

ХиПС

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 4 | 2022

Периодичность издания — 4 номера в год
Основан в 1993 г.

УЧРЕДИТЕЛЬ: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет пищевых производств» (ФГБОУ ВО МГУПП)

РЕДАКЦИЯ

*Заведующий редакцией и академический редактор —
Тихонова Елена Викторовна
Выпускающий редактор — Шленская Наталия Марковна
Медийный редактор — Карнаухова Анастасия Александровна*

ISSN 2072-9669

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации средства массовой информации *ПИ № ФС77-71128* от 22 сентября 2017 г.

Журнал включен в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» по группам специальностей:

05.00.00 — Технические науки;
05.18.00 — Технология продовольственных продуктов;
05.20.00 — Процессы и машины агронженерных систем;
06.00.00 — Сельскохозяйственные науки;
06.01.00 — Агрономия;
4.3.5. — Биотехнология продуктов питания и биотехнологически активных веществ (тех. науки) — с 01.02.2022

АДРЕС:

125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11

Тел. +7 (499) 750-01-11*6585

E-mail: info@spfp-mgupp.ru

Официальный сайт учредителя: mgupp.ru

Официальный сайт редакции: spfp-mgupp.ru

Отпечатано в типографии:

ООО «Информационно-Технологический центр»

Адрес: Российская Федерация, 105203, г. Москва, ул. Нижняя Первомайская, д. 44

Формат 60×84 1/8. Печать офсетная. Бумага офсетная. Тираж 500 экз. Подписано в печать 14.10.2022. Свободная цена.

© ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», 2022

SPFP

THEORETICAL AND RESEARCH & PRACTICE JOURNAL

№ 4 | 2022

Периодичность публикации — 4 номера в год
Published since 1993

FOUNDER: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Moscow State University of Food Production» (FSBEI HE MSUFP)

EDITORIAL TEAM

*Head of Editorial Team and Academic Editor —
Elena V. Tikhonova
Issue Editor — Nataliya M. Shlenskaya
Social Media and Product Editor — Anastasia A. Karnaughova*

ISSN 2072-9669

The Journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communication, Information Technologies and Mass Media. The Mass Media Registration Certificate *PI No FS77-71128* dated September 22, 2017.

The Journal is included in the «List of Russian peer-reviewed scientific journals in which the main scientific results of dissertations for the academic degrees of a doctor and candidate of sciences should be published» by groups of specialties:

05.00.00 — Technical sciences;
05.18.00 — Technology of food products;
05.20.00 — Processes and machines of agroengineering systems;
06.00.00 — Agricultural sciences;
06.01.00 — Agronomy;
4.3.5. — Biotechnology of food and biologically active substances (tech. sciences) — from 01.02.2022

ADDRESS:

11, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 125080

Tel. +7 (499) 750-01-11*6585

E-mail: info@spfp-mgupp.ru

Official web site of Founder: mgupp.ru

Official web site of the Editorial Office: spfp-mgupp.ru

Printed in the Publishing House:

«Information and Technology Center» Ltd.

Address: 44, Nizhnyaya Pervomayskaya, Moscow, Russian Federation, 105203

Format 60×84 1/8. Seal offset. Offset paper. 500 copies. Signed in print 14.10.2022. Free price.

© FSBEI HE «Moscow State University of Food Productioin», 2022

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Главный редактор

БАЛЫХИН Михаил Григорьевич – доктор экономических наук, профессор, ректор

Члены редакционного совета:

Аксёнова Лариса Михайловна	доктор технических наук, профессор, академик РАН, ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, vniitek@vniitek.ru
Акулич Александр Васильевич	доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель Республики Беларусь, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, akulichav57@mail.ru
Андреев Николай Руфеевич	доктор технических наук, член-корреспондент РАН, ВНИИ крахмалопродуктов – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, vniik@arrisp.ru
Ахремчик Олег Леонидович	доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации технологических процессов, ФГБОУ ВО Тверской государственный технический университет, ahremchikol@mgupp.ru
Баскаков Иван Васильевич	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, vasich2@yandex.ru
Битюков Виталий Ксенофонтович	доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, Воронежский государственный университет инженерных технологий, зав. кафедрой «Информационные и управляющие системы» ВГУИТ, post@vsuet.ru
Благовещенская Маргарита Михайловна	доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, Действительный член Международной академии наук информационных процессов и технологий и Международной академии информатизации, Московский государственный университет пищевых производств, mmb@mgupp.ru
Боронтов Олег Константинович	доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы им. А.Л. Мазлумова, oborontov@mail.ru
Гинс Мурат Сабирович	доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, лауреат Государственной премии и премии Правительства РФ, зав. лабораторией физиологии и биохимии растений, интродукции и функциональных продуктов, ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», anirr@bk.ru
Горлов Иван Федорович	доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, Поволжский НИИ производства и переработки мясо-молочной продукции, pimmp@mail.ru
Гудковский Владимир Александрович	доктор сельскохозяйственный наук, профессор академик РАН, Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина, info@fnc-mich.ru
Добропольский Виктор Францевич	доктор технических наук, НИИ пищеконцентратной промышленности и специальной пищевой технологии – филиал ФИЦ питания и биотехнологии, gnumippspt@gmail.com
Донник Ирина Михайловна	доктор биологических наук, профессор, академик РАН, imdonnik@presidium.ras.ru
Ильина Ирина Анатольевна	доктор технических наук, заместитель директора по науке Северокавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства, iailyna@gmail.com
Калашникова Елена Анатольевна	доктор биологических наук, профессор кафедры «Генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства», ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева», kalash0407@mail.ru
Коденцова Вера Митрофановна	доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», kodentsova@ion.ru
Копусь Михаил Мефодьевич	доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Аграрный научный центр «Донской», Центр фундаментальных научных исследований (Зерноград), mkopus@gmail.com
Короткий Игорь Алексеевич	доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», krot69@mail.ru
Косован Анатолий Павлович	доктор экономических наук, академик РАН, НИИ хлебопекарной промышленности, info@gosniihp.ru
Коста Руи	доктор технических наук, Португальский технический институт, ruicosta@esac.pt
Красуля Ольга Николаевна	доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева», okrasulya@mail.ru

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

Mikhail G. BALYKHIN – Doctor of Economics, Professor, Rector

Members of the Editorial Board:

