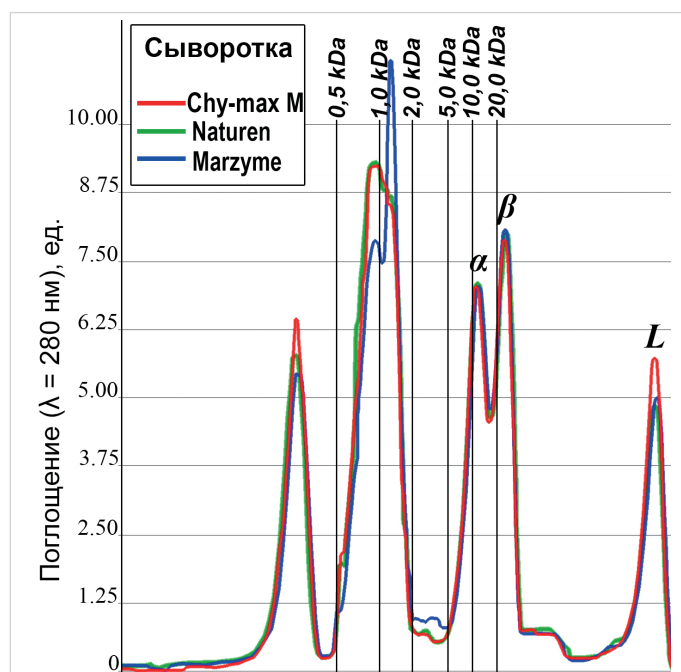


Рисунок 3. Молекулярно-массовое распределение растворимых белковых веществ сыворотки, полученной от сыров, произведенных с разными типами МФ: L — белковая фракция, содержащая липопротеины, фосфолипиды и казеины, α — фракция альфа-лактоальбумина, β — фракция бета-лактоглобулина (идентификация фракций по данным [22])

Из хроматограмм, приведенных на Рисунке 3, видно, что молекулярно-массовое распределение белковых веществ сыворотки от сыров, произведенных с Marzyme, отличается от молекулярно-массового распределения в образцах сыворотки от сыров, произведенных с МФ Naturen и Chy-max M. При этом молекулярно-массовое распределение белковых веществ в сыворотке от МФ Naturen и Chy-max идентично молекулярно-массовому распределению белковых веществ молочной сыворотки, выделенной путем кислотной коагуляции белков молока (хроматограмма не приведена, чтобы не загромождать график). Это говорит о наличии большего протеолитического действия Marzyme на белки молока на стадии производства сыра в ванне в сравнении с другими вариантами МФ. Большой уровень протеолитической активности Marzyme (см. Таблицу 2) может быть причиной получения более слабого сгустка и больших потерь сухих веществ сгустка в сыворотку.

Показатели свежих сыров (после обсушки, перед упаковкой) представлены в Таблице 5.

Таблица 5

Показатели свежих сыров

Показатель состава сыров	Значение показателя для сыров, произведенных с МФ марки		
	Marzyme MT 2200	Naturen Extra 220	Chy-max M 1000
Кислотность, ед. pH	5,18±0,05	5,17±0,03	5,20±0,05
Массовая доля сухого вещества, %	44,85±0,24	44,45±0,32	44,29±0,44
Массовая доля жира, %	21,27±0,27	21,27±0,70	21,23±0,64
Фактический выход сыра, %	14,91±0,33	14,96±0,20	14,97±0,19
Доля жира молока, перешедшего в сыр, %	87,64±2,74	87,93±3,81	87,77±1,89

Примечание: Данные приведены в форме «среднее значение ± стандартное отклонение».

При анализе полученных данных (Таблица 5) при помощи метода множественных сравнений Шеффе было установлено, что отсутствовало статистически достоверное ($p < 0,05$) влияние типа МФ, использованного для производства сыра при выбранной дозе внесения, на уровень кислотности, массовую долю жира и сухого вещества свежих сыров. Выход сыров также не отличался, что соотносится с данными по отсутствию различий в потерях сухого вещества в сыворотку на стадии изготовления сыров (Таблица 4). Полученные результаты можно объяснить в том числе низкой интенсивностью и короткой продолжительностью термомеханической обработки молочных сгустков при производстве мягких сыров. Вследствие этого во всех вариантах сыров практически не было дробления сгустка и потерь сухих веществ сгустка в сыворотку.

4. Заключение

На основании полученных результатов исследований можно сделать следующие выводы:

- современные МФ вне зависимости от типа (животного, микробного происхождения или рекомбинантные)

имеют высокую степень активности и специфичности, что позволяет обеспечить стабильное время получения сгустка с минимальной вариацией по времени;

- при изготовлении сыров из зрелого молока ($pH \leq 6,4$) использование МФ микробного происхождения позволяет сократить продолжительность свертывания молока в сравнении с СФ и МФ на основе рекомбинантных химозинов;
- современные МФ микробного происхождения обладают умеренным уровнем общей протеолитической активности, что позволяет при их использовании в производстве сыров достигнуть низких потерь сухого вещества молочного сгустка в сыворотку и получить такой же выход сыров, как и при использовании традиционного СФ или МФ на основе рекомбинантных химозинов;
- отсутствует существенное влияние типа используемого МФ на показатели мягких сыров и выход сыра, что связано в т. ч. низкой интенсивностью и короткой продолжительностью термомеханической обработки молочных сгустков при производстве мягких сыров;
- микробные МФ, выпускаемые в настоящее время, имеют высокое качество при более низкой цене в сравнении с СФ и рекомбинантными химозинами и могут быть рекомендованы как экономически-эффективная замена традиционному СФ и рекомбинантным химозинам при производстве мягких и свежих сыров.

Сделанные в настоящей статье выводы об отсутствии негативных последствий от использования МФ, обладающих высоким уровнем неспецифической ПА, относятся только к этапу обработки сгустка в ванне и полученным свежим сырам. Такое негативное действие может проявиться в течение срока хранения сыров в виде дефектов их вкуса и консистенции. С целью проверки данного предположения, произведенные в процессе описанного эксперимента сыры были заложены на хранение. Результаты эксперимента в стадии хранения, планируется опубликовать в отдельной статье.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., McSweeney, P.L.H. (2017). Cheese: Enzymatic Coagulation of Milk. Chapter in a book: Fundamentals of Cheese Science, 2nd Ed. New York: Springer, 2017.
2. Jaros, D., Rohm, H. (2017). Rennets: Applied Aspects. Chapter in a book: Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. (Ed. by McSweeney, P.L.H., Fox, P.F., Cotter, P.D. and David W. Everett), 4th Ed. — Vol. 1. Elsevier: Academic Press, 2017.
3. Harboe, M., Broe, M. L. Qvist, K.B. (2010). The Production, Action and Application of Rennet and Coagulants. Chapter in a book: Technology of cheesemaking. (ed. Law B. A., Tamime A. Y.), 2nd Ed. Chichester: Blackwell Publishing Ltd., 2010.
4. Jacob, M., Jaros, D., Rohm, H. (2010). The effect of coagulant type on yield and sensory properties of semihard cheese from laboratory-, pilot- and commercial-scale productions. *International Journal of Dairy Technology*, 63(3), 370–380. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00598.x>
5. Garg, S.K., Johri, B.N. (1994). Rennet: current trends and future research. *Food Reviews International*, 10(3), 313–355. <https://doi.org/10.1080/87559129409541005>
6. Garcia, H.S., López-Hernandez, A., Hill, C.G. (2017). Enzyme Technology — Dairy Industry Applications. Comprehensive Biotechnology (Ed. Moo-Young M.) 3rd Ed. Pergamon, 2017.
7. Jacob, M., Jaros, D., Rohm, H. (2011). Recent advances in milk clotting enzymes. *International Journal of Dairy Technology*, 64(1), 14–33. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00633.x>
8. Абрамов, Д.В., Мяконосов, Д.С., Мордвинова, В.А., Делицкая, И.Н., Овчинникова, Е.Г. (2018). Современные тенденции рынка молокосвертывающих ферментных препаратов. *Сыроделье и маслоделие*, 6, 7–11.
9. Мяконосов, Д.С., Абрамов, Д.В., Мордвинова, В.А., Овчинникова, Е.Г., Муничева, Т.Э. (2019). Рекомбинантные молокосвертывающие ферменты — использование в сыроделии. Часть II. Технологические особенности применения рекомбинантных химозинов. *Сыроделье и маслоделие*, 6, 16–20. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2019-6-16-20>
10. Мяконосов, Д.С., Абрамов, Д.В., Мордвинова, В.А., Муничева, Т.Э., Овчинникова, Е.Г. (2019). Обзор российского рынка молокосвертывающих препаратов и перспективы его развития. *Сыроделье и маслоделие*, 2, 11–13. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2019-2-11-13>
11. Dekker, P. (2019). Dairy Enzymes. Chapter in a book: Industrial Enzyme Applications. (Ed. by Vogel A. and May O.), 1st Ed. — Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 2019.
12. Trono, D. (2019). Recombinant Enzymes in the Food and Pharmaceutical Industries. Chapter in a book: Advances in Enzyme Technology. (Ed. by Singh R. S., Singhanian R. R., Pandey A., Larroche C.). Elsevier B. V., 2019.
13. O'Callaghan, D. J., O'Donnell, C. P., Payne, F. A. (2002). Review of systems for monitoring curd setting during cheesemaking. *International Journal of Dairy Technology*, 55(2), 65–74. <https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2002.00043.x>
14. Visser, S., Slangen, C.J., Robben, A.J.P.M. (1992). Determination of molecular mass distributions of whey protein hydrolysates by high-permeance size-exclusion chromatography. *Journal of Chromatography A*, 599(1–2), 205–209. [https://doi.org/10.1016/0021-9673\(92\)85474-8](https://doi.org/10.1016/0021-9673(92)85474-8)
15. Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., McSweeney, P.L.H. (2017). Cheese Yield. Chapter in a book: Fundamentals of Cheese Science (2nd Edition). New York: Springer, 2017.
16. Смыков, И.Т. (2018). Определение момента готовности молочного сгустка к разрезке при производстве сыров. *Пищевые системы*, 1(2), 12–20. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-12-20>
17. Smykov, I.T. (2019). Self segmenting of rennet induced milk gel in cheesemaking tank. *International Journal of Dairy Technology*, 72(4), 591–600. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12650>
18. Тюрин Ю. Н., Макаров А. А. (1998). Статистический анализ данных на компьютере. — М.: ИНФРА-М, 1998.

19. Абрамов, Д.В., Мягконосов, Д.С., Овчинникова, Е.Г., Муничева, Т.Э. (22–24 июня 2021 года). Различия в специфике молокосвертывающей активности МФ разного происхождения. Сборник материалов международной научно-практической конференции «Молоко и молочная продукция: актуальные вопросы производства», Углич: Всероссийский научно-исследовательский институт маслоседеления и сыроделия — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, 2021
20. Soodam, K., Ong, L., Powell, I. B., Kentish, S. E., Gras, S. L. (2015). Effect of rennet on the composition, proteolysis and microstructure of reduced-

- fat cheddar cheese during ripening. *Dairy Science and Technology*, 95(5), 665–686. <https://doi.org/10.1007/s13594-015-0250>
21. Alinovi, M., Cordioli, M., Francolino, S., Locci, F., Ghiglietti, R., Monti, L. et al. (2018). Effect of fermentation-produced camel chymosin on quality of crescenza cheese. *International Dairy Journal*, 84, 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.04.001>
22. Morr, C.V., Ha, E.Y.W. (1993). Whey Protein Concentrates and Isolates: Processing and Functional Properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33(6), 431–476. <https://doi.org/10.1080/10408399309527643>

REFERENCES

1. Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., McSweeney, P.L.H. (2017). Cheese: Enzymatic Coagulation of Milk. Chapter in a book: *Fundamentals of Cheese Science*, 2nd Ed. New York: Springer, 2017.
2. Jaros, D., Rohm, H. (2017). Rennets: Applied Aspects. Chapter in a book: *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. (Ed. by McSweeney, P.L.H., Fox, P.F., Cotter, P.D. and David W. Everett), 4th Ed. — Vol. 1. Elsevier: Academic Press, 2017.
3. Harboe, M., Broe, M. L. Qvist, K.B. (2010). The Production, Action and Application of Rennet and Coagulants. Chapter in a book: *Technology of cheesemaking*. (ed. Law B. A., Tamime A. Y.), 2nd Ed. Chichester: Blackwell Publishing Ltd., 2010.
4. Jacob, M., Jaros, D., Rohm, H. (2010). The effect of coagulant type on yield and sensory properties of semihard cheese from laboratory-, pilot- and commercial-scale productions. *International Journal of Dairy Technology*, 63(3), 370–380. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00598.x>
5. Garg, S.K., Johri, B.N. (1994). Rennet: current trends and future research. *Food Reviews International*, 10(3), 313–355. <https://doi.org/10.1080/87559129409541005>
6. Garcia, H.S., López-Hernandez, A., Hill, C.G. (2017). Enzyme Technology — Dairy Industry Applications. *Comprehensive Biotechnology* (Ed. Moo-Young M.) 3rd Ed. Pergamon, 2017.
7. Jacob, M., Jaros, D., Rohm, H. (2011). Recent advances in milk clotting enzymes. *International Journal of Dairy Technology*, 64(1), 14–33. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00633.x>
8. Abramov, D. V., Myagkonosov, D. S., Mordvinova, V. A., Delitskaya, I. N., Ovchinnikova, E. G. (2018). Current market trends of milk-coagulating enzyme preparations. *Cheesemaking and Buttermaking*, 6, 7–11. (In Russian)
9. Myagkonosov, D. S., Abramov, D. V., Mordvinova, V. A., Ovchinnikova, E. G., Municheva, T. E. (2019). Recombined milk clotting enzymes — application in cheese making. Part II. Technological issues of using recombinant chymosins. *Cheesemaking and Buttermaking*, 2, 16–20. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2019-6-16-20> (In Russian)
10. Myagkonosov, D. S., Abramov, D. V., Mordvinova, V. A., Municheva, T. E., Ovchinnikova, E. G. (2019). Review of the Russian market of milk clotting preparations and prospects of its development. *Cheesemaking and Buttermaking*, 2, 11–13. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2019-2-11-13>
11. Dekker, P. (2019). Dairy Enzymes. Chapter in a book: *Industrial Enzyme Applications*. (Ed. by Vogel A. and May O.), 1st Ed. — Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 2019.
12. Trono, D. (2019). Recombinant Enzymes in the Food and Pharmaceutical Industries. Chapter in a book: *Advances in Enzyme Technology*. (Ed. by Singh R. S., Singhania R. R., Pandey A., Larroche C.). Elsevier B. V., 2019.
13. O'Callaghan, D. J., O'Donnell, C. P., Payne, F. A. (2002). Review of systems for monitoring curd setting during cheesemaking. *International Journal of Dairy Technology*, 55(2), 65–74. <https://doi.org/10.1046/j.1471-0307.2002.00043.x>
14. Visser, S., Slangen, C.J., Robben, A.J.P.M. (1992). Determination of molecular mass distributions of whey protein hydrolysates by high-permeance size-exclusion chromatography. *Journal of Chromatography A*, 599(1–2), 205–209. [https://doi.org/10.1016/0021-9673\(92\)85474-8](https://doi.org/10.1016/0021-9673(92)85474-8)
15. Fox, P.F., Guinee, T.P., Cogan, T.M., McSweeney, P.L.H. (2017). Cheese Yield. Chapter in a book: *Fundamentals of Cheese Science* (2nd Edition). New York: Springer, 2017.
16. Smykov, I. T. (2018). Milk curd cutting time determination in cheesemaking. *Food systems*, 1(2), 12–20. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-12-20> (In Russian)
17. Smykov, I.T. (2019). Self segmenting of rennet induced milk gel in cheesemaking tank. *International Journal of Dairy Technology*, 72(4), 591–600. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12650>
18. Tyurin, Yu. N., Makarov, A. A. (1998). Statistical analysis of data on a computer. (Ed. by Figurnov V. E.). Moscow: INFRA-M, 1998.
19. Abramov, D. V., Myagkonosov, D. S., Ovchinnikova, E. G., Municheva, T. E. (June 22–24, 2021). Differences in specific milk-clotting activity of milk-clotting enzymes of different origin. Collection of scientific articles of international scientific and practical conference «Milk and milk products: actual problems of production». Uglich. All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking — Branch of V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, 2021.
20. Soodam, K., Ong, L., Powell, I. B., Kentish, S. E., Gras, S. L. (2015). Effect of rennet on the composition, proteolysis and microstructure of reduced-fat cheddar cheese during ripening. *Dairy Science and Technology*, 95(5), 665–686. <https://doi.org/10.1007/s13594-015-0250-5>
21. Alinovi, M., Cordioli, M., Francolino, S., Locci, F., Ghiglietti, R., Monti, L. et al. (2018). Effect of fermentation-produced camel chymosin on quality of crescenza cheese. *International Dairy Journal*, 84, 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.04.001>
22. Morr, C.V., Ha, E.Y.W. (1993). Whey Protein Concentrates and Isolates: Processing and Functional Properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33(6), 431–476. <https://doi.org/10.1080/10408399309527643>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Мягконосов Дмитрий Сергеевич — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом прикладной биохимии и экзимологии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоседеления и сыроделия
152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19
Тел.: +7-915-973-63-13
E-mail: mds-mail@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4443-7573>
* автор для контактов

Смыков Игорь Тимофеевич — доктор технических наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоседеления и сыроделия
152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19
Тел.: +7-48532-9-81-21
E-mail: i_smykov@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5663-3662>

Абрамов Дмитрий Васильевич — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель направления биохимических исследований по сыроделию и маслоседелению, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоседеления и сыроделия
152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19
Тел.: +7-910-970-42-97
E-mail: uglich.dva@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8326-1932>

AUTHOR INFORMATION

Affiliation

Dmitry S. Myagkonosov — candidate of technical sciences, leading researcher, head of research department in applied biochemistry and enzymology, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking
19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia
Tel.: +7-915-973-63-13
E-mail: mds-mail@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4443-7573>
* corresponding author

Igor T. Smykov — doctor of technical sciences, chief research scientist, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking
19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia
Tel.: +7-48532-9-81-21
E-mail: i_smykov@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5663-3662>

Dmitry V. Abramov — candidate of biological sciences, leading researcher, head of biochemical research in cheesemaking and buttermaking, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking
19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia
Tel.: +7-910-970-42-97
E-mail: uglich.dva@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8326-1932>

Делицкая Ирина Николаевна — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, отдел сыроделия, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия
152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19
Tel.: +7-48532-98-1-28
E-mail: irina_delickaya@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3587-4050>

Irina N. Delitskaya — candidate of technical sciences, leading researcher, department of cheesemaking, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking
19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia
Tel.: +7-48532-98-1-28
E-mail: irina_delickaya@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3587-4050>

Краюшкина Валентина Николаевна — младший научный сотрудник, отдел биохимии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия
152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19
Tel.: +7-48532-98-1-33
E-mail: uglich-cheese@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-6152>

Valentina N. Krayushkina — junior researcher, department of biochemistry, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking
19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia
Tel.: +7-48532-98-1-33
E-mail: uglich-cheese@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-6152>

Критерии авторства

Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат

Contribution

Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-213-219>

Поступила 20.08.2021

Поступила после рецензирования 14.09.2021

Принята в печать 25.09.2021



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

Научная статья

ОЦЕНКА МИКРОСТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПЕРЕРАБОТАННЫХ ПРОДУКТАХ ИЗ ЗЕЛЕНОГО ГОРОШКА

Самойлов А. В. *, Сураева Н. М., Зайцева М. В.

Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования, Видное, Московская область, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

зеленый горох, переработанные продукты, микроструктура, хлорофилл, крахмал

АННОТАЦИЯ

Спрос на консервированные овощи и фрукты зависит в первую очередь от их потребительских характеристик. Эти продукты должны соответствовать высоким требованиям в отношении их пищевой и биологической ценности, а также органолептических свойств. Цель работы заключалась в изучении микроструктурных изменений клеток зеленого горошка в продуктах его переработки. В качестве объектов исследования были выбраны такие виды горошка, как свежий, замороженный и консервированный, изготовленный из свежего и восстановленного сырья. С помощью световой микроскопии в клетках гиподермы и паренхимы были охарактеризованы такие их компоненты, как хлорофилл и крахмал соответственно. Было обнаружено, что окрашенные в ярко-зеленый цвет пластиды с хлорофиллом присутствовали только в клетках гиподермы замороженного гороха. Более того, такая же окраска пигмента была зафиксирована и в образцах свежего гороха. В консервированном продукте из свежего гороха было отмечено появление коричневых оттенков в этих клетках, связанное с превращением хлорофиллов в феофитины и пиррофеофитины. В образцах консервированного горошка из восстановленного сырья гиподерма была представлена в виде почти бесцветных клеток. Анализ окрашенных йодом препаратов паренхимных клеток указанных продуктов показал, что зерна крахмала, в образцах замороженного и консервированного горошка из свежего сырья сохраняли свою концентрическую форму. Тогда как в окрашенных препаратах паренхимы консервированного горошка из восстановленного сырья было продемонстрировано набухание зерен крахмала. Сравнительный микроструктурный анализ переработанных продуктов из зеленого горошка показал, что в соответствии с выявленными показателями (а именно хлорофилла и зерен крахмала) максимально качественным был замороженный продукт из свежего сырья.

Received 20.08.2021

Accepted in revised 14.09.2021

Accepted for publication 25.09.2021

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

Original scientific article

ASSESSMENT OF MICROSTRUCTURAL CHANGES IN PROCESSED PRODUCTS FROM GREEN PEAS

Artem V. Samoilov*, Natal'ya M. Suraeva, Mariya V. Zaytseva

Russian Research Institute of Canning Technology Vidnoe, Moscow region, Russia

KEY WORDS:

green peas, processed products, microstructure, chlorophyll, starch

ABSTRACT

A demand for canned vegetables and fruit depend, first of all, on their consumer characteristics. These products should correspond to high requirements regarding their nutritional and biological value, as well as sensory properties. The aim of the work was to study the microstructural changes in the cells of green peas in the products of their processing. Fresh, frozen and canned peas made from fresh and rehydrated raw materials were used as objects of the research. Components such as chlorophyll and starch were characterized in the cells of the hypodermis and parenchyma, respectively, using light microscopy. It was found that plastids with chlorophyll stained in the bright green color were present only in cells of the hypodermis of frozen peas. Moreover, the same color of the pigment was also recorded in the samples of fresh peas. Appearance of brown hues in these cells was observed in the canned product from fresh peas, which was associated with transformation of chlorophylls into pheophytins and pyropheophytins. The hypodermis in the samples of canned peas from rehydrated raw materials was represented by almost colorless cells. When analyzing the preparations of the parenchymal cells of the indicated processed products stained with iodine, it was shown that starch grains in the samples of frozen and canned green peas from fresh raw materials maintained their concentric shape, while swelling of starch grains was observed in the stained preparations of the parenchyma of canned peas from rehydrated raw materials. The comparative microstructural analysis of processed products from green peas showed that maximum quality had the frozen product from fresh raw materials as the studied indicators (chlorophyll and starch grains) showed.

1. Введение

Бобовые культуры занимают важное место в повседневном рационе питания в качестве источника белка, углеводов, минералов, витаминов, клетчатки и других питательных веществ. Одним из наиболее популярных представителей

этого семейства является горох (*Pisum sativum* L.). Крахмал и клетчатка — основные компоненты гороха, составляющие 46% и 20% соответственно [1]. Клетчатка семенной оболочки и клеточных стенок семядолей оказывает благотворное влияние на функционирование желудочно-кишечного тракта,

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Самойлов, А.В., Сураева, Н.М., Зайцева, М.В. (2021). Оценка микроструктурных изменений в переработанных продуктах из зеленого горошка. *Пищевые системы*, 4(3), 213-219. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-213-219>

FOR CITATION: Samoilov, A.V., Suraeva, N.M., Zaytseva, M.V. (2021). Assessment of microstructural changes in processed products from green peas. *Food systems*, 4(3), 213-219. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-213-219>

а также снижает усвояемость крахмала в горохе. Содержание амилозы во внутренней части крахмального зерна также способствует более низкому гликемическому индексу и ухудшению усвояемости этого углевода. Учитывая потребности рынка в пищевых продуктах, в которых отсутствуют белки животного происхождения, в состав все большего количества продуктов стали входить гороховая мука, концентрат и изолят горохового белка [2]. Кроме этого, употребление бобовых связано с профилактикой и лечением сердечно-сосудистых заболеваний [3]. Горох содержит множество фитохимических веществ, которые могут обладать антиоксидантной и антиканцерогенной активностью [1]. Так, например, в свежем горохе концентрация хлорофилла а составляет от 4880 до 7300 мкг/100 г свежей массы, а хлорофилла b — от 2100 до 2800 мкг/100 г свежей массы [4]. Этот пигмент и его производные могут оказывать антиканцерогенное и антимуtagenное действие [5].

Сохранение пищевых продуктов очень важно с точки зрения их безопасности, поэтому горох подвергают таким видам переработки, как высушивание, заморозка, консервирование. Однако указанные технологические обработки приводят к ряду изменений как физических свойств, так и химического состава и даже могут влиять на пищевую, биологическую и потребительскую ценность этого продукта [69].

Было показано, что термическая обработка зеленого гороха в микроволновой печи паром и водой приводила к снижению содержания общих фенольных соединений, по сравнению со свежим горохом, до уровней 76%, 88% и 83% соответственно [10]. При этом способ приготовления не влиял на уровень антиоксидантной активности в данном продукте, по сравнению со свежим горохом. В ходе опытов на грызунах было обнаружено, что способ обработки гороха влиял на качество белка в отношении показателей его усвояемости [11]. Согласно результатам этой работы, вареная мука из зеленого горошка имела более низкие значения усвояемости белка и незаменимых аминокислот (69%, 19% и 67%), чем экструдированная (73, 61%, 70%) или запеченная (75%, 22%, 70%). Также известно, что зеленые овощи теряют свою окраску, а значит, и качество после термической обработки в связи со снижением содержания хлорофилла и каротиноидов [12,13].