Larisa M. Aksyonova	Doctor of Technical Science, professor, academician of RAS, Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatov of RAS, vniitek@vniitek.ru
Alexander V. Akulich	Doctor of Technical Science, Honoured Inventor of the Republic of Belarus, professor, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, akulichav57@mail.ru
Nikolay R. Andreev	Doctor of Technical Science, corresponding Member of RAS, All-Russian Research institute of Starch – branch of the Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatov of RAS, vniik@arrisp.ru
Oleg L. Akhremchik	Doctor of Technical Science, professor of the department of automation of technological processes, Tver State Technical University, ahremchikol@mgupp.ru
Ivan V. Baskakov	Doctor of Agricultural Science, professor of Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, vasich2@yandex.ru
Vitaliy K. Bityukov	Doctor of Technical Science, professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Voronezh State University of Engineering Technologies, head of the Department of information and control systems, post@vsuet.ru
Margarita M. Blagoveshchenskaya	Doctor of Technical Science, professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Full Member of the International Academy of Sciences of Information Processes and Technologies and the International Academy of Informatization, Moscow State University of Food Production, mmb@mgupp.ru
Oleg K. Borontov	Doctor of Agricultural Science, leading researcher of the A.L. Mazlumov All-Russian research institute of sugar beet and sugar, oborontov@mail.ru
Murat S. Gins	Doctor of Biological Science, Corresponding Member of RAS, laureate of the State Prize and Prize of the Government of the Russian Federation, head of the Laboratory of Physiology and Biochemistry of Plants, Introduction and Functional Products, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Vegetable Growing", Moscow Region, Russia, anirr@bk.ru
Ivan F. Gorlov	Doctor of Agricultural Science, Academician of RAS, Povolzhskiy Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, niimmpp@mail.ru
Vladimir A. Gudkovskiy	Doctor of Agricultural Science, Academician of RAS, Federal Scientific Center named after I.V. Michurin, info@fnc-mich.ru
Viktor F. Dobrovoilskiy	Doctor of Technical Science, Research Institute of Food Concentrates Industry and Special Food Technology - branch of the Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, gnuippst@gmail.com
Irina M. Donnik	Doctor of Biological Science, Academician of RAS, professor, Russian Academy of Sciences, imdonnik@presidium.ras.ru
Irina A. Ilina	Doctor of Technical Science, deputy Director for Science of Federal State Budget Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making», kubansad@kubannet.ru
Elena A. Kalashnikova	Doctor of Biological Science, Professor of the Department of Genetics, Biotechnology, Breeding and Seed Production, Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, kalash0407@mail.ru
Vera M. Kodentsova	Doctor of Biological Science, Professor, leading researcher of Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, kodentsova@ion.ru
Mikhail M. Kopus	Doctor of Biological Science, leading researcher of Agrarian Research Center "Donskoy", Center for Fundamental Scientific Research (Zernograd), mkopus@gmail.com
Igor A. Korotkiy	Doctor of Technical Science, professor, Kemerovo State University, krot69@mail.ru
Anatoliy P. Kosovan	Doctor of Economics, Academician of RAS, State Research Institute of Baking Industry, info@gosniihp.ru
Rui Costa	Doctor of Technical Science, Portuguese Technical Institute, ruicosta@esac.pt
Olga N. Krasulya	Doctor of Technical Science, Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, okrasulya@mail.ru

Члены редакционного совета:

Кульнева Надежда Григорьевна	доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный университет инженерных технологий, ngkulneva@yandex.ru
Левшин Александр Григорьевич	доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Эксплуатация машинно-тракторного парка и высоких технологий в растениеводстве», ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева», alev200151@rambler.ru.
Лисицын Александр Nikolaevich	доктор технических наук, ВНИИ жиров, vniig@vniig.org
Лисицын Андрей Борисович	доктор технических наук академик РАН, ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, info@vniimp.ru
Мелешкина Елена Павловна	доктор технических наук, ВНИИ зерна и продуктов его переработки – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, mep5@mail.ru
Неверов Евгений Nikolaevich	доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», neverov42@mail.ru
Никитюк Дмитрий Борисович	доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, профессор. ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», nikitjuk@ion.ru
Никифоров-Никишин Алексей Львович	доктор биологических наук, профессор, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, 9150699@mail.ru
Оганесянц Лев Арсенович	доктор технических наук, академик РАН. ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, institute@vniinapitkov.ru
Ожерельев Виктор Nikolaevich	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Брянский государственный аграрный университет, vicoz@bk.ru
Оробинский Владимир Иванович	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, main@agroeng.vsaau.ru
Пасынкова Елена Nikolaevna	доктор биологических наук, Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха, филиал Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства "Белогорка" (Санкт-Петербург), pasynkova.elena@gmail.com
Панфилов Виктор Александрович	доктор технических наук, академик РАН. Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, vap@timacad.ru
Петров Андрей Nikolaevich	доктор технических наук, академик РАН. ВНИИ технологии консервирования – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, vniitekpetrov@vniitek.ru
Подвигина Ольга Анатольевна	доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова», vniiss@mail.ru
Савина Ольга Васильевна	доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», savina-999@mail.ru
Симоненко Сергей Владимирович	доктор технических наук. НИИ детского питания – филиал ФИЦ питания и биотехнологии, niidp@rambler.ru
Стогниенко Ольга Ивановна	доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова» stogniolga@mail.ru
Титов Евгений Иванович	доктор технических наук, академик РАН. ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»,
Тихомирова Наталья Александровна	доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технологии молока, пробиотических молочных продуктов и сыророделия» Московского государственного университета пищевых производств, tikhomirovaNA@mgupp.ru
Тужилкин Вячеслав Иванович	доктор технических наук, член-корреспондент РАН. ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», titov@mgupp.ru
Тутельян Виктор Александрович	доктор медицинских наук, академик РАН, профессор. ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии», tutelyan@ion.ru
Уша Борис Вениаминович	доктор ветеринарных наук, академик РАН, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», vet-san-dekanat@yandex.ru
Харитонов Владимир Дмитриевич	доктор технических наук, академик РАН, ВНИИ молочной промышленности, gnu-vnimi@yandex.ru
Храмцов Андрей Георгиевич	доктор технических наук, академик РАН. Северо-Кавказский федеральный университет, hramtsov@nsctu.ru
Щетинин Михаил Павлович	доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», shchetininmihail@mgupp.ru

Members of the Editorial Board:

Nadezhda G. Kulneva	Doctor of Technical Science, Professor, Voronezh State University of Engineering Technologies, nkgkulneva@yandex.ru
Alexander G. Levshin	Doctor of Technical science, professor, head of the Department “Operation of the machine and tractor fleet and high technologies in crop production”, Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, alev200151@rambler.ru
Aleksander N. Lisitsyn	Doctor of Technical Science, All-Russian Research Institute of Fats, vniig@vniig.org
Andrey B. Lisitsyn	Doctor of Technical Science, Academician of RAS, Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatov of RAS, info@vniimp.ru
Elena P. Meleshkina	Doctor of Technical Science, All-Russian Research Institute of Grain and Products of Its Processing – branch of the Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatova of RAS, mep5@mail.ru
Eugeniy N. Neverov	Doctor of Technical Science, professor, Kemerovo State University, neverov42@mail.ru
Dmitry B. Nikityuk	Doctor of Medicine, Corresponding Member of RAS, professor, Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, nikitjuk@ion.ru
Aleksey L. Nikiforov-Nikishin	Doctor of Biological Science, professor, Razumovsky Moscow State University of Food Production, 9150699@mail.ru
Lev A. Oganesyants	Doctor of Technical Science, Academician of RAS, All-Russian Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industries – branch of the Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatov RAS, institute@vniinapitkov.ru
Viktor N. Ozharelev	Doctor of agricultural Science, Professor of Bryansk State Agricultural University, vicoz@bk.ru
Vladimir I. Orbinsky	Doctor of Agricultural Science, professor of Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, vasich2@yandex.ru
Elena N. Pasynkova	Doctor of Biological Science, Federal Research Center for Potato named after A.I. A.G. Lorkha, branch of the Leningrad Research Institute of Agriculture “Belogorka” (St. Petersburg), pasynkova.elena@gmail.com
Viktor A. Panfilov	Doctor of Technical Science, Academician of RAS, Russian State Agrarian University, Moscow Timiryazev Agricultural Academy, vap@timacad.ru
Andrey N. Petrov	Doctor of Technical Science, Academician of RAS, All-Russian Research Institute of Technology Canning – branch of the Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatova of RAS, vniitekpetrov@vniitek.ru
Olga A. Podvigina	Doctor of Agricultural Science, leading researcher of the A.L. Mazlumov All-Russian research institute of sugar beet and sugar, vniiss@mail.ru
Olga V. Savina	Doctor of Agricultural Science, professor of Ryazan State Agrotechnological university named after P.A. Kostychev, savina-999@mail.ru
Sergey V. Simonenko	Doctor of Technical Science, Research Institute of Baby Nutrition – branch of the Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, niidp@rambler.ru
Olga I. Stognienko	Doctor of Biological Science, Leading Researcher of the A.L. Mazlumov All-Russian research institute of sugar beet and sugar, stogniolga@mail.ru
Evgeny I. Titov	Doctor of Technical Science, Academician of RAS, Moscow State University of Food Production, titov@mgupp.ru
Natalia A. Tikhomirova	Doctor of Technical Science, professor of the department “Technology of milk, probiotic milk products and cheesemaking” of Moscow State University of Food Production, tikhomirovaNA@mgupp.ru
Vyacheslav I. Tuzhilkin	Doctor of Technical Science, Corresponding Member of RAS, Moscow State University of Food Production, tvi@mgupp.ru
Victor A. Tutelyan	Doctor of Medicine, Academician of RAS, Professor, Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, tutelyan@ion.ru
Boris V. Usha	Doctor of Veterinarian Science, Academician of RAS, Moscow State University of Food Production, vet-san-dekanat@yandex.ru
Vladimir D. Kharitonov	Doctor of Technical Science, Academician of RAS, All-Russian Research Institut of Dairy Industry, gnu-vnimi@yandex.ru
Andrey G. Khramtsov	Doctor of Technical Science, Academician of RAS, North-Caucasus Federal University, hramtsov@nsctu.ru
Mikhail P. Schetinin	Doctor of Technical Science, Professor, Moscow State University of Food Production, shchetininmihail@mgupp.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКТОРА

Е. В. Тихонова, Н. М. Шленская

Анализ кейсов из практики: архитектура жанра и его уместность в предметном поле журнала 8

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

Н. Б. Кондратьев, О. С. Руденко, М. В. Осипов, А. Е. Баженова

Прогнозирование срока годности кондитерских изделий в условиях ускоренного хранения: обзор предметного поля 22

Е. В. Семенов, А. А. Славянский, В. А. Грибкова

Анализ процесса кристаллизации сахарозы в условиях переменной диффузии 40

Т. В. Першакова, Г. А. Купин, Т. А. Яковлева, С. М. Горлов, В. Н. Алёшин, М. В. Бабакина

Разработка сводной матрицы биологизации процессов формирования качества и предотвращения потерь овощей и фруктов в системе «производство – транспортирование – хранение – реализация»: обзор предметного поля 52

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

М. А. Пестерев, М. А. Лаврухин

Создание полупроцессоров с повышенным содержанием микронутриентов на основе плодово-овощного сырья 66

А. А. Красноштанова, А. Н. Юдина

Оптимизация условий выделения IgY из желтка куриных яиц 74

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

В. В. Кондратенко, Т. Ю. Кондратенко

Методологический подход к определению последовательности ферментов для фрагментации полигликанового комплекса растительной ткани 85

А. В. Бегунова, Н. А. Жижин

Оценка потенциала пропионовокислых бактерий для получения постбиотиков 102

А. В. Коврижных, Д. А. Афанасьев, М. Ахангаран, М. Гаравари, И. М. Чернуха, Н. Г. Машенцева,

Н. В. Василиевич

Определение протеолитической активности молочнокислых бактерий и выявление генов протеина 113

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

М. Е. Ткешелашвили, Г. А. Бобожонова, И. Б. Леонова

Моделирование состава овсяного печенья на основе натуральных сахарозаменителей 128

А. Л. Новокшанова, А. А. Абабкова, Ю. С. Федотова

Обоснование целесообразности разработки технологии нового высокобелкового молочного напитка с ячменем 142

М. С. Каночкина, И. Р. Соколов

Разработка технологии обогащенного напитка с синбиотическими свойствами на базе отходов производства какао тертого 152

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

К. С. Ионова, О. Е. Бакуменко, П. В. Бакуменко

Разработка технологии функционального напитка на зерновой основе 164

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ И НОВЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ

Е. С. Разумовская

Влияние процесса консервации на гистохимические показатели специального сырья 180

А. Ю. Шариков, Е. Н. Соколова, М. В. Амелякина, Д. В. Поливановская, Е. М. Серба

Использование брусники в экструдированных продуктах, готовых к употреблению 191

CONTENT

EDITORIAL

Elena V. Tikhonova, Nataliya M. Shlenskaya

Case Study: The Genre Architecture and Its Applicability in the Scope of the Journal 9

THEORETICAL ASPECTS OF FARM PRODUCTS STORAGE AND PROCESSING

Nikolay B. Kondratiev, Oksana S. Rudenko, Maxim V. Osipov, Alla E. Bazhenova

Forecasting the Shelf Life of Confectionery Products under Accelerated Storage Conditions: Scoping Review 23

Evgeny V. Semenov, Anatoly A. Slavyansky, Vera A. Gribkova

Analysis of Sucrose Crystallization Process under Conditions of Variable Diffusion 41

Tatiana V. Pershakova, Grigory A. Kupin, Tatyana V. Yakovleva, Sergey M. Gorlov, Vladimir N. Alyoshin, Maria V. Babakina

Development of a Summary Matrix of Biologization of the Processes of Quality Formation and Prevention of Losses of Vegetables and Fruits in the System "Production – Transportation – Storage – Sale": Scoping Review 53

PHYSICAL AND CHEMICAL METHODS OF FARM RAW MATERIAL PROCESSING

Mikhail A. Pesterev, Mikhail A. Lavrukhan

Creation of Semi-finished Products with a High Content of Micronutrients Based on Fruit and Vegetable Raw Materials 67

Alla A. Krasnoshtanova, Alesya N. Yudina

Optimization of Conditions for Isolation of IgY from the Yolk of Chicken Eggs 75

BIOTECHNOLOGICAL AND MICROBIOLOGICAL ASPECTS

Vladimir V. Kondratenko, Tatyana Yu. Kondratenko

Methodological Approach to Determine the Sequence of Enzymes for Plant Tissue Polyglycan Complex Fragmentation 86

Anna V. Begunova, Nikolay A. Zhizhin

Evaluation of the Potential of Propionic Acid Bacteria for Obtaining Postbiotics 103

Anna V. Kovrijhnykh, Dmitry A. Afanasyev, Mahboobeh Ahangaran, Mahmood Gharaviri, Irina M. Chernukha, Natalya G. Mashentseva, Natalya V. Vasilievich

Determination of the Proteolytic Activity of Lactic Acid Bacteria and Identification of Proteinase Genes 114

DESIGNING AND MODELLING THE NEW GENERATION FOODS

Manana E. Tkeshelashvili, Galina A. Bobozhonova, Irina B. Leonova

Modeling the Composition of Oat Biscuit Based on Natural Sugar Substitutes 129

Alla L. Novokshanova, Anna A. Ababkova, Yuliya S. Fedotova

Justification of the Feasibility of Developing a Technology for a New High-Protein Milk Drink with Barley 143

Maria S. Kanochkina, Ilya R. Sokolov

Development of Technology for an Enriched Drink with Synbiotic Properties Based on Waste from the Production of Grated Cocoa 153