Необходимо отметить, что наряду с физико-химическими, иммунохимическими и молекулярными аналитическими методами контроля качества и безопасности растительной пищевой продукции возможности световой микроскопии постоянно расширяются. Так как микроскопия в некоторых случаях представляет собой более дешевую и порой незаменимую альтернативу указанным методам в случае определения растительных компонентов по их видовой принадлежности, этот метод часто используют для идентификации подлинности крахмалов, растительных загустителей, меда, чая, кофе, шоколадных, мучных изделий и других продуктов [14,15]. Хотя и существуют определенные ограничения этого метода в отношении продуктов глубокой переработки.

В последнее время с помощью микроскопии также проводятся исследования по выявлению показателей, ответственных за структурные изменения в тканях овощей и фруктов после воздействия на продукт различных технологических приемов [16]. Актуальность данного направления связана с необходимостью предложить потребителю переработанный продукт высокого качества с сохранением исходных структур тканей, текстуры, цвета, пищевой и биологической ценности овощей. Было показано, что замораживание и термическая обработка овощей вызывали деструктивные изменения оргanelл в цитоплазме, а также набухание клеточных стенок

и нарушения в организации протоплазматической структуры [17]. Эти процессы приводили к размягчению растительных тканей за счет увеличения легкости разделения клеток в них и разрушения клеточных стенок. Кроме этого, известно, что овощи перед замораживанием и консервированием зачастую бланшируют. Эта обработка направлена на предотвращение ферментативного потемнения. Для зеленых овощей необходимо инактивировать два фермента, а именно липидоксидазу и пероксидазу. Первая ответственна за появление посторонних запахов, связанных с окислением липидов, а вторая — за ферментативное потемнение [18]. Так, в работе по тестированию нового способа бланширования с помощью нагрева волнами СВЧ измеряли активность липоксигеназы и пероксидазы, оценивали физико-химические свойства и проводили микроскопический анализ морфологии клеток зеленого горошка [19]. Было продемонстрировано, что микроструктурные нарушения связаны с разрушением стенок клеток гороха и желатинизацией гранул крахмала. Кроме этого, данная термообработка негативно отражалась на активности указанных ферментов, массе, цвете, текстуре, содержании аскорбиновой кислоты, хлорофилла и минералов.

Однако важно отметить, что нежелательные для потребителя текстурные изменения в растительных тканях, связанные с указанными видами переработки, бывают необходимы для повышения перевариваемости макронутриентов и биодоступности микронутриентов этих продуктов. Клеточные стенки являются ключевыми структурными компонентами растений и занимают центральное место в определении качественных характеристик многих продуктов из овощей и фруктов, особенно в отношении текстуры продуктов и ценности клетчатки [20]. В состав клеточной стенки входят три основных вида полисахаридов: пектиновые вещества, гемицеллюлоза и целлюлоза. Эти соединения связаны также с белками и фенолами. Помимо разделения клеток термическая обработка тканей растений часто сопровождается набуханием клеточных стенок. Эти явления связаны с термической деструкцией указанных полимеров и нарушением ионного обмена. При оценке перевариваемости белков *in vitro* бобовых культур по индексу пепсин/панкреатин было обнаружено, что термически обработанные семена, в которых сохранились неповрежденные клеточные стенки, показали более низкие индексы перевариваемости [21]. Также известно, что кристаллы каротина плохо усваиваются из тканей моркови, если их клеточные стенки не разрушены [20]. Поэтому необходим комплексный подход при исследовании микроструктурных изменений в процессе переработки овощей и фруктов с учетом разнообразия потребительских показателей их качества. Следует отметить, что нам не удалось найти литературных данных с оценкой микроскопических изменений в готовых продуктах из зеленого горошка в зависимости от вида их переработки.

Цель исследований — сравнительное изучение микроструктурных показателей клеток в замороженном и консервированном зеленом горошке из свежего и восстановленного сырья.

2. Материалы и методы

Были проведены исследования образцов шести различных наименований переработанных продуктов из зеленого горошка и один образец свежего стручкового гороха. Все образцы были приобретены в торговой сети. Замороженный горох, консервированный горох, изготовленный из свежего сырья и восстановленного сырья, были представлены как образцы А и Б, В и Г, Д и Е соответственно.

Для получения микрофотографий был использован световой микроскоп Axioskop 40, Zeiss и цифровая цветная камера AxioCam 105 color, Zeiss.

2.1. Подготовка препаратов для микроскопии

2.1.1. Монослой клеток гиподермы

На вогнутой поверхности гороха острым лезвием безопасной бритвы делали квадратный надрез в оболочке не более 7 мм. Выделенный фрагмент тщательно отмывали в воде для удаления клеток паренхимы и немедленно переносили в каплю воды на предметное стекло наружной оболочкой плода к воде, затем накрывали покровным стеклом и микроскопировали.

2.1.2. Клетки паренхимы

Были приготовлены давленные препараты паренхимных клеток консервированного гороха. Клетки извлекали с помощью препаровальной иглы, помещали в каплю воды на предметное стекло и накрывали покровным стеклом. Из-за более высокой жесткости тканей замороженного и свежего гороха препараты из них изготавливались методом срезов. Семя гороха разрезали и с помощью острой бритвы делали тонкий срез со стороны внутренней части семядоли. Затем материал переносился на предметное стекло в каплю воды и накрывался покровным стеклом.

2.1.3. Окрашивание клеток паренхимы

Для проведения йодной реакции на крахмал использовали 1% раствор Люголя («ЮжФарм», Россия). Клетки помещали в каплю реактива Люголя на предметном стекле, накрывали покровным стеклом и наблюдали появление сине-фиолетовой окраски. В случае образования большого количества крахмала реактив разбавляли водой.

2.1.4. Клетки зародыша

В зависимости от вида переработки гороха препараты клеток зародыша изготавливались двумя способами. Зародыш образцов консервированного гороха отделяли от семядолей препаровальной иглой и помещали на предметное стекло. Затем клетки накрывали покровным стеклом и затем слегка на них надавливали. Препараты зародыша свежего и замороженного гороха изготавливались методом срезов в связи с твердостью и плотностью структуры ткани семени.

3. Результаты и обсуждение

Было проведено исследование, а также сравнительная оценка микроскопических показателей клеток гиподермы, паренхимы и зародыша в образцах свежего и переработанного гороха. Первый тип клеток был выделен из тканей оболочки семени и представлял собой монослой из плотно прилегающих катушковидных клеток небольшого размера. Эти клетки в свежем горохе содержат большое количество важного фитохимического соединения — хлорофилла, от которого зависит значительная биологическая ценность данного продукта. Как видно из рисунков, в клетках гиподермы замороженного гороха наблюдались окрашенные в ярко-зеленый цвет пластиды с хлорофиллом, занимающие до 50% их визуального объема (Рисунок 1). Яркость и оттенок зеленого цвета в образцах А и Б не отличались.

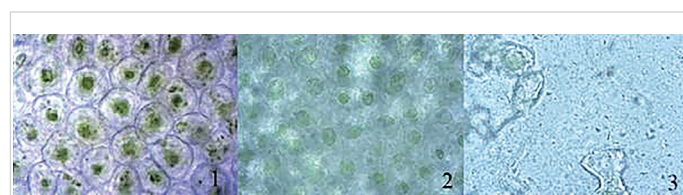


Рисунок 1. Клетки гиподермы замороженного гороха. 1 — монослой в образце А, 2 — монослой в образце Б, 3 — катушковидная клетка гиподермы. Увеличение $\times 40$

Аналогичным образом были представлены клетки гиподермы в образцах свежего гороха (Рисунок 2).

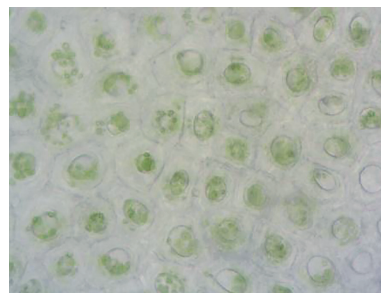


Рисунок 2. Клетки гиподермы свежего гороха. Увеличение $\times 40$

Однако при помощи микроскопии гиподермы консервированного гороха из свежего сырья было выявлено отсутствие характерного для хлорофилла яркого (флуоресцентного) зеленого окрашивания в центре этих клеток. Вместо него наблюдалась окраска коричневых оттенков (Рисунок 3).

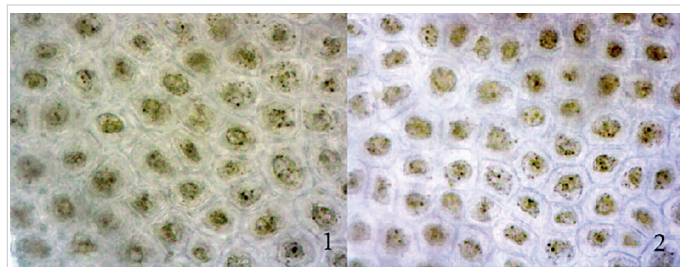


Рисунок 3. Клетки гиподермы консервированного гороха из свежего сырья. 1 — монослой в образце В, 2 — монослой в образце Г. Увеличение $\times 40$

И, наконец, в образцах консервированного гороха из восстановленного сырья были представлены практически бесцветные клетки гиподермы (Рисунок 4).

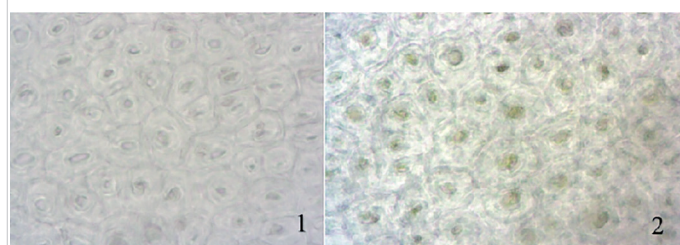


Рисунок 4. Клетки гиподермы консервированного гороха из восстановленного сырья. 1 — монослой в образце Д, 2 — монослой в образце Е. Увеличение $\times 40$

Таким образом, замораживание данного продукта в наименьшей степени повлияло на содержание хлорофилла в клетках гиподермы, тогда как консервирование, особенно в случае использования восстановленного гороха, было связано с потерей этого пигмента.

Согласно литературным данным, потери хлорофилла при замораживании бобовых наблюдались главным образом в процессе их дальнейшего хранения. Было обнаружено, что предварительное бланширование может благоприятно влиять на содержание хлорофилла в зеленой фасоли при хранении в замороженном виде [22]. Оказалось, что процедура бланширования зеленых бобов при 70°C в течение двух минут уменьшала период полураспада хлорофиллов а и б на 2 и 3 месяца, тогда как обработка при 90°C в течение трех минут, наоборот, увеличивала его сохранность на 1 и 3 месяца (до 8,26 и 16,70 месяцев) соответственно. Однако в отношении других растительных пигментов, таких как каротиноиды, было показано, что процесс замораживания образцов моркови повлиял на цвет больше, чем последующая их термическая кулинарная обработка [17].

Связанная с воздействием высоких температур переработка продуктов, содержащих зеленый пигмент, приводит к изменению его цвета из-за превращения хлорофиллов а и b (ярко-зеленый цвет) в феофитины и пирофеофитины (желто-коричневый оливковый цвет) [23]. Консервирование свежего и восстановленного гороха предусматривает этапы термической обработки при его бланшировании, стерилизации и высушивании. Как видно из полученных результатов, бланширование, применяемое перед заморозкой свежего гороха, не оказывало существенного влияния на содержание хлорофилла в клетках гиподермы (Рисунок 1), тогда как последующая стерилизация приводила к частичному образованию из него феофитинов и пирофеофитинов (Рисунок 3). Наиболее критические потери хлорофилла наблюдались в консервированном продукте из восстановленного сырья, в котором клетки гороха подвергались максимальному числу термических обработок (Рисунок 4). Цвет играет важную роль при органолептической оценке зеленых овощей, подвергнутых термической обработке. Таким образом, качество этих продуктов зависит от степени сохранности хлорофилла. Согласно опубликованным данным, такие факторы, как pH, температура, наличие солей (магния, кальция, натрия, аммония), ферментов и некоторых поверхностно-активных веществ, влияют на стабильность этого пигмента [24–25]. Дегградация хлорофилла уменьшается при более высоких pH, а указанные соли оказывают некоторый стабилизирующий эффект на процесс. Было продемонстрировано, что такие виды термических обработок брокколи, как кипячение, обжаривание, использование СВЧ, способствовали большой степени разрушения хлорофилла [26]. Тогда как приготовление этого продукта на пару не вызывало каких-либо значительных потерь хлорофилла. Важно отметить, что используемые в этих исследованиях спектрофотометрические методы определения цвета пигмента в обработанных продуктах имеют некоторые ограничения, связанные с дегградацией хлорофилла до феофитинов. Полагаем, что оценка изменения цвета пигмента в клетках гиподермы может представлять собой дополнительный быстрый и простой инструментальный метод для визуального измерения уровня стабильности хлорофилла в процессе переработки зеленого гороха.

Таким образом, световая микроскопия позволяет легко и быстро исследовать образцы овощей и фруктов на наличие пигментов (хлорофилла, каротиноидов) в их клетках. Используя приготовленные вручную срезы или раздавленные растительные препараты, можно идентифицировать локализацию хромо- и хлоропластов в клетке, их форму и количество [27]. Эти простые техники приготовления цитологических препаратов могут иметь определенные преимущества при сравнении с микротомными срезами. Они не требуют использования токсичных растворителей и более деликатны в отношении повреждений клеточных структур [28].

Представленная в данной работе процедура микроскопической визуализации пластид хлорофилла в клетках гиподермы может быть использована и в качестве метода для выявления квалитетической фальсификации. Данный вид фальсификации осуществляется путем подделки товара с помощью применения пищевых и непищевых добавок — это делается для улучшения органолептических свойств, при сохранении или утрате других потребительских свойств. Также для осуществления квалитетической фальсификации товар высшей категории может быть заменен на продукт низкого качества. В консервированном продукте возможна замена свежего или замороженного сырья более дешевым восстановленным сухим горохом с последующим подкрашиванием или без. Необходимо отметить, что до настоящего времени такую фальсификацию можно было идентифицировать только

с помощью органолептического анализа, тогда как микроскопия, несомненно, обладает существенными преимуществами как более экономичный, простой и однозначный метод. Эти преимущества становятся наиболее очевидными, например, в случае мясо-растительных консервов с добавлением зеленого гороха, так как в таких сложносоставных продуктах гороховый вкус может быть невыраженным, а заливочная жидкость отсутствовать, что делает невозможным определение качества растительной составляющей продукта органолептическими методами испытаний.

Второй исследуемый тип клеток принадлежал к основной запасающей ткани семени гороха — паренхиме. Эти клетки были наиболее доступными для изолирования без повреждений, их размеры варьировали в широком диапазоне, достигая более 100 мкм, а также они содержали в большом количестве ценный пищевой компонент — крахмал. Как видно из Рисунка 5, клетки паренхимы замороженного гороха были нагружены по всему объему концентрическими зернами крахмала, также присутствовали едва заметные немногочисленные пластиды зеленого цвета с хлорофиллом. Аналогичные по своей микроструктуре зерна крахмала были зафиксированы в препаратах паренхимы свежего гороха (Рисунок 5).

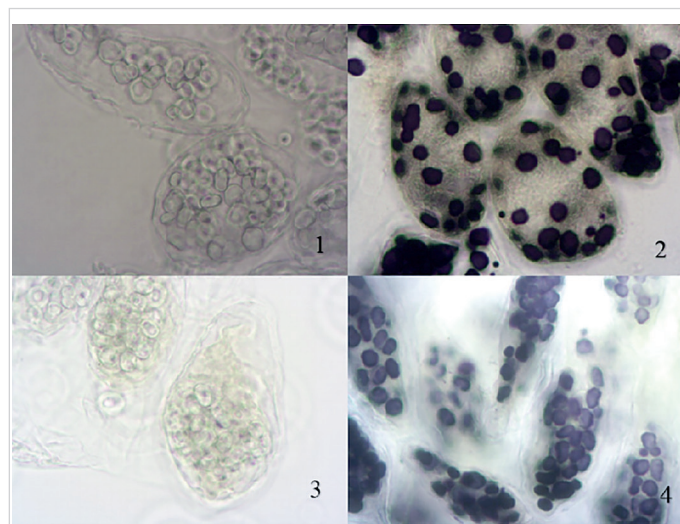


Рисунок 5. Клетки паренхимы. 1 — замороженный горох до окрашивания в образце Б, 2 — замороженный горох после окрашивания в образце Б, 3 — свежий горох до окрашивания, 4 — свежий горох после окрашивания. Увеличение $\times 40$

При анализе окрашенных йодом препаратов клеток паренхимы консервированных продуктов было показано, что зерна крахмала из свежего сырья сохраняли свою концентрическую форму, тогда как в восстановленном горохе имели место деструктивные изменения их формы, вероятно, связанные с желатинизацией этого углевода и его частичным переходом в заливочную жидкость (Рисунок 6).

В недавнем обзоре было отмечено, что метод световой микроскопии может быть полезным для изучения функциональных характеристик крахмала, несмотря на огромный прогресс в развитии микроскопических методов, таких как электронная, конфокальная лазерная сканирующая и атомная силовая микроскопия [29]. Это связано с тем, что световая микроскопия позволяет проводить исследования микроструктурных изменений зерен этого соединения в продуктах питания в процессе их термической переработки — изменений, связанных с набуханием зерен и утечкой амилозы. Действительно, образцы консервированного гороха Д и Е из восстановленного сырья имели самую мутную заливочную жидкость, указывая на присутствие в ней крахмала. На основании литературных данных полагаем, что это явление

связано с влиянием неоднократных термических обработок сырья при производстве данного продукта [19]. Тогда как в остальных образцах переработанного гороха (замороженный и консервированный из свежего сырья) заливочная жидкость была близка к прозрачной, что указывало на отсутствие значительных потерь крахмала из семени гороха. С другой стороны, было обнаружено, что содержание перевариваемого крахмала значительно выше в обработанных продуктах из гороха за счет его клейстеризации и разрушения клеточных стенок паренхимы [7]. Так максимальная перевариваемость крахмала в пяти пищевых бобовых культурах наблюдалась на уровне 116,7–137,7% при варке в течение 10 мин. при 121 °С, а в кипящей воде — 84,0–90,4%. При этом в этих же сырых бобовых этот показатель был значительно ниже и варьировал в пределах от 36,8 до 42,0% [30].

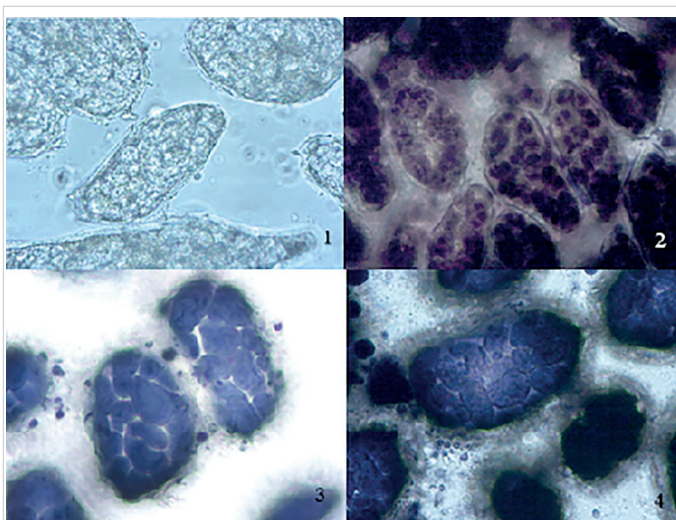


Рисунок 6. Клетки паренхимы консервированного гороха. 1 — свежее сырье до окрашивания в образце В, 2 — свежее сырье после окрашивания в образце В, 3 — восстановленное сырье после окрашивания в образце Д, 4 — восстановленное сырье после окрашивания в образце Е. Увеличение $\times 40$

В работе был исследован еще один, третий, тип клеток, выделенный из зародыша. При переработке гороха производятся и побочные продукты, например, состоящие из его зародышей. Установлено, что зародышевые продукты отличаются высоким содержанием белка, липидов, жирорастворимых витаминов, каротиноидов, витаминов В1, минеральных элементов, в их составе также обнаружены сахар и клетчатка [31]. Предполагалось, что на микроструктуре этих клеток в отношении целостности клеточных стенок могли бы отразиться различные виды технологических обработок. Однако все исследованные микроскопические препараты переработанных продуктов не отличались от свежего гороха (Рисунок 7). В этом направлении необходимы дальнейшие исследования, связанные с проведением гистохимических реакций на основные соединения в этих клетках.

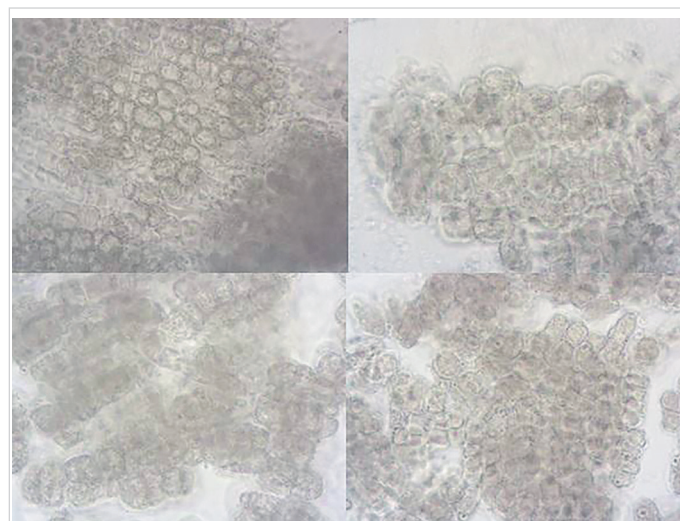


Рисунок 7. Клетки зародыша. 1 — свежий горох, 2 — замороженный горох образце В, 3 — консервированный горох из свежего сырья в образце В, 4 — консервированный горох из восстановленного сырья в образце Д. Увеличение $\times 40$

Полагаем, что выявленные микроструктурные показатели (хлорофилл и крахмал), связанные с пищевой и биологической ценностью данных продуктов, могут быть использованы при разработке технологических приемов их изготовления с целью повышения качественных характеристик продукта. Результаты этих исследований также могут быть полезны в качестве быстрого и простого способа выявления фальсификации путем замены свежего сырья восстановленным сухим горохом в консервированных продуктах.

4. Выводы

Насколько нам известно, это первое исследование, в котором был проведен сравнительный микроструктурный анализ в замороженном и консервированном зеленом горошке из свежего и восстановленного сырья. С помощью световой микроскопии была разработана процедура визуализации основных компонентов клеток гиподермы и паренхимы, а именно хлорофилла и крахмала соответственно. В образцах продуктов консервированного горошка из восстановленного сырья наблюдались максимальные деструктивные изменения указанных компонентов. Такой вид переработки был связан с потерей указанного пигмента и разрушением зерен крахмала за счет их желатинизации. В клетках гиподермы консервированных продуктов из свежего зеленого горошка также была зафиксирована частичная утрата пигмента. С другой стороны, в продуктах из замороженного зеленого горошка указанные микроструктурные показатели существенно не отличались от таковых в свежем горохе, что, несомненно, повышает их биологическую и пищевую ценность, по сравнению с остальными исследуемыми продуктами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Dahl, W.J., Foster, L.M., Tyler, R.T. (2012). Review of the health benefits of peas (*pisum sativum* L.). *British Journal of Nutrition*, 108(SUPPL. 1), S3–S10. <https://doi.org/10.1017/S0007114512000852>
- Taylor, S.L., Marsh, J.T., Koppelman, S.J., Kabourek, J.L., Johnson, P.E., Baumert, J.L. (2021). A perspective on pea allergy and pea allergens. *Trends in Food Science and Technology*, 116, 186–198. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.017>
- Angeles, J.G.C., Villanueva, J.C., Uy, L.Y.C., Mercado, S.M.Q., Tsuchiya, M.C.L., Lado, J.P. et al. (2021). Legumes as functional food for cardiovascular disease. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(12), Article 5475. <https://doi.org/10.3390/app11125475>
- Senapati, A.K., Varshney, A.K., Sharma, V.K. (2019). Dehydration of green peas: a review. *International Journal of Chemical Studies*, 7(2), 1088–1091.
- Vaňková, K., Marková, I., Jašprová, J., Dvořák, A., Subhanová, I., Zelenka, J. et al. (2018). Chlorophyll-mediated changes in the redox status of pancreatic cancer cells are associated with its anticancer effects. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018, Article 4069167. <https://doi.org/10.1155/2018/4069167>
- Parada, J., Aguilera, J.M. (2007). Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *Journal of Food Science*, 72(2), R21–R32. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00274.x>