TECHNOLOGICAL PROCESSES, MACHINES AND EQUIPMENT

Kristina S. Ionova, Olesya E. Bakumenko, Polina V. Bakumenko

Development of Technology for a Functional Grain-Based Drink 165

USING SECONDARY RESOURCES AND NEW TYPES OF RAW MATERIALS

Elena S. Razumovskaya

The Effect of the Conservation Process on the Histochemical Parameters of Special Raw Materials 181

Anton Yu. Sharikov, Elena N. Sokolova, Maria V. Amelyakina, Daria V. Polivanovskaya, Elena M. Serba

The Use of Cranberries in Extruded Products Ready for Consumption 192

Анализ кейсов из практики: архитектура жанра и его уместность в предметном поле журнала

Е. В. Тихонова¹, Н. М. Шленская²

¹ МГИМО Университет,
г. Москва, Российская Федерация

² Московский государственный
университет пищевых производств,
г. Москва, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Тихонова Елена Викторовна
Адрес: Москва, 119454,
Проспект Вернадского 76.
E-mail: etihonova@mgupp.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Тихонова, Е.В., & Шленская, Н.М. (2022). Анализ кейсов из практики: архитектура жанра и его уместность в предметном поле журнала. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 8–21.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.382>

ПОСТУПИЛА: 14.09.2022

ПРИНЯТА: 05.10.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 14.10.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. Статьи жанра кейс стади (case study) призваны генерировать идеи, гипотезы и методы, которые будут позже проверены с помощью контролируемых исследований или экспериментов. Многие исследователи ошибочно расценивают кейс-стади как исследования, не имеющие глубинной значимости, ослабляя тем самым свои исследовательские стратегии.

Цель. Проанализировать практики конструирования и реализации кейс-стади, перспективность данного направления для развития науки.

Анализ кейсов из практики как инструмент научной коммуникации. Кейс-стади как стратегия исследования имеет широкие возможности для использования в исследовательской практике, позволяет сформулировать предварительные выводы, проверить гипотезу или выявить новые факторы при анализе нестандартных результатов. Существуют различные типологии кейс-стади, представляющие исследователям широкие возможности для познания исследуемых кейсов. Следование протоколу кейс-стади значительным образом повышает его валидность и прозрачность. Гибкость подхода и возможность комбинировать различные методы для исследования явлений, изучаемых в их естественных реалиях, расширяют горизонты традиционных качественных исследований.

Выводы. Методология кейс-стади используется в разных областях науки, так как этот метод позволяет использовать гибкие технологии для анализа информации, связанной с конкретными случаями.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

кейс-стади, метод исследования, жанр научной коммуникации, структура рукописи кейс-стади, протокол кейс-стади

Case Study: The Genre Architecture and Its Applicability in the Scope of the Journal

¹ MGIMO University, Moscow, Russia

² Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Elena V. Tikhonova,
76 Prospect Vernadskogo, Moscow,
119454, Russian Federation
E-mail: etihonova@mgupp.ru

FOR CITATIONS:

Tikhonova, E.V., & Shlenskaya, N.M. (2022). Case Study: The Genre Architecture and Its Applicability in the Scope of the Journal. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 8–21. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.382>

RECEIVED: 14.09.2022

ACCEPTED: 05.10.2022

PUBLISHED: 14.10.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST:

none declared.



Elena V. Tikhonova¹, Nataliya M. Shlenskaya²

ABSTRACT

Background. Articles of the case study genre are designed to generate ideas, hypotheses and methods that will be tested later with the help of controlled studies or experiments. Many researchers mistakenly regard case studies as studies that have no deep significance, thereby weakening their research strategies.

Purpose. To analyze the practice of designing and implementing a case study, the prospects of this direction for the development of science.

The Case Study as a Tool of Scientific Communication. The case study as a research strategy has ample opportunities for use in research practice, allows you to formulate preliminary conclusions, test a hypothesis or identify new factors when analyzing non-standard results. There are various typologies of case studies that provide researchers with ample opportunities to learn the cases under study. Following the case study protocol significantly increases its validity and transparency. The flexibility of the approach and the ability to combine various methods to study phenomena studied in their natural realities expand the horizons of traditional qualitative research.

Conclusion. The case study methodology is used in various fields of science, as this method allows you to use flexible technologies to analyze information related to specific cases.

KEYWORDS

case study, research method, genre of scientific communication, case study manuscript structure, case study protocol

Совокупность трактовки терминов «case» в английском языке как «случай, факт, ситуация, дело» и «study» — «исследование, изучение, рассмотрение» позволяет определить сущность жанра научной коммуникации case study (разбор кейсов из практики) как исследование отдельного/конкретного/индивидуального случая или ситуации. Традиционно жанр описывает эмпирическое исследование, которое изучает современное явление (случай) в его реальном контексте (Yin, 2014). В англоязычной литературе существует четкое разграничение между кейс-стади, трактуемым как эмпирическое исследование объектов в реальном контексте, с возможностью использования множества источников данных и методов их анализа (количественных и качественных), и метод кейсов (case method). Под последним понимается образовательная методика, основанная на закреплении теоретических знаний путем изучения реальных, ярких примеров (Flyvbjerg, 2006).

В российском научном дискурсе жанр анализа конкретных кейсов из практики соотносится с англоязычным термином кейс-стади (Михайлов, 2014) и не имеет отдельного русскоязычного термина. Многозначный в английском языке термин «case study» в российской научной практике трактуется как «исследование единичного/конкретного/индивидуального случая», «исследование ситуаций», «ситуационное исследование», «изучение посредством разнообразных научных методик определенной проблемы, общности, а также группы проблем и группы общностей» (Жеребцов, 2004). Иными словами, кейс-стади трактуется как качественное исследование, направленное на изучение частного случая¹.

Характерные черты кейс-стади

Метод разбора кейсов первоначально применялся в области социологии, медицины и права (Zainal, 2007). Впоследствии он распространился на другие отрасли научного знания, будучи удобным инструментом для изучения результатов (положительных или отрицательных), которые были получены

в процессе принятия определенного набора решений (Gale, 2018)².

Кейс-стади анализирует современное явление в его реальном контексте с опорой на многочисленные источники доказательств (в том числе, и на элементы других методов исследования: опрос, интервью, наблюдения) (Yin, 1984; Robson, 2002; Runeson, 2009). Отсюда следует, что границы между явлением и его контекстом четко не определены. Кейс-стади направлены на изучение отдельного локального случая, произошедшего в конкретном месте, в конкретное время и имеющего четко определенные социальные и временные границы. При этом кейс исследуется в его уникальности, неповторимости, невоспроизводимости в других условиях как индивидуальное самоценное, целостное явление во всей совокупности связей, его формирующих (Варганова, 2006). Именно изучение явления в его естественном контексте, в ситуации отсутствия четкого определения границ между явлением и контекстом и отличает кейс-стади от эксперимента. Кейс-стади, как правило, представляют собой гибкие проектные исследования, в то время как эксперименты являются фиксированными исследованиями (Anastas & MacDonald, 1994; Robson, 2002; Runeson & Höst, 2009). Анализ кейса при изучении особенностей одного конкретного случая помогает выяснить, почему принимались именно эти решения, как они реализовывались и к каким результатам привели (Schramm, 1971).

Значимой характеристикой кейс-стади выступают его определенные (не всегда очевидные) ограничения (сумма обстоятельств, предметов, людей формируют данный конкретный кейс), что ограничивает возможность проведения всеобъемлющего глубинного исследования (Tellis, 1997). Процедуры анализа данных в качественных исследованиях менее структурированы в сравнении с исследованиями количественными и в большей степени зависят от профессиональной компетентности исследователя, что акцентирует значимость уровня сформированности профессиональных навыков и знаний исследователя для обеспечения объективности извлеченных из кейс-стади выводов. Специфика ме-

¹ Исследование, проводимое в рамках качественного подхода, рассматривает ситуацию с естественных позиций, стараясь придать смысл или проинтерпретировать феномены в терминах, максимально приближенных по значению к естественным ассоциациям людей относительно них (Жеребцов, 2004).

² Brandon, G. (2018). *12 Case Study Method Advantages and Disadvantages*. <https://brandongaille.com/12-case-study-method-advantages-and-disadvantages/>

тода заключается в тщательном сборе максимально полной и релевантной информации, касающейся определенного кейса/случая (Тищенко, 2015).

Тот факт, что термин «кейс-стади» используется рядом исследователей параллельно с такими терминами, как «полевое исследование» и «исследование методом наблюдения», свидетельствует о возможности фокусировки в рамках данного жанра научной коммуникации на конкретном аспекте методологии исследования (Lethbridge et al., 2005). Данные, собранные в эмпирическом кейсе, могут быть количественными или качественными. Количественные данные анализируются с использованием статистики, в то время как качественные данные анализируются с опорой на концептуализацию и категоризацию. Кейс-стади при этом не имеет своей целью обоснование выводов со статистической значимостью.

Ключевые характеристики кейс-стади: (1) исследование гибкого типа, которое опирается на сложные и динамические характеристики явлений реального мира. Гибкость исследовательского подхода выражается в том, что исследователь принимает решения о характере продвижения в кейсе по мере получения новых эмпирических данных, обсуждений с коллегами, изменения гипотез (Полухина, 2014; Михайлов, 2014); (2) возможность использования совокупности различных методов сбора данных: анализ событий на основе ранее опубликованных материалов, интервью, наблюдение, использование статистических данных и финансовых отчетов, анкетирование и т. д.; (3) выводы кейсов должны быть основаны на четкой цепочке доказательств, собранных из нескольких источников запланированным и последовательным образом; (4) кейс призван дополнять существующее знание по теме, основываясь на ранее установленных теоретических положениях, если таковые существуют (Runeson, 2009).

Ряд специалистов обосновывают, что анализ данных, полученных в ходе кейс-стади, может быть успешным только в том случае, если до проведения исследования у его авторов уже существовала определенная теоретическая концепция, необходимость подтверждения/опровержения которой и привела к реализации кейс-стади (Варганова, 2006; Eisenhardt, 1991). Кейс-стади зарекомендовали себя успешно на предварительных этапах

исследования для создания гипотез. Вместе с тем ошибочно рассматривать этот метод как пилотное исследование. Последнее имеет принципиально иную цель и призван апробировать методологию крупномасштабного исследования перед его проведением (Flyvbjerg, 2006). Кейс-стади же нацелены на исчерпывающее изучение всех взаимосвязей и взаимозависимостей, характеризующих конкретную ситуацию (Жеребцов, 2004).

Типы кейс-стади

В 1971 г. Lijphart (1971) предложил типизацию кейс-стади, основанную на учете целей, которые ставят перед собой разработчики научных проектов:

1. Исследование кейса для разработки теоретической концепции.
2. Изучение кейса для проверки и подтверждения ранее разработанной теории.
3. Изучение кейса для выдвижения гипотез.
4. Изучение экстремальных, отклоняющихся от нормы случаев.

Варганова (2006) указывает, что классификация Lijphart (1971) дает основания для признания кейс-стади в качестве самостоятельного, самодостаточного научного исследования, направленного на разработку теоретических концепций. Признается и возможность использования кейс-стади как одного из этапов крупномасштабного исследования, предполагающего впоследствии проведение ряда дополнительных научных исследований (Flyvbjerg, 2006; Yin 2003).

Yin (1994) выделяет *исследовательские, обзъяснятельные и описательные* кейсы. Мерриам (1991), исходя из стиля проведения исследования, указывает на существование частных (анализируется отдельный случай, ситуация, проблема, феномен с целью установить внутреннюю логику функционирования объекта), *дескриптивных* (держит в фокусе конечную цель исследования и применяется в ситуации необходимости создать всеобъемлющее описание определенного феномена: отобразить все многообразие факторов и обстоятельств, имеющих отношение к изучаемому случаю) и *эвристических* (цель – выявление новых, ранее недоступных пониманию свойств и характеристик объекта, поскольку в процессе исследования могут открываться ранее неизвестные свойства и обстоятельства,

ведущие к переоценке самого феномена) типов кейс-стади (Merriam, 1991).

При классификации кейс-стади необходимо учитывать и количество кейсов, изучаемых в рамках одного исследования: (1) *единичные кейсы* (исследования, основанные на одной проблемной ситуации), (2) *множественные кейсы* (для изучения проблемы необходим анализ ряда кейсов). Последний тип предлагается называть «*множественным кейс-стади*». Единичные кейсы используются для подтверждения или проверки теории, изучения уникального или исключительного случая (Yin, 1994). Кейс не обязательно должен состоять из одного наблюдения, он может включать в себя множество наблюдений за определенные периоды времени, проводящегося в рамках одного исследования (Gerring, 2007). Исследования, включающие множественные случаи, часто называют «*перекрестными исследованиями*», в то время как изучение одного случая называется «*исследованием внутри случая*» (Gerring, 2007).

Этапы кейс-стади

При проведении исследования его инициатор стремится решить поставленную проблему, для чего необходимы данные теоретического или практического характера. Соответственно, *первый этап* кейс-стади неизбежно требует определения характеристик исследуемой ситуации, объекта и предмета исследования, формирования исследовательских вопросов. *Следующий этап* требует сбора информации. *Третий этап* сопряжен с анализом и интерпретацией полученных данных. Второй и третий этапы могут быть повторяющимися на протяжении всего исследования вплоть до формулирования заключения и рекомендаций.

Наиболее активно используются три способа анализа данных в исследовании кейсов: *интерпретативный* (нацелен на выявление направлений и образцов поведения и пр.), *структурный* (исследования данных для нахождения существенных единиц анализа, концептов, которые представляют собой структурные образцы более общего порядка; подобный анализ позволяет связать конкретный случай с общими теоретическими построениями) и *рефлексивный* (обработка данных основана на собственной рефлексии исследователя; данный тип анализа достигается полным воссозданием

ситуации, дополненным значениями и смыслами, привнесенных как самим исследователем, так и включенными в процесс анализа лицами).

Yin (1994) разработал модель кейс-стади, которая по своей структуре и логике построения приближается к количественным методам: (1) работа с разнообразными данными, (2) формулирование исследовательских вопросов качественного характера и теоретических предположений, (3) построение программы исследования (наиболее выигрышными являются спорные теории, которые позволяют конкретизировать программу исследования; (4) использование конкурирующих теорий, позволяющее осуществить их проверку в рамках отдельного кейса; (5) уточнение сути противоречий в теориях, способствующее более точной постановке проблемы в кейсе. Данная модель придает формальную строгость методике, при этом сохраняя сущность качественного подхода. Модель в качестве *первого шага* предполагает создание программы/протокола исследования. *Вторым шагом* является, собственно, активная фаза исследования, подразделяющаяся на три взаимосвязанных подстадии (например, *подготовка к сбору данных, подготовка вопросников, интервьюирование*). Основным содержанием этого шага являются полевые исследования, результатом которых становятся личные наблюдения исследователя, описание ситуации, ответы на поставленные вопросы. Источниками получения данных являются интервью, прямое и включенное наблюдение, изучение официальных документов, исторических и архивных данных, а также описание физических объектов, имеющих отношение к предмету исследования. Этап сбора данных обязательно должен сопровождаться *использованием множества источников данных* (повышение надежности информации), *систематизацией собранных данных* (создание базы данных в рамках конкретного кейса), *использованием логических элементов анализа и построением цепи доказательств* уже на этапе сбора данных. Подобный подход позволяет упорядочить аккумулированную информацию, и уже на стадии ее сбора проводить (в случае необходимости) корректировку исследовательских задач с тем, чтобы не упустить ни один из значимых аспектов кейса.