7. Ma, Z., Boye, J.I., Hu, X. (2017). In vitro digestibility, protein composition and techno-functional properties of saskatchewan grown yellow field peas (*pisum sativum* L.) as affected by processing. *Food Research International*, 92, 64–78. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.012>
8. Самойлов А. В., Сураева Н. М. (2021). Современные тенденции в оценке безопасности продуктов питания. *Все о мясе*, 2, 32–36. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-2-32-36>
9. Moens, L.G., Huang, W., Van Loey, A.M., Hendrickx, M.E.G. (2021). Effect of pulsed electric field and mild thermal processing on texture-related pectin properties to better understand carrot (*daucus carota*) texture changes during subsequent cooking. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 70, Article 102700. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102700>
10. Turkmen, N., Sari, F., Velioglu, Y.S. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, 93(4), 713–718. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.038>
11. Nosworthy, M.G., Franczyk, A.J., Medina, G., Neufeld, J., Appah, P., Utioh, A. et al. (2017). Effect of processing on the in vitro and in vivo protein quality of yellow and green split peas (*pisum sativum*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(35), 7790–7796. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b03597>
12. Adebooye, O.C., Vijayalakshmi, R., Singh, V. (2008). Peroxidase activity, chlorophylls and antioxidant profile of two leaf vegetables (*solanum nigrum* L. and *amaranthus cruentus* L.) under six pretreatment methods before cooking. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(1), 173–178. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01420.x>
13. Attri, S., Dhiman, A., Sharma, R., Sharma, R. (2016). Effect of predrying treatments on the retention of quality characteristics of green peas (*Pisum sativum* L.) cv. Lincoln during mechanical drying. *Journal of Applied and Natural Science*, 8(2), 1049–1052. <http://doi.org/10.31018/jans.v8i2.919>
14. Zhu, H., Zhao, M. (2014). Study on the microscopic identification of the adulterated plant origin powdered seasonings. *Discourse Journal of Agriculture and Food Sciences*, 2(9), 264–269.
15. Ichim, M.C., Häser, A., Nick, P. (2020). Microscopic authentication of commercial herbal products in the globalized market: Potential and limitations. *Frontiers in Pharmacology*, 11, Article 876. <http://doi.org/10.3389/fphar.2020.00876>
16. Neri, L., Hernando, I., Pérez-Munuera, I., Sacchetti, G., Mastrocola, D., Pittia, P. (2014). Mechanical properties and microstructure of frozen carrots during storage as affected by blanching in water and sugar solutions. *Food Chemistry*, 144, 65–73. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.123>
17. Paciulli, M., Ganino, T., Carini, E., Pellegrini, N., Pugliese, A., Chiavaro, E. (2016). Effect of different cooking methods on structure and quality of industrially frozen carrots. *Journal of Food Science and Technology*, 53(5), 2443–2451. <http://doi.org/10.1007/s13197-016-2229-5>
18. van der Sman, R.G.M. (2020). Impact of processing factors on quality of frozen vegetables and fruits. *Food Engineering Reviews*, 12(4), 399–420. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09216-1>
19. Zhang, C., Hu, C., Sun, Y., Zhang, X., Wang, Y., Fu, H. et al. (2021). Blanching effects of radio frequency heating on enzyme inactivation, physiochemical properties of green peas (*pisum sativum* L.) and the underlying mechanism in relation to cellular microstructure. *Food Chemistry*, 345, Article 128756. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128756>
20. Waldron, K., Parker, M.L., Smith, A.C. (2003). Plant cell walls and food quality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(4), 128–146. <http://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00019.x>
21. Melito, C., Tovar, J. (1995). Cell walls limit in vitro protein digestibility in processed legume seeds. *Food Chemistry*, 53(3), 305–307. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)93937-M](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)93937-M)
22. Bahçeci, K.S., Serpen, A., Gökmen, V., Acar, J. (2005). Study of lipoxygenase and peroxidase as indicator enzymes in green beans: Change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage. *Journal of Food Engineering*, 66(2), 187192. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.004>
23. Pumilia, G., Cichon, M.J., Cooperstone, J.L., Giuffrida, D., Dugo, G., Schwartz, S.J. (2014). Changes in chlorophylls, chlorophyll degradation products and lutein in pistachio kernels (*pistacia vera* L.) during roasting. *Food Research International*, 65(PB), 193–198. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.047>
24. Ezekie, O.O., Mustapha, R.K., Olurin, T.O. (2010). Effect of salt on colour degradation kinetics of visual green colour in fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis*) leaves. *Fresh produce*, 5, 39–42.
25. Nisha, P., Singhal, R., Pandit, A. (2004). A study on the degradation kinetics of visual green colour in spinach (*Spinacea oleracea* L.) and the effect of salt therein. *Journal of Food Engineering*, 64(1), 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.09.021>
26. Yuan, G.-F., Sun, B., Yuan, J., Wang, Q. -M. (2009). Effects of different cooking methods on health-promoting compounds of broccoli. *Journal of Zhejiang University: Science B*, 10(8), 580–588. <https://doi.org/10.1631/jzus.B0920051>
27. Oleszkiewicz, T., Pacia, M. Z., Grzebelus, E., Baranski, R. (2020). Light microscopy and raman imaging of carotenoids in plant cells in situ and in released carotene crystals. *Methods in Molecular Biology (Clifton, N.J.)*, 2083, 245–260. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9952-1_19
28. Miranda, J.A.T., Carvalho, L., Vieira, A., Costa, R., Guimarães, A. (2015). Anatomical characterization and evaluation of starch granules in grain of black common bean and cowpea raw and cooked. *Chemical Engineering Transactions*, 44, 85–90. <https://doi.org/10.3303/CET1544015>
29. Błaszczak, W., Lewandowicz, G. (2020). Light microscopy as a tool to evaluate the functionality of starch in food. *Foods*, 9(5), Article foods9050670. <https://doi.org/10.3390/foods9050670>
30. Zia-ur-Rehman, Salariya, A. M. (2005). The effects of hydrothermal processing on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes. *International Journal of Food Science and Technology*, 40(7), 695–700. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00978.x>
31. Shelepina, N. V., Parshutina, I. G., Polynkova, N. E. (2015). Study of chemical composition and biological value of germinal products from peas grain. *Ecology, Environment and Conservation*, 21, AS99-AS102.

REFERENCES

1. Dahl, W.J., Foster, L.M., Tyler, R.T. (2012). Review of the health benefits of peas (*pisum sativum* L.). *British Journal of Nutrition*, 108(SUPPL. 1), S3–S10. <https://doi.org/10.1017/S0007114512000852>
2. Taylor, S.L., Marsh, J.T., Koppelman, S.J., Kabourek, J.L., Johnson, P.E., Baumert, J.L. (2021). A perspective on pea allergy and pea allergens. *Trends in Food Science and Technology*, 116, 186–198. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.017>
3. Angeles, J.G.C., Villanueva, J.C., Uy, L.Y.C., Mercado, S.M.Q., Tsuchiya, M.C.L., Lado, J.P. et al. (2021). Legumes as functional food for cardiovascular disease. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(12), Article 5475. <https://doi.org/10.3390/app11125475>
4. Senapati, A.K., Varshney, A.K., Sharma, V.K. (2019). Dehydration of green peas: a review. *International Journal of Chemical Studies*, 7(2), 1088–1091.
5. Vaňková, K., Marková, I., Jašprová, J., Dvořák, A., Subhanová, I., Zelenka, J. et al. (2018). Chlorophyll-mediated changes in the redox status of pancreatic cancer cells are associated with its anticancer effects. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018, Article 4069167. <https://doi.org/10.1155/2018/4069167>
6. Parada, J., Aguilera, J.M. (2007). Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *Journal of Food Science*, 72(2), R21–R32. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00274.x>
7. Ma, Z., Boye, J.I., Hu, X. (2017). In vitro digestibility, protein composition and techno-functional properties of saskatchewan grown yellow field peas (*pisum sativum* L.) as affected by processing. *Food Research International*, 92, 64–78. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.012>
8. Samoilov, A.V., Surayeva, N.M. (2021). Modern trends in the assessment of food safety. *Vsyo o myase*, 2, 32–36. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-2-32-36> (In Russian)
9. Moens, L.G., Huang, W., Van Loey, A.M., Hendrickx, M.E.G. (2021). Effect of pulsed electric field and mild thermal processing on texture-related pectin properties to better understand carrot (*daucus carota*) texture changes during subsequent cooking. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 70, Article 102700. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102700>
10. Turkmen, N., Sari, F., Velioglu, Y.S. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, 93(4), 713–718. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.038>
11. Nosworthy, M.G., Franczyk, A.J., Medina, G., Neufeld, J., Appah, P., Utioh, A. et al. (2017). Effect of processing on the in vitro and in vivo protein quality of yellow and green split peas (*pisum sativum*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(35), 7790–7796. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b03597>
12. Adebooye, O.C., Vijayalakshmi, R., Singh, V. (2008). Peroxidase activity, chlorophylls and antioxidant profile of two leaf vegetables (*solanum nigrum* L. and *amaranthus cruentus* L.) under six pretreatment methods before cooking. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(1), 173–178. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01420.x>
13. Attri, S., Dhiman, A., Sharma, R., Sharma, R. (2016). Effect of predrying treatments on the retention of quality characteristics of green peas (*Pisum sativum* L.) cv. Lincoln during mechanical drying. *Journal of Applied and Natural Science*, 8(2), 1049–1052. <http://doi.org/10.31018/jans.v8i2.919>
14. Zhu, H., Zhao, M. (2014). Study on the microscopic identification of the adulterated plant origin powdered seasonings. *Discourse Journal of Agriculture and Food Sciences*, 2(9), 264–269.
15. Ichim, M.C., Häser, A., Nick, P. (2020). Microscopic authentication of commercial herbal products in the globalized market: Potential and limitations. *Frontiers in Pharmacology*, 11, Article 876. <http://doi.org/10.3389/fphar.2020.00876>
16. Neri, L., Hernando, I., Pérez-Munuera, I., Sacchetti, G., Mastrocola, D., Pittia, P. (2014). Mechanical properties and microstructure of frozen carrots during storage as affected by blanching in water and sugar solutions. *Food Chemistry*, 144, 65–73. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.123>

17. Paciulli, M., Ganino, T., Carini, E., Pellegrini, N., Pugliese, A., Chiavaro, E. (2016). Effect of different cooking methods on structure and quality of industrially frozen carrots. *Journal of Food Science and Technology*, 53(5), 2443–2451. <http://doi.org/10.1007/s13197-016-2229-5>
18. van der Sman, R.G.M. (2020). Impact of processing factors on quality of frozen vegetables and fruits. *Food Engineering Reviews*, 12(4), 399–420. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09216-1>
19. Zhang, C., Hu, C., Sun, Y., Zhang, X., Wang, Y., Fu, H. et al. (2021). Blanching effects of radio frequency heating on enzyme inactivation, physiochemical properties of green peas (*pisum sativum* L.) and the underlying mechanism in relation to cellular microstructure. *Food Chemistry*, 345, Article 128756. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128756>
20. Waldron, K., Parker, M.L., Smith, A.C. (2003). Plant cell walls and food quality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(4), 128–146. <http://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00019.x>
21. Melito, C., Tovar, J. (1995). Cell walls limit in vitro protein digestibility in processed legume seeds. *Food Chemistry*, 53(3), 305–307. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)93937-M](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)93937-M)
22. Bahçeci, K.S., Serpen, A., Gökmen, V., Acar, J. (2005). Study of lipoxygenase and peroxidase as indicator enzymes in green beans: Change of enzyme activity, ascorbic acid and chlorophylls during frozen storage. *Journal of Food Engineering*, 66(2), 187192. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.004>
23. Pumilia, G., Cichon, M.J., Cooperstone, J.L., Giuffrida, D., Dugo, G., Schwartz, S.J. (2014). Changes in chlorophylls, chlorophyll degradation products and lutein in pistachio kernels (*pistacia vera* L.) during roasting. *Food Research International*, 65(PB), 193–198. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.047>
24. Ezekie, O.O., Mustapha, R.K., Olurin, T.O. (2010). Effect of salt on colour degradation kinetics of visual green colour in fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis*) leaves. *Fresh produce*, 5, 39–42.
25. Nisha, P., Singhal, R. Pandit, A. (2004). A study on the degradation kinetics of visual green colour in spinach (*Spinacea oleracea* L.) and the effect of salt therein. *Journal of Food Engineering*, 64(1), 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.09.021>
26. Yuan, G.-F., Sun, B., Yuan, J., Wang, Q. -M. (2009). Effects of different cooking methods on health-promoting compounds of broccoli. *Journal of Zhejiang University: Science B*, 10(8), 580–588. <https://doi.org/10.1631/jzus.B0920051>
27. Oleszkiewicz, T., Pacia, M. Z., Grzebelus, E., Baranski, R. (2020). Light microscopy and raman imaging of carotenoids in plant cells in situ and in released carotene crystals. *Methods in Molecular Biology (Clifton, N.J.)*, 2083, 245–260. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9952-1_19
28. Miranda, J.A.T., Carvalho, L., Vieira, A., Costa, R., Guimarães, A. (2015). Anatomical characterization and evaluation of starch granules in grain of black common bean and cowpea raw and cooked. *Chemical Engineering Transactions*, 44, 85–90. <https://doi.org/10.3303/CET1544015>
29. Błaszczak, W., Lewandowicz, G. (2020). Light microscopy as a tool to evaluate the functionality of starch in food. *Foods*, 9(5), Article foods9050670. <https://doi.org/10.3390/foods9050670>
30. Zia-ur-Rehman, Salariya, A. M. (2005). The effects of hydrothermal processing on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes. *International Journal of Food Science and Technology*, 40(7), 695–700. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00978.x>
31. Shelepina, N. V., Parshutina, I. G., Polynkova, N. E. (2015). Study of chemical composition and biological value of germinal products from peas grain. *Ecology, Environment and Conservation*, 21, AS99-AS102.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Самойлов Артем Владимирович — кандидат биологических наук, заместитель директора, руководитель Испытательного центра, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Московская обл. г. Видное, ул. Школьная, 78 Тел.: +7-495-541-87-00 E-mail: molgen@vniitek.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5655-174X * автор для контактов	Artem V. Samoilov — candidate of biological sciences, deputy director, head of the testing center, Russian Research Institute of Canning Technology Shkolnaia str. 78, 142703, Vidnoe, Moscow region, Russia Tel.: +7-495-541-87-00 E-mail: molgen@vniitek.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5655-174X * corresponding author
Сураева Наталья Михайловна — доктор биологических наук, главный научный сотрудник, лаборатория качества и безопасности пищевой продукции, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Московская обл. г. Видное, ул. Школьная, 78 Тел.: +7-495-541-87-00 E-mail: nsuraeva@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0144-8128	Natal'ya M. Suraeva — doctor of biological sciences, chief researcher, laboratory of quality and safety of food products, Russian Research Institute of Canning Technology Shkolnaia str. 78, 142703, Vidnoe, Moscow region, Russia Tel.: +7-495-541-87-00 E-mail: nsuraeva@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0144-8128
Зайцева Мария Вячеславовна — младший научный сотрудник, лаборатория качества и безопасности пищевой продукции, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования 142703, Московская обл. г. Видное, ул. Школьная, 78 Тел.: +7-495-541-87-00 E-mail: mascha.zajtseva2014@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6624-883X	Mariya V. Zajtseva — junior researcher, laboratory of quality and safety of food products, Russian Research Institute of Canning Technology Shkolnaia str. 78, 142703, Vidnoe, Moscow region, Russia Tel.: +7-495-541-87-00 E-mail: mascha.zajtseva2014@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6624-883X
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/10.21323/2618-9771-2021-4-3-220-225>

Поступила 15.08.2021

Поступила после рецензирования 12.09.2021

Принята в печать 25.09.2021



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

Научная статья

ЭФФЕКТИВНАЯ ВЯЗКОСТЬ РАСТВОРОВ ЛЕЦИТИНА И ЭМУЛЬСИЙ ЖИРА ЛИЧИНОК ЧЕРНОЙ ЛЬВИНКИ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЛЕЦИТИНА

Рубан А. А.*, Новикова (Захарова) М. В., Костин А. А.