Надежность информации в качественных исследованиях зависит от процедуры сбора данных, оказывающей влияние на конструктивную, внешнюю и внутреннюю валидность всего исследования.

Kitchenham et al. (1995) отмечает, что кейс-стади легче планировать, чем эксперименты, но их труднее интерпретировать и трудно обобщать. Отсюда требование протоколировать и фиксировать каждый шаг, проверять релевантность и достоверность источников информации. Эффективность представления результатов исследования определяется балансом описания и интерпретации. Представление результатов включает три компонента: *частичное описание, общее описание и интерпретативные комментарии*. Частичное описание включает цитаты из интервью и рабочих (полевых) записей; общее описание подразумевает комментарии к приведенным цитатам и выдержкам из рабочих записей, а также описание общего концепта исследования; интерпретативные комментарии представляют собой пояснение связей отдельных цитат с общими положениями (Жеребцов, 2004).

Триангуляция данных (проверка одних данных другими, получаемыми из различных источников, но касающимися одной ситуации) кейс-стади позволяет упрочить валидность исследования. Существуют различные типы триангуляций: *триангуляция источников данных* (исследователь пытается установить повторяемость ситуации в другом контексте событий); *триангуляция исследователей* (исследователи рассматривают одну и ту же ситуацию с различных теоретических позиций); *триангуляция теорий* (использование различных теорий для интерпретации результатов исследования); методологическая триангуляция (проверка результатов исследования другими валидными методами) и др. (Denzin, 1984).

Третий шаг — стадия анализа полученной информации, требует построения системы логически обоснованных доказательств с описанием их причинно-следственных механизмов. Анализ данных требует их проверки, категоризации, систематизации для установки связи с гипотезами исследования. Yin (1994) предложил четыре типа аналитических стратегий анализа данных: (1) построение образцов (паттернов), в рамках которых происходит сравнение реального примера, основанного на эмпирических данных, с мысленно сконструированным; (2) построение цепи объяснений (выработка каузальных предположений, подтверждающих связь между конкретным случаем и уже существующей понятийной моделью, или же построение этой понятийной модели); (3) изучение

феномена на протяжении времени (метод временных рядов); (4) метод логической модели соединяет воедино методы моделирования (конструирования образцов) и анализа временных рядов.

Четвертый шаг — подготовка отчета о проведенном исследовании и представление его результатов.

Протокол кейс-стади

До начала реализации кейс-стади необходимо подготовить протокол его реализации. Протокол детально описывает все этапы и процедуры исследования, является программой исследования и призван выполнять две основные функции: (1) определять и фиксировать каждый шаг исследователя; (2) представлять доказательство надежности полученной информации и выводов (Yin, 1994). Протокол не только оптимизирует планирование всего исследования, но и позволяет выявить проблемы на всех его этапах. Рекомендуемые разделы протокола:

- Описание исследования, формулирование его целей, исследовательских вопросов, анализ исследуемой темы;
- План работы на исследовательской площадке — этапы исследовательских активностей, доступ к источникам данных;
- Формулирование вопросов, которые исследователь должен принять во внимание в процессе сбора данных;
- Руководство для составления отчета об исследовании: план и формат отчета.

Brereton et al. (2008) предложен протокол и базовый шаблон исследования кейс-стади (см. Приложение А). Построение протокола из шаблона включает в себя не только заполнение разделов шаблона, но и проверку релевантности раздела шаблона в конкретном контексте. Основным преимуществом использования шаблона является облегчение в управлении и анализе исследования. Еще одно преимущество протокола заключается в том, что при изменении обстоятельств реализации кейса исследователю легче определиться, как скорректировать исследование для рассмотрения этих обстоятельств в соответствии с планом исследования.

Kitchenham et al. (1995) разработан контрольный список вопросов для планирования кейс-стади, по-

зволяющих проанализировать готовность к исследованию данного типа.

Контекст кейс-стади

1. Каковы цели вашего исследования?
2. С какими данными вы будете сравнивать свои результаты?
3. Существуют ли внешние ограничения?

Формулирование гипотезы

4. Какая гипотеза будет использована в процессе исследования?
5. Каким образом будет производиться измерение переменных параметров?

Планирование

6. Какие субъекты и объекты изучаются при данном исследовании?
7. Какие методики будут использованы и в какое время?
8. На каком этапе будут измеряться переменные?

Проверка гипотезы

9. Можете ли вы собрать данные, необходимые для расчета выбранных показателей?
10. Можете ли вы четко определить факторы, которые вы хотите оценить, и изолировать их от других факторов?
11. Правильно ли используются методы и инструменты?
12. Если вы намерены интегрировать методы или инструменты в свой процесс исследования, может ли это повлиять на результат?
13. Какие переменные состояния объекта или его характеристики наиболее важны для вашего исследования?
14. Нужно ли вам обобщать результаты и переносить на другие исследования? Если да, то является ли ваше исследование типичным?
15. Нужен ли вам высокий уровень достоверности при исследовании? Если да, то нужно ли вам проводить множественные исследования?

Анализ результатов

16. Как вы собираетесь анализировать результаты исследования?
17. Обеспечит ли данный вид исследования необходимый уровень достоверности?

Рекомендуется планировать форму отчета по результатам реализации кейс-стади еще до его на-

чала, что позволит обеспечить его целостность и не упустить важные аспекты (Feagin et al., 1991).

Статус жанра в контексте научной коммуникации

В контексте кейс-стади не существует разделения на важные и неважные факты. Любое событие может интерпретироваться в качестве кейса и может быть подвергнуто аналитической дискуссии (Тищенко, 2015; Andersson & Runeson, 2007). В ситуации корректного набора необходимых компетенций исследователя кейс-стади способен выступать в качестве эффективного инструмента для сбора и концептуализации подробной информации о конкретных объектах.

В научном сообществе существует пять распространенных заблуждений о значимости кейс-стади: (1) общее, теоретическое знание более ценно, чем конкретное знание; (2) нельзя обобщать на основе отдельного случая, поэтому тематическое исследование не может способствовать научному развитию; (3) кейсы наиболее полезны для генерации гипотез, то есть на первом этапе общего исследовательского процесса, в то время как другие методы более подходят для проверки гипотез и построения теории; (4) кейс-стади имеет тенденцию к подтверждению предвзятых представлений исследователя; (5) часто бывает трудно обобщить и развить общие положения и теории на основе конкретного случая (Flyvbjerg, 2006).

Многочисленные исследования продемонстрировали, что кейс-стади способствует развитию науки и в качестве самостоятельной методологии, и в качестве дополнения в составе других методологий исследования (Flyvbjerg, 2006). Вместе с тем отсутствие сбалансированного подхода к формированию выборки исследования (например, слишком ограниченная выборка, сформированная случайным образом без предварительного анализа), обоснованию избранных источников аккумулирования данных и пр., как и в других методах исследования, значительно ослаблят кейс (Seawright & Gerring, 2008).

Ряд исследователей утверждают, что метод изучения кейсов может использоваться для прогнозирования развития ситуаций и процессов (Seaman, 1999). Исследование кейсов используется для раз-

работок теоретических концепций, для проверки и подтверждения ранее разработанных теорий, для выдвижения гипотез, а также для изучения нетипичных кейсов (Yin, 1994; Flyvbjerg, 2006; Lijphart, 1971). В кейс-стади исследователь намеренно ищет противоречия в полученных данных с целью обнаружения более достоверной информации об изучаемом объекте (Пискунова, 2021).

Структурирование рукописи, описывающей результаты кейс-стади

Поскольку процесс проведения кейс-стади включает в себя этапы, традиционные для любого научного исследования, а именно: определение цели и задач, сбор, анализ, интерпретация полученных данных, подготовка отчета о проведенном исследовании, то и структура его рукописи включает в себя подразделы, сходные с подразделами оригинальных, исследовательских статей.

В названии, как правило, указывается тип статьи — «case study», например: (1) «Brazilian consumer's perception of food processing technologies: A case study with fruit juice» [Восприятие бразильским потребителем технологий переработки пищевых продуктов: кейс-стади на примере фруктового сока] (Martins et al., 2019), (2) Pesticide residue profiles in bee bread and pollen samples and the survival of honeybee colonies — a case study from Luxembourg [Профили остаточных количеств пестицидов в образцах перги и пыльцы и выживаемость колоний медоносных пчел — кейс-стади из Люксембурга] (Beyer et al., 2018), (3) Potassium bromate as a food additive: a case study of Tunisian breads [Бромат калия как пищевая добавка: кейс-стади по изучению хлеба из Туниса] (El Ati-Hellal et al., 2018). Читатель должен четко понимать, с каким жанром научной коммуникации он имеет дело.

Проанализируем структуру кейс-стади на примере статьи «Brazilian consumer's perception of food processing technologies: A case study with fruit juice» [Восприятие бразильским потребителем технологий переработки пищевых продуктов: кейс-стади на примере фруктового сока] (Martins et al., 2019).

В теле аннотации четко вычленяются традиционные и для эмпирической статьи подсекции: (1) Введение, (2) Цель исследования, (3) Материалы и ме-

тоды, (4) Результаты, (5) Выводы. Количество слов в аннотации — 200–250.

(1) *Новые технологии обработки набирают популярность во всем мире благодаря ряду преимуществ, связанных с безопасностью пищевых продуктов, увеличением срока годности, питательными свойствами и сенсорными ощущениями. Однако потребители могут с осторожностью относиться к продуктам питания, произведенным с использованием этих технологий.* (2) *В данном контексте целью исследования является анализ спонтанных ассоциаций потребителей, связанных с фруктовыми соками, переработанными с использованием различных технологий, и изучение влияния неофобии пищевых технологий на эти ассоциации.* (3) *Было проведено исследование с участием 423 бразильских потребителей, чтобы посредством словесных ассоциаций оценить, как они воспринимают пять видов соков (свежевыжатый сок; сок холодного отжима; пастеризованный сок; сок, прошедший обработку высоким давлением; и сок, полученный без применения высокого давления).* Участники также заполнили шкалу на выявление неофобии к пищевым технологиям (FTNS) и ответили на ряд социально-демографических вопросов. (4) *Результаты показали, что отношение потребителей к технологиям переработки сока в основном определялось характером процесса получения сока. Свежие соки холодного отжима и соки, производимые без давления, в основном ассоциировались со здоровыми и натуральными продуктами, в то время как технологии переработки в восприятии рецепентов трансформировали сок в переработанный продукт с вредными для здоровья свойствами.* (5) *Неофобия в отношении пищевых технологий смягчила восприятие потребителями технологий переработки соков. Интересно, что потребители с неофобией к высоким технологиям воспринимали соки, обработанные как по традиционным, так и по инновационным технологиям, более негативно, нежели потребители с низким или средним уровнем неофобии.*

Структура тела статьи с описанием кейс-стади также следует секциям, характерным для оригинального эмпирического исследования: Введение, Материалы и методы, Результаты, Обсуждение результатов, Выводы.

Во Введении авторы описывают актуальность и степень изученности проблемы, описывая параллельно инновации в области переработки соков, ха-

рактеристики потребителей соков, предпочтения потребителей при покупке пищевых продуктов, пищевую неофобию, которая представляет собой нежелание или неприятие некоторыми потребителями новых или незнакомых продуктов. Данные тематические блоки представлены авторами в качестве основных аспектов в изучении исследуемой проблематики. Далее авторы локализуют и аргументируют пробел в знании, который в дальнейшем устранит данное исследование (проанализировав положительные и отрицательные ассоциации с пищевыми технологиями переработки и степенью неофобии к новым высокотехнологичным продуктам и маркетинговым стратегиям), и обосновывают его цели и вопросы (причины неприятия потребителями новых, высокотехнологичных продуктов; особенности в восприятии технологий переработки у потребителей с разными социально-демографическими характеристиками).

Секция *Материалы и методы* представлена в статье подсекциями:

- (1) Участники (участники были отобраны в социальной сети, также проводились опросы непосредственно в супермаркетах Рио-де-Жанейро).
- (2) Процедура исследования (участники ответили на вопросы, представленные в виде таблицы. Участникам было предложено выполнить задание на ассоциацию слов, связанных с технологическими методами переработки соков: свежевыжатый сок, пастеризованный сок, сок холодного отжима и др. Выбор был основан на технологиях переработки сока, доступных на бразильском рынке. Участникам было предложено записать по четыре слова, ассоциации, мысли или чувства, которые приходят на ум при обдумывании каждого метода переработки. После завершения задания по ассоциации слов им было предложено дополнить португальскую версию шкалы неофобии пищевых технологий (Cox & Evans, 2008), которая уже была апробирована на бразильских потребителях (Vidigal et al., 2014).
- (3) Анализ данных, описывающий инструменты анализа и валидации данных, также содержит несколько подсекций:
 - Задание на ассоциацию слов.
 - Шкала неофобии пищевых технологий (FTNS).
 - Сравнение групп с неофобией к пищевым технологиям.

Секция *Результаты* состоит из трех подсекций и содержит систематизированное описание основных результатов кейс-стади:

- (1) *Ассоциации потребителей, связанные с фруктовыми соками, полученными с использованием различных технологий;*
- (2) *Результаты факторного анализа шкалы неофобии пищевых технологий;*
- (3) *Влияние неофобии пищевых технологий на ассоциации потребителей с фруктовыми соками, полученными с использованием различных технологий переработки.*

В секции *Обсуждение полученных результатов* проводится анализ обработанных данных и поясняются причины общего и особенного у полученных результатов. Например, анализ ассоциации слов позволил сравнить представление о восприятии потребителями новых высокотехнологичных продуктов (фруктовых соков), созданных с помощью современных технологий. Результаты показали, что участники в основном ассоциировали концепцию свежего сока с положительными характеристиками продукта, который казался более натуральным, свежим, полезным и вкусным по сравнению с переработанным продуктом. Натуральный — это атрибут, который обычно считается положительным для потребителей и часто используется как противоположность переработанным пищевым продуктам (Coppola & Verneau, 2018). Свежевыжатый сок ассоциировали с продуктом без консервантов и без добавленного сахара. Эти характеристики могут играть важную роль в стимулировании потребительских предпочтений и выбора. Такое отношение может быть связано с повышением осведомленности потребителей о пищевых продуктах и их влиянии на состояние здоровья.