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок, Санкт-Петербург, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

эффективная вязкость, лецитин, личинки Черной львинки, жир насекомых, эмульсии

АННОТАЦИЯ

Жиры и масла, независимо от области применения, обычно используются в виде эмульсий — дисперсных систем, состоящих из двух несмешивающихся жидкостей, стабилизированных эмульгатором. Одним из основных показателей для эмульсий является эффективная вязкость, которая характеризует поведение жидкости при течении. Также этот показатель важен для оптимизации производственных процессов, применения и хранения эмульсий. Показано, что жир личинок Черной львинки (*Hermetia illucens*) близок по своему качественному и количественному составу к кокосовому и пальмовому маслу, что делает его одним из перспективных альтернативных источников жиров для промышленности. Исходя из этого, целью работы являлось определение эффективной вязкости растворов лецитина и эмульсий жира личинок Черной львинки в зависимости от содержания лецитина 0,5–2,5 масс.%. Установлено, что показатели консистенции растворов лецитина повышались при увеличении его концентрации с 0,5 до 2 масс.%. Растворы лецитина концентрацией 1,0–2,0 масс.% демонстрировали слабое псевдопластичное поведение, а при содержании лецитина 2,5 масс.% — дилатантное. Эмульсии с жиром личинок Черной львинки показали в 2 раза более низкую консистенцию по сравнению с растворами лецитина той же концентрации, а также слабое псевдопластичное поведение, выраженность которого не зависела от концентрации лецитина.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена в рамках проведения исследований по государственному заданию № 2585–2019–0044 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 15.08.2021

Accepted in revised 12.09.2021

Accepted for publication 25.09.2021

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

Original scientific article

EFFECTIVE VISCOSITY OF LECITHIN SOLUTIONS AND FAT EMULSIONS OF BLACK SOLDIER FLY LARVAE WITH DIFFERENT LECITHIN CONTENT

Albina A. Ruban*, Mariia V. Novikova (Zakharova), Anton A. Kostin

All-Russian Research Institute for Food Additives, Russia

KEY WORDS:

effective viscosity, lecithin, Black Soldier Fly, BSFL, insect fat, emulsion

ABSTRACT

Fats and oils irrespective of their application field are usually used as emulsions — disperse systems consisting of two immiscible liquids stabilized by an emulsifier. One of the main indicators for emulsions is effective viscosity, which characterizes behavior of liquid in flow. This indicator is also important for optimization of production processes, application and storage of emulsions. It was found that fat of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae is close to coconut and palm oil by its qualitative and quantitative composition, which makes it one of the promising alternative sources of fats for the industry. Based on this fact, the aim of the study was to determine effective viscosity of lecithin solutions and fat emulsions of black soldier fly larvae depending on the lecithin content of 0.5–2.5 weight%. It was found that consistency of the lecithin solutions increased when its concentration increased from 0.5 to 2 weight%. The lecithin solutions with concentrations of 1.0–2.0 weight% demonstrated weak pseudoplastic behavior and those with the lecithin content of 2.5 weight% dilatant. Emulsions with fat of black soldier fly larvae showed twofold lower consistency compared to the lecithin solutions of the same concentration and weak pseudoplastic behavior, which manifestation did not depend on the lecithin concentration.

FUNDING: The article was published as part of the research topic foundation for scientific research No. 2585–2019–0044 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

В России ежегодно образуется около 20 млн тонн органического мусора, состоящего из санкционного продовольствия, просроченных продуктов питания и других органических отходов [1]. В результате отсутствия условий для его переработки большая часть органических отходов утили-

зируется на мусорных полигонах, где отходы разлагаются с образованием свалочного газа и увеличивают площадь загрязненных земельных ресурсов [2]. Свалочный газ состоит преимущественно из метана и углекислого газа [3], которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Решением этой проблемы может быть переработка органи-

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Рубан, А.А., Новикова (Захарова), М.В., Костин, А.А. (2021). Эффективная вязкость растворов лецитина и эмульсий жира личинок черной львинки с различным содержанием лецитина. *Пищевые системы*, 4(3), 220–225. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-220-225>

FOR CITATION: Ruban, A.A., Novikova (Zakharova), M.V., Kostin, A.A. (2021). Effective viscosity of lecithin solutions and fat emulsions of black soldier fly larvae with different lecithin content. *Food systems*, 4(3), 220–225. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-220-225>

ческих отходов съедобными насекомыми, используемыми в качестве альтернативного источника сырья для производства белков, жиров, пигментов и полисахаридов [4]. Биомасса насекомых была успешно применена для переработки навоза, сельскохозяйственных и пищевых отходов [5], причем использование насекомых позволило в два раза снизить количество выбросов парниковых газов в атмосферу, по сравнению с компостированием.

Одним из наиболее распространенных видов промышленно выращиваемых насекомых является Черная львинка (*Hermetia illucens*), что обусловлено легкостью ее разведения, быстрым ростом личинок и антибактериальной активностью против грамположительных, грамотрицательных бактерий и нитчатых грибов [5]. В России Черную львинку разводят для производства белка [6], а жир насекомых, который содержится в личинках в количестве 30–50 масс.%, является отходом производства. В связи с большим количеством отходов и низкой стоимостью производимого сырья снижается рентабельность разведения насекомых. Расширение областей применения жира личинок Черной львинки позволит повысить его востребованность, снизить издержки производства, а также приведет к развитию рынка съедобных насекомых в России.

Крупные промышленные компании предпочитают использовать нетоксичное биоразлагаемое сырье, полученное из возобновляемых источников, ввиду большей доступности и безопасности для окружающей среды. Например, растительные масла в форме эмульсий используются не только в пищевой промышленности, но и для получения смазок, чернил, красок, лаков и пестицидов [7]. Жир личинок Черной львинки по своему качественному и количественному составу близок к кокосовому и пальмовому маслу [8], что делает его альтернативным источником сырья в приготовлении эмульсий для использования во многих областях промышленности.

Тем не менее эмульсии являются термодинамически нестабильными системами, и для увеличения их стабильности применяются различные эмульгаторы. Например, поверхностно-активные вещества (ПАВ), гидроколлоиды растительного или животного происхождения [9]. Для выбора эмульгатора учитывают: значение гидрофильно-липофильного баланса (ГЛБ); природу эмульгатора и масла; область применения эмульсии. ГЛБ является мерой оценки растворимости эмульгатора в воде и масле, показывая соотношение гидрофильных функциональных групп по отношению к липофильным функциональным группам. ГЛБ находится в диапазоне от 0 до 20, при значениях от 7 до 10 эмульгаторы способны образовывать как прямые, так и обратные эмульсии [10]. Одним из таких «универсальных» эмульгаторов природного происхождения является лецитин, представляющий собой смесь фосфолипидов и триглицеридов. Лецитин, имеющий ГЛБ 8, широко используется в пищевой, химической и медицинской промышленности в качестве эмульгатора, диспергатора и смазывающего агента [11]. Фосфолипиды в составе лецитина снижают межфазное натяжение между фазами эмульсии, что приводит к образованию стабильных микроэмульсий в широком диапазоне pH и температур [12].

Реологические свойства эмульсий являются важной характеристикой. В частности, важным является определение эффективной вязкости, которая в большей степени влияет на текучесть и стабильность эмульсий, а также имеет большое значение для оптимизации производственного процесса [13]. Поведение эмульсий в зависимости от скорости сдвига может быть описано с помощью модели вязкого течения Освальда-де-Ваале путем аналитической обработки

экспериментальных данных, полученных с использованием ротационной вискозиметрии. Модель Освальда-де-Ваале позволяет определить показатель течения n , характеризующий степень отклонения от ньютоновского поведения, и показатель консистенции K , который является индикатором вязкости жидкостей и равен вязкости при скорости сдвига 1 с^{-1} . Если $n = 1$, раствор демонстрирует ньютоновское поведение, то есть его вязкость не зависит от скорости сдвига. Отклонение этого значения, когда $n < 1$, говорит о псевдопластичном характере течения с уменьшением вязкости при увеличении скорости сдвига. Для дилатантных жидкостей, когда $n > 1$, вязкость увеличивается при увеличении скорости сдвига. Большинство прямых эмульсий демонстрируют ньютоновское или псевдопластичное поведение в зависимости от концентрации масла и эмульгатора [14].

Анализ литературы показывает, что в большинстве исследований рассматриваются реологические свойства 10,0–30,0 масс.% эмульсий, стабилизированных лецитином, часто с использованием соэмульгатора [15,16]. При этом используемые концентрации лецитина широко варьируются в зависимости от вида и содержания масла. Увеличение содержания лецитина до 1,0 масс.% привело к снижению скорости обратной седиментации прямой и обратной эмульсий подсолнечного масла 30,0–70,0 масс.%, по сравнению с эмульсиями с 0,1 масс.% лецитина [17]. Эмульсии жира личинок Черной львинки могут быть более подвержены обратной седиментации из-за высокого содержания насыщенных жирных кислот [5,18]. Поэтому для стабилизации может быть оправдано использование большего количества лецитина, чем 0,1 масс.%. С другой стороны, увеличение концентрации соевого лецитина $> 2,5$ масс.% привело к снижению стабильности эмульсии подсолнечного масла 10,0–20,0 масс.%, с добавкой ксантановой камеди в качестве загустителя, что может быть связано с наличием неадсорбированного лецитина в системе [15]. Было показано, что увеличение концентрации лецитина с 1,0 до 15,0 масс.% привело к увеличению вязкости 10,0 масс.% эмульсии масла острец [19]. При этом размер капель эмульсии уменьшался с увеличением концентрации лецитина в диапазоне 1,0–10,0 масс.%. При дальнейшем же увеличении концентрации (выше 10,0 масс.%) размер капель стал незначительно увеличиваться. Более того, сами растворы лецитина могут обладать псевдопластичным характером течения в зависимости от концентрации [20], что может оказывать влияние на технологический процесс приготовления эмульсий и их эффективную вязкость. В настоящее время данных о влиянии концентрации лецитина на эмульсии жира личинок Черной львинки недостаточно. В связи с этим целью данной работы было определение влияния содержания эмульгатора лецитина в количествах 0,5–2,5 масс.% с шагом 0,5 масс.% на эффективную вязкость растворов лецитина и 2,0 масс.% эмульсий жира личинок Черной львинки.

2. Материалы и методы

Для приготовления растворов лецитина и эмульсий использовали соевый лецитин производства ООО «Витапром», жир личинок Черной львинки производства ООО «ЭКО-БЕЛОК», в качестве дисперсионной среды использовалась дистиллированная вода. Серная кислота (ХЧ), ООО «Щекиноазот» (Россия); метанол (ОСЧ), ООО ТД «ХИММЕД»; хлороформ (ОСЧ), АО «ЭКОС-1» (Россия).

Профиль жирных кислот определяли с использованием газового хроматографа Varia 450-GC (США), оснащенного масс-спектрометрическим детектором Varian 240-MS, при скорости потока газа носителя 1 мл/мин и температуре инжектора 250 °С. Пробоподготовку проводили следующим

образом: жир личинок Черной львинки в количестве 10 мг смешивали с 10 мкл 1% каприловой кислоты, добавляли 0,6 мл 15%-го раствора серной кислоты в метаноле и 0,6 мл хлороформа. Образец нагревали до 65 °С в течение 1 часа с последующим охлаждением до комнатной температуры и смешивали с 0,2 мл дистиллированной воды. Для анализа отбирали органический слой в количестве 1 мкл.

Для приготовления растворов лецитина и эмульсий лецитин в количествах 0,5–2,5 масс.% растворяли в дистиллированной воде при перемешивании и температуре 60 °С. Жир насекомых предварительно растапливали на водяной бане при температуре 40 °С и фильтровали с помощью фильтровальной бумаги Filtrak 88 для отделения твердых частиц. Полученный жир в количестве 2 масс.% добавляли в раствор лецитина и диспергировали с помощью гомогенизатора DG-360, Stegler (Китай) со скоростью 20 000 об/мин в течение 10 минут при температуре 60 °С.

Динамическую вязкость растворов и эмульсий определяли с помощью вискозиметра DV-II+ PRO, Brookfield (Великобритания), оснащенного системой термостатирования CW-106, Lab Companion (Южная Корея), с использованием коаксиального шпинделя UL Adapter. Измерения проводились при температуре 40 °С в диапазоне скоростей сдвига 12–245 с⁻¹.

3. Результаты и обсуждение

Профиль жирных кислот жира личинок Черной львинки представлен в Таблице 1. В Таблице 2 показано содержание насыщенных и ненасыщенных кислот в жире личинок Черной львинки.

Таблица 1

Профиль жирных кислот жира личинок Черной львинки	
Жирные кислоты	Содержание, %
Каприновая	2,18
Лауриновая	31,38
Миристиновая	1,10
Миристолеиновая	0,44
Пентадекановая	0,19
Пальмитиновая	13,40
Пальмитолеиновая	6,38
Гексадекановая	0,36
Гептодекановая	0,27
Стеариновая	5,53
Олеиновая	18,27
Линолевая	18,47
Линоленовая	2,04

Таблица 2

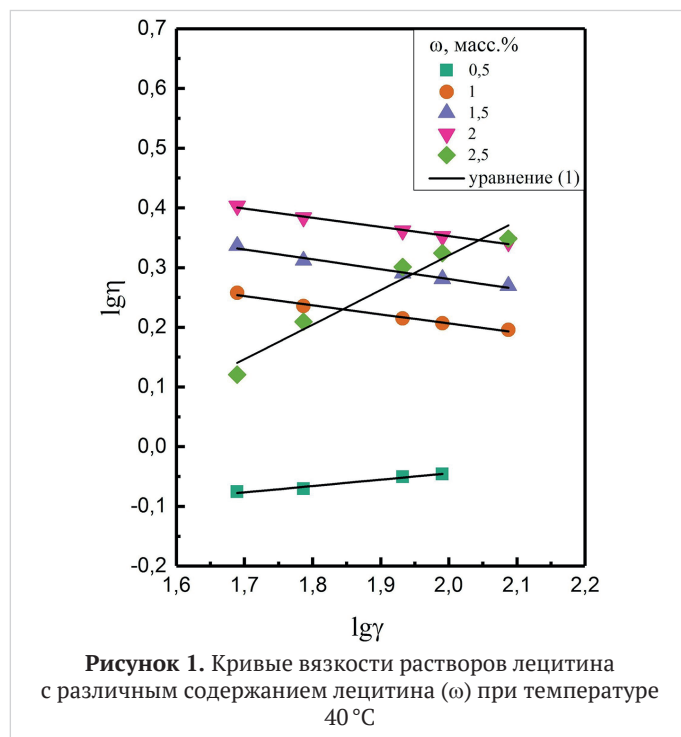
Содержание насыщенных и ненасыщенных кислот в жире личинок Черной львинки	
Классификация жирных кислот по степени насыщенности	Общее содержание, масс.%
Насыщенные	61,23
Ненасыщенные	38,77

Из Таблиц 1 и 2 видно, что жир личинок Черной львинки состоит преимущественно из насыщенных жирных кислот с высоким содержанием лауриновой (31,38%), пальмитиновой (13,4%) и пальмитолеиновой (6,38%) кислот. Было обнаружено, что лауриновая кислота обладает вируцидной, фунгицидной и антибактериальной активностями, а также способна подавлять развитие дрожжевых грибов, что обуславливает ее использование в качестве антисептической

добавки в косметологии и фармацевтической технологии [21]. Из ненасыщенных жирных кислот наибольшую долю имеют олеиновая (18,27%) и линолевая (18,47%), которые находят свое применение в пищевой, химической и других видах промышленности. Жирные кислоты могут оказывать различное влияние на эффективную вязкость, в зависимости от вида жирной кислоты, что может быть объяснено с точки зрения различия размеров, формы и распределения частиц эмульсии, а также взаимодействия между компонентами, которое может оказывать влияние на содержание свободного растворителя в системе [22]. Так, например, эмульсия стеариновой кислоты с казеинатом натрия в качестве эмульгатора показывает псевдопластичный характер течения, по сравнению с эмульсиями олеиновой и пальмитиновой кислот той же концентрации, демонстрирующих ньютоновское поведение. Более того, вязкость эмульсии олеиновой кислоты увеличивается, а пальмитиновой кислоты — снижается при одинаковых концентрациях кислот и эмульгатора, по сравнению с вязкостью раствора казеината натрия.

В работе были получены экспериментальные данные зависимости вязкости от скорости сдвига для растворов лецитина и эмульсий жира личинок Черной львинки с различным содержанием лецитина (ω). Экспериментальные данные были прологарифмированы и проанализированы с использованием степенного закона Освальда-де-Ваале.

На Рисунке 1 представлены зависимости динамической вязкости водных растворов с различным содержанием лецитина (ω) при температуре 40 °С.



Закон Освальда де-Ваале используется для определения поведения растворов при механическом сдвиге и позволяет определить степень отклонения от ньютоновского поведения:

$$\eta = K \times \gamma^{(n-1)}, \quad (1)$$

где η — вязкость, мПа·с;

γ — скорость сдвига, с⁻¹;

K — показатель консистенции;

n — показатель течения.

Для расчета показателей течения и консистенции прологарифмированные экспериментальные значения η и γ были

аппроксимированы согласно уравнению (1) в программном пакете OriginPro 2017 b9.4.2.380. Для оптимизации параметров был использован алгоритм Левенберга-Марквардта. Коэффициент детерминации R^2 линейной регрессии использовали для оценки качества подгонки. Значения показателей уравнения и коэффициента детерминации представлены в Таблице 3.

Таблица 3

Значение показателей течения и консистенции растворов лецитина с различным содержанием лецитина (ω)

ω , масс. %	K	n	R^2
0,5	-0,26	1,10	0,98
1,0	0,51	0,85	0,98
1,5	0,61	0,84	0,98
2,0	0,66	0,85	0,99
2,5	-0,84	1,58	0,96

Данные Рисунка 1 и Таблица 3 показывают, что с увеличением содержания лецитина в растворе происходит увеличение показателя консистенции и смена характера течения раствора с практически ньютоновского $n \approx 1,1$ ($\omega = 0,5$ масс.%) на псевдопластичный $n \approx 0,84-0,85$ ($\omega = 1-2$ масс.%). Значения коэффициентов детерминации $R^2 \approx 0,96-0,99$ (96–99%) говорят о высокой корреляции экспериментальных данных и рассчитанных показателей. В разбавленных растворах лецитина взаимодействие между частицами слабое, поэтому такие растворы имеют низкую вязкость и демонстрируют ньютоновский тип течения. В более концентрированных растворах частицы находятся ближе, что увеличивает их взаимодействие, приводя к увеличению вязкости и вязкопластическому поведению. Псевдопластичное поведение может быть связано с тем, что при увеличении концентрации лецитина увеличивается размер агрегатов его молекул, содержащих полярные фосфорилхолиновые группы, ориентированные наружу. Такие структуры легче разбить при сдвиге, поэтому вязкость растворов снижается с увеличением скорости перемешивания. Дальнейшее увеличение концентрации лецитина приводит к изменению типа течения раствора в сторону дилатантного ($n > 1$). Лецитин частично растворим в воде и находится в растворе в виде гидратированных молекул, разделенных слоем жидкости. При увеличении его концентрации увеличивается размер гидратированных агрегатов, которые разрушаются на агрегаты меньшего размера при увеличении скорости сдвига. В результате значительно возрастает площадь поверхности агрегатов, что приводит к увеличению межмолекулярного взаимодействия, а также к возникновению стесненных условий и явлению дилатансии. В работе [23] растворы яичного лецитина в воде в концентрации $\leq 1,8$ масс.% демонстрировали ньютоновский характер течения, а при увеличении концентрации $\geq 1,8$ — псевдопластичное и тиксотропное поведение. Концентрированные растворы соевого лецитина, обработанные ультразвуком, имели ньютоновский тип течения при содержании лецитина 6–12 масс.% [24]. При увеличении его концентрации до 18–24 масс.% тип течения изменялся на неньютоновский пластический. Водные дисперсии жидкого подсолнечного лецитина демонстрируют псевдопластичное поведение $n = 0,472-0,584$ в диапазоне концентраций 1–25 масс.% [20].

На Рисунке 2 представлены кривые вязкости, а в Таблице 4 — рассчитанные показатели течения и консистенции для эмульсий жира личинок Черной львинки с различным содержанием лецитина.

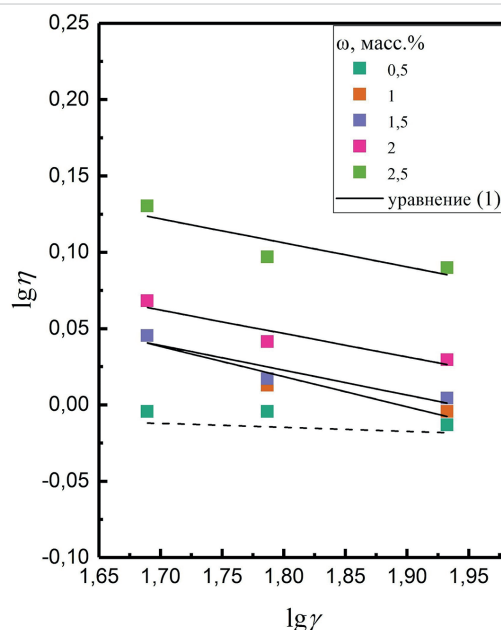


Рисунок 2. Кривые вязкости эмульсий жира личинки Черной львинки (б) с различным содержанием лецитина (ω) при температуре 40 °C

Таблица 3

Значение показателей течения и консистенции водной эмульсии жира Черной львинки в зависимости от содержания лецитина (ω)

ω , масс. %	K	n	R^2
0,5	0,03	0,97	0,08
1,0	0,37	0,80	0,92
1,5	0,32	0,84	0,89
2,0	0,32	0,85	0,89
2,5	0,39	0,84	0,79

Для эмульсий жира личинок Черной львинки показатель консистенции K практически в 2 раза ниже, чем для растворов чистого лецитина той же концентрации. Более того, характеры течения сохраняются, за исключением эмульсии с содержанием лецитина 1 и 2,5 масс.%, которая демонстрирует более выраженное псевдопластичное поведение при добавлении жира. Снижение консистенции эмульсий по сравнению с растворами чистого лецитина свидетельствует об образовании межмолекулярных связей гидрофобных групп лецитина с жирными кислотами в составе жира. Возникновение этих связей приводит к мицеллообразованию и уменьшению размера агрегатов лецитина, что оказывает влияние на вязкость системы. При увеличении скорости сдвига расстояние между соседними частицами увеличивается и наблюдается возникновение псевдопластичного течения. Коэффициент детерминации R^2 для эмульсии с содержанием лецитина 0,5 масс.% составляет $< 0,1$ (менее 10%), что показывает отсутствие какой-либо зависимости между рассчитанными показателями и экспериментальными данными, в связи с чем уравнение (1) отражено прерывистой линией.

4. Заключение

В работе были получены данные с использованием ротационной вискозиметрии, на основании которых были построены кривые вязкости для растворов лецитина и прямых эмульсий жира личинок Черной львинки с различным содержанием лецитина 0,5–2,5 масс.%. Построенные кривые

были проанализированы с помощью степенного закона Освальда-де-Валя. Установлено, что увеличение содержания лецитина приводит к увеличению показателя консистенции К и степени псевдопластичности растворов лецитина. Тем не менее раствор лецитина в концентрации 2,5 масс.% показывает тенденцию к дилатантному поведению ($n > 1$), что, возможно, указывает на повышение взаимодействия между гидратированными молекулами лецитина в растворе. Показано, что введение в раствор жира личинок Черной львинки с последующим механическим диспергированием (приго-

товлением эмульсий) приводит к снижению консистенции К растворов в два раза, вне зависимости от концентрации лецитина. Растворы эмульсий с содержанием лецитина 1,0–2,5 масс.% показали тенденцию к псевдопластичному течению. Раствор лецитина 0,5 масс.% и эмульсия с содержанием лецитина 0,5 масс.% демонстрировали низкие значения консистенции и ньютоновский характер течения, что может быть связано с низкой концентрацией компонентов. Вследствие этого степень взаимодействия между компонентами является достаточно слабой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Первый в Петербурге пункт приема органики заработает 18 января. Электронный ресурс: https://www.gov.spb.ru/gov/terr/reg_viborg/news/180821/ Дата обращения 10.08.2021 г.
2. Эксперты: в России необходимо создать условия для переработки органического мусора. Электронный ресурс: <https://tass.ru/nacionalnye-proekty/6310152> Дата обращения 10.08.2021 г.
3. Малышева, А.Г., Козлова, Н.Ю., Растяйников, Е.Г., Ерманов, А.А., Шохин, В.А. (2017). Физико-химические исследования для оценки химической безопасности и эффективности применения новой системы очистки свалочного газа на полигоне твердых бытовых отходов. *Гигиена и санитария*, 96(11), 1103–1108. <http://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-11-1103-1108>
4. Kim, T. -K., Yong, H. I., Kim, Y. -B., Kim, H. -W., Choi, Y. -S. (2019). Edible insects as a protein source: A review of public perception, processing technology, and research trends. *Food Science of Animal Resources*, 39(4), 521–540. <http://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e53>
5. Chou, T.-H., Nugroho, D. S., Cheng, Y.-S., Chang, J.-Y. (2020). Development and characterization of nano-emulsions based on oil extracted from black soldier fly larvae. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 191(1), 331–345. <https://doi.org/10.1007/s12010-019-03210-y>
6. Новые технологии АПК: корма и удобрения из Черной львинки. Электронный ресурс: <https://sfera.fm/articles/tkv/novye-tehnologii-apk-korma-i-udobreniya-iz-chnoi-lvinki/> Дата обращения 5.08.2021 г.
7. Hsu, J.-P., Nacu, A. (2003). Behavior of soybean oil-in-water emulsion stabilized by nonionic surfactant. *Journal of Colloid and Interface Science*, 259(2), 374–381. [https://doi.org/10.1016/S0021-9797\(02\)00207-2](https://doi.org/10.1016/S0021-9797(02)00207-2)
8. Matthäus, B., Piofczyk, T., Katz, H., Pudiel, F. (2019). Renewable resources from insects: Exploitation, properties, and refining of fat obtained by cold-pressing from hermetia illucens (black soldier fly) larvae. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(7), Article 1800376. <http://doi.org/10.1002/ejlt.201800376>
9. Kale, S. N., Deore, S. L. (2016). Emulsion micro emulsion and nano emulsion: A review. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 8(1), 39–47. <https://doi.org/10.5530/srp.2017.1.8>
10. Premlal Ranjith, H. M., Wijewardene, U. (2006). Lipid emulsifiers and surfactants in dairy and bakery products. Chapter in a book: *Modifying Lipids for Use in Food*. Woodhead Publishing Limited, 393–428. <https://doi.org/10.1533/9781845691684.3.393>
11. Alhajj, M. J., Montero, N., Yarcce, C. J., Salamanca, C. H. (2020). Lecithins from vegetable, land, and marine animal sources and their potential applications for cosmetic, food, and pharmaceutical sectors. *Cosmetics*, 7(4), 1–19. <https://doi.org/10.3390/cosmetics7040087>
12. Derkach, S. R. (2009). Rheology of emulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 151(1–2), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2009.07.001>
13. Lim, J. S., Wong, S. F., Law, M. C., Samyudia, Y., Dol, S. S. (2015). A review on the effects of emulsions on flow behaviours and common factors affecting the stability of emulsions. *Journal of Applied Sciences*, 15(2), 167–172. <https://doi.org/10.3923/jas.2015.167.172>
14. Klongdee, S., Thongngam, M., Klinkesorn, U. (2012). Rheology and microstructure of lecithin-stabilized tuna oil emulsions containing chitosan of varying concentration and molecular size. *Food Biophysics*, 7(2), 155–162. <https://doi.org/10.1007/s11483-012-9253-4>
15. Quintana-Martinez, S., Morales-Cano, A., García-Zapateiro, L. (2018). Rheological behaviour in the interaction of lecithin and guar gum for oil-in-water emulsions. *Czech Journal of Food Sciences*, 36(1), 73–80. <https://doi.org/10.17221/315/2017-CJFS>
16. Pan, L. G., Tomás, M. C., Anón, M. C. (2002). Effect of sunflower lecithins on the stability of water-in-oil and oil-in-water emulsions. *Journal of Surfactants and Detergents*, 5(2), 135–143. <https://doi.org/10.1007/s11743-002-0213-1>
17. Traynor, M., Burke, R., Frias, J.M., Gaston, E., Barry-Ryan, C. (2013). Formation and stability of an oil in water emulsion containing lecithin, Xanthan gum and sunflower oil. *International Food Research Journal*, 20(5), 2173–2181.
18. Zhang, H., Lee, Y.-H., Shin, J.-A., Lee, K.-T., Hong, S.-T. (2013). Stability of oil-in-water emulsions with different saturation degrees from beef tallow alcoholysis products. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 42(6), 933–940. <http://doi.org/10.3746/jkfn.2013.42.6.933>
19. Ponphaiboon, J., Limmatvapirat, S., Limmatvapirat, C. (17–18 May, 2018). *Influence of emulsifiers on physical properties of oil/water emulsions containing ostrich oil*. 7th International Conference on Advanced Materials and Engineering Materials, ICAMEM, Bangkok. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.777.592>
20. Bhattacharya, S., Shylaja, M. H., Manjunath, M. S., Sankar, U. (1998). Rheology of lecithin dispersions. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(7), 871–874. <http://doi.org/10.1007/s11746-998-0239-9>
21. Dayrit, F. M. (2015). The Properties of Lauric Acid and Their Significance in Coconut Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2562-7>
22. Fabra, M. J., Jiménez, A., Atarés, L., Talens, P., Chiralt, A. (2009). Effect of fatty acids and beeswax addition on properties of sodium caseinate dispersions and films. *Biomacromolecules*, 10(6), 1500–1507. <https://doi.org/10.1021/bm900098p>
23. Perrin, J. H., Saunders, L. (1966). Viscosity of phosphatidylcholine (lecithin). *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 18(5), 271–277. <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1966.tb07871.x>
24. Manconi, M., Aparicio, J., Vila, A. O., Pendás, J., Figueruelo, J., Molina, F. (2003). Viscoelastic properties of concentrated dispersions in water of soy lecithin. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 222(1–3), 141–145. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(03\)00249-8](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(03)00249-8)

REFERENCES

1. The first organic collection point in St. Petersburg will start working on January 18. Retrieved from https://www.gov.spb.ru/gov/terr/reg_viborg/news/180821/ Accessed August 10, 2021. (In Russian)
2. Experts: in Russia it is necessary to create conditions for the processing of organic waste Retrieved from <https://tass.ru/nacionalnye-proekty/6310152> Accessed August 10, 2021. (In Russian)
3. Malysheva, A. G., Kozlova, N. Yu., Rastyannikov, E. G., Ermakov, A. A., Shokhin, V. A. (2017). Physico-chemical investigations for the assessment of the chemical safety and efficacy of application of a new system of landfill gas purification at the solid domestic garbage dump. *Gigiena i Sanitariya*, 96(11), 1103–1108. <http://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-11-1103-1108> (In Russian)
4. Kim, T. -K., Yong, H. I., Kim, Y. -B., Kim, H. -W., Choi, Y. -S. (2019). Edible insects as a protein source: A review of public perception, processing technology, and research trends. *Food Science of Animal Resources*, 39(4), 521–540. <http://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e53>
5. Chou, T.-H., Nugroho, D. S., Cheng, Y.-S., Chang, J.-Y. (2020). Development and characterization of nano-emulsions based on oil extracted from black soldier fly larvae. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 191(1), 331–345. <https://doi.org/10.1007/s12010-019-03210-y>
6. New technologies of the agro-industrial complex: feed and fertilizers from the Black Lioness. Retrieved from <https://sfera.fm/articles/tkv/novye-tehnologii-apk-korma-i-udobreniya-iz-chnoi-lvinki/> Accessed August 5, 2021. (In Russian)
7. Hsu, J.-P., Nacu, A. (2003). Behavior of soybean oil-in-water emulsion stabilized by nonionic surfactant. *Journal of Colloid and Interface Science*, 259(2), 374–381. [https://doi.org/10.1016/S0021-9797\(02\)00207-2](https://doi.org/10.1016/S0021-9797(02)00207-2)
8. Matthäus, B., Piofczyk, T., Katz, H., Pudiel, F. (2019). Renewable resources from insects: Exploitation, properties, and refining of fat obtained by cold-pressing from hermetia illucens (black soldier fly) larvae. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(7), Article 1800376. <http://doi.org/10.1002/ejlt.201800376>
9. Kale, S. N., Deore, S. L. (2016). Emulsion micro emulsion and nano emulsion: A review. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 8(1), 39–47. <https://doi.org/10.5530/srp.2017.1.8>
10. Premlal Ranjith, H. M., Wijewardene, U. (2006). Lipid emulsifiers and surfactants in dairy and bakery products. Chapter in a book: *Modifying Lipids for Use in Food*. Woodhead Publishing Limited, 393–428. <https://doi.org/10.1533/9781845691684.3.393>

11. Alhajj, M. J., Montero, N., Yarcce, C. J., Salamanca, C. H. (2020). Lecithins from vegetable, land, and marine animal sources and their potential applications for cosmetic, food, and pharmaceutical sectors. *Cosmetics*, 7(4), 1–19. <https://doi.org/10.3390/cosmetics7040087>
12. Derkach, S. R. (2009). Rheology of emulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 151(1–2), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2009.07.001>
13. Lim, J. S., Wong, S. F., Law, M. C., Samyudia, Y., Dol, S. S. (2015). A review on the effects of emulsions on flow behaviours and common factors affecting the stability of emulsions. *Journal of Applied Sciences*, 15(2), 167–172. <https://doi.org/10.3923/jas.2015.167.172>
14. Klongdee, S., Thongngam, M., Klinkesorn, U. (2012). Rheology and microstructure of lecithin-stabilized tuna oil emulsions containing chitosan of varying concentration and molecular size. *Food Biophysics*, 7(2), 155–162. <https://doi.org/10.1007/s11483-012-9253-4>
15. Quintana-Martinez, S., Morales-Cano, A., García-Zapateiro, L. (2018). Rheological behaviour in the interaction of lecithin and guar gum for oil-in-water emulsions. *Czech Journal of Food Sciences*, 36(1), 73–80 <https://doi.org/10.17221/315/2017-CJFS>
16. Pan, L. G., Tomás, M. C., Añón, M. C. (2002). Effect of sunflower lecithins on the stability of water-in-oil and oil-in-water emulsions. *Journal of Surfactants and Detergents*, 5(2), 135–143. <https://doi.org/10.1007/s11743-002-0213-1>
17. Traynor, M., Burke, R., Frias, J.M., Gaston, E., Barry-Ryan, C. (2013). Formation and stability of an oil in water emulsion containing lecithin, Xanthan gum and sunflower oil. *International Food Research Journal*, 20(5), 2173–2181.
18. Zhang, H., Lee, Y.-H., Shin, J.-A., Lee, K.-T., Hong, S.-T. (2013). Stability of oil-in-water emulsions with different saturation degrees from beef tallow alcoholysis products. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 42(6), 933–940. <http://doi.org/10.3746/jkfn.2013.42.6.933>
19. Ponphaiboon, J., Limmatvapirat, S., Limmatvapirat, C. (17–18 May, 2018). Influence of emulsifiers on physical properties of oil/water emulsions containing ostrich oil. 7th International Conference on Advanced Materials and Engineering Materials, ICAMEM, Bangkok. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.777.592>
20. Bhattacharya, S., Shylaja, M. H., Manjunath, M. S., Sankar, U. (1998). Rheology of lecithin dispersions. *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(7), 871–874. <http://doi.org/10.1007/s11746-998-0239-9>
21. Dayrit, F. M. (2015). The Properties of Lauric Acid and Their Significance in Coconut Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2562-7>
22. Fabra, M. J., Jiménez, A., Atarés, L., Talens, P., Chiralt, A. (2009). Effect of fatty acids and beeswax addition on properties of sodium caseinate dispersions and films. *Biomacromolecules*, 10(6), 1500–1507. <https://doi.org/10.1021/bm900098p>
23. Perrin, J. H., Saunders, L. (1966). Viscosity of phosphatidylcholine (lecithin). *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 18(5), 271–277. <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1966.tb07871.x>
24. Manconi, M., Aparicio, J., Vila, A. O., Pendás, J., Figueruelo, J., Molina, F. (2003). Viscoelastic properties of concentrated dispersions in water of soy lecithin. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 222(1–3), 141–145. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(03\)00249-8](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(03)00249-8)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Рубан Альбина Алексеевна — лаборант-исследователь, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55 Тел.: +7-931-252-83-55 E-mail: albinaruban98@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9289-4010 * автор для контактов	Albina A. Ruban — laboratory assistant-researcher, All-Russian Research Institute for Food Additives 55, Liteiny pr., 191014, St. Petersburg, Russia Tel.: +7-931-252-83-55 E-mail: albinaruban98@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9289-4010 * corresponding author
Новикова (Захарова) Мария Вячеславовна — кандидат технических наук, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55 Тел.: +7-812-273-41-08 E-mail: mariazakharova@bk.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4195-0649	Mariia V. Novikova (Zakharova) — Candidate of Technical Sciences, research fellow, All-Russian Research Institute for Food Additives 55, Liteiny pr., 191014, St. Petersburg, Russia Tel.: +7-812-273-41-08 E-mail: mariazakharova@bk.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4195-0649
Костин Антон Алексеевич — кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 191014, Санкт-Петербург, Литейный пр., 55 Тел.: +7-812-273-41-08 E-mail: egresso@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4978-514X	Anton A. Kostin — Candidate of Chemical Sciences, research senior, All-Russian Research Institute for Food Additives 55, Liteiny pr., 191014, St. Petersburg, Russia Tel.: +7-812-273-41-08 E-mail: egresso@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4978-514X
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