Переработанные пищевые продукты часто связывали с добавлением консервантов и добавок одновременно, что считается негативным следствием технического развития (Lee et al., 2015). Низкая осведомленность и отсутствие знаний порождают неуверенность и беспокойство среди потребителей (Lee et al., 2015; Mireaux et al., 2007; Deliza et al., 2003). Авторы делают вывод, что в целом информация о преимуществах новых технологий полезна для создания позитивного отношения к продуктам высокотехнологичной переработки. Авторы статьи согласны с утверждением, что пищевая промышленность и ученые в области пищевой промышленности долж-

ны предоставить доказательства, которые убеждают потребителей в том, что использование новых технологий безопасно (Sonne et al., 2012). Авторы делают вывод, что сообщение о неиспользовании конкретной технологии может иметь положительный эффект в зависимости от восприятия.

Потребители с более высокой степенью неофобии связывали с промышленной переработкой отрицательные характеристики продукта. В соответствии с результатами предыдущих исследований группа с высокой неофобией состояла в основном из женщин, пожилых потребителей и потребителей с недостаточным уровнем образования. В целом, женщины реже положительно оценивают новые технологии в пищевой промышленности, чем мужчины (Cardello, 2003; Cardello et al., 2007; Ronteltap et al., 2007). Согласно исследованиям Rozin (1999), этот аспект может быть связан с различными характеристиками, которые женщины обычно приписывают продуктам питания. Vidigal et al. (2015) сообщили, что пожилые люди демонстрировали осторожное поведение, употребляя, по их мнению, более безопасные и привычные продукты. Кроме того, авторы предположили, что негативное восприятие новых технологий среди респондентов с более низким доходом и уровнем образования может быть связано с отсутствием знаний о новых продуктах питания и передовых технологиях.

В секции *Выводы* авторы оценивают, насколько успешным оказалось решение кейс-стади, и удалось ли достичь цели и ответить на вопросы исследования, подводят итоги, планируют шаги по использованию полученных результатов в реальной практике (с целью повышения осведомленности по-

потребителей о технологиях переработки), а также сообщают о направлении дальнейших исследований в рамках заявленной проблематики (... более склонные к неофобии потребители воспринимали соки, обработанные с использованием как обычных, так и инновационных технологий, более негативно, чем те, у кого низкий или средний уровень неофобии. Дальнейшие исследования могут помочь прояснить мотивы, лежащие в основе негативного отношения к переработанным продуктам питания потребителей с высокотехнологичной неофобией).

Проведенный анализ показывает, что структура кейс-стади сходна с структурой эмпирической статьи. Жанр научной коммуникации кейс-стади позволяет провести глубокий анализ конкретного случая и представляет подробную картину взаимосвязи переменных кейса (как они влияют друг на друга и при каких условиях). Изучение кейсов позволяет понять категорию явления, к которой оно принадлежит. Кейс предоставляет средства для проверки предположения или гипотезы, а также для создания новой гипотезы, и позволяет понять причину явления, выявив закономерности.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Тихонова Е. В.: концептуализация, разработка методологии исследования, курирование данных, научное руководство исследованием, создание рукописи и её редактирование.

Шленская Н. М.: подготовка черновика рукописи, создание рукописи и её редактирование.

ЛИТЕРАТУРА

- Варганова, Г. В. (2006). Кейс-стадис как метод научного исследования. *Библиосфера*, (2), 36–42.
- Михайлов, А. С. (2014). Кейс-стади — исследовательская стратегия или мета-метод? *Экономика и социум*, (3–2), 543–551.
- Тищенко, Н. В. (2015). Особенности применения метода кейс-стади в культурологических исследованиях. *Теория и практика общественного развития*, (10), 197–199.
- Пискунова, Е. В. (2021). Изучение кейса как метод гуманистического исследования. *Вестник Череповецкого государственного университета*, (2), 193–201.
- Полухина, Е. В. (2014). Case-study как исследовательская стратегия. В *Проблемы и перспективы использования метода Case-study: Междисциплинарный опыт: Сборник научных статей по итогам междисциплинарного научного семинара кадрового резерва* (с. 5–22). СПб.: Высшая школа экономики.
- Жеребцов, М. В. (2004). Метод «case-study» в прикладных политологических исследованиях. *Вестник Московского университета. Управление (государство и общество)*, (1), 1–16.
- Anastas, J. W., & Macdonald, M. L. (1994) *Research design for social work and human services*. New York, Lexington.
- Andersson, C., & Runeson, P. (2007). A spiral process model for case studies on software quality monitoring — method and metrics. *Software Process: Improvement and Practice*, 12(2), 125–140. <https://doi.org/10.1002/spip.311>

- Beyer, M., Lenouvel, A., Guignard, C., Eickermann, M., Clermont, A., Kraus, F., & Hoffmann, L. (2018). Pesticide residue profiles in bee bread and pollen samples and the survival of honeybee colonies—a case study from Luxembourg. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25(32), 32163–32177. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3187-4>
- Brereton, P., Kitchenham, B., Budgen, D., & Li, Z. (2008). Using a protocol template for case study planning. In Proceedings of the 12th international conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (pp. 41–48). BCS Learning & Development Ltd., Swindon.
- Denzin, N. (1984). *The research act*. Prentice Hall.
- Eisenhardt, K. M. (1991). Better stories and better constructs: The case for rigor and comparative logic. *Academy of Management Review*, 16(3), 620–627. <https://doi.org/10.2307/258921>
- El Ati-Hellal, M., Doggui, R., Krifa, Y., & El Ati, J. (2018). Potassium bromate as a food additive: A case study of Tunisian breads. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25(3), 2702–2706. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0712-9>
- Feagin, J., Orum, A., & Sjoberg, G. (Eds.). (1991). *A case for case study*. Chapel Hill, NC: University of North Carolina Press.
- Flyvbjerg, B. (2006). Five misunderstandings about case-study research. *Qualitative Inquiry*, 12(2), 219–245. <https://doi.org/10.1177/1077800405284363>
- Gerring, J. (2007). *Case Study Research: Principles and Practices*. Cambridge University Press.
- Gomm, R., Hammersley, M., & Foster, P. (2000). *Case study method: Key issues, key texts*. London: Sage Publications.
- Host, M., & Runeson, P. (2007). Checklists for software engineering case study research. In *First international symposium on empirical software engineering and measurement* (pp. 479–481). Madrid: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ESEM.2007.46>
- Kitchenham, B., Pickard, L., & Pfleeger, S. L. (1995). Case studies for method and tool evaluation. *IEEE Software*, 12(4), 52–62. <https://doi.org/10.1109/52.391832>
- Klein, H. K., & Myers, M. D. (1999). A set of principles for conducting and evaluating interpretative field studies in information systems. *MIS Quarterly*, 23(1), 67–88. <https://doi.org/10.2307/249410>
- Lethbridge, T. C., Sim, S. E., & Singer, J. (2005). Studying software engineers: data collection techniques for software field studies. *Empirical Software Engineering*, 10(3), 311–341. <https://doi.org/10.1007/s10664-005-1290-x>
- Lijphart, A. (1971). Comparative politics and comparative method. *American Political Science Review*, 65(3), 682–693.
- Martins, I. B. A., Oliveira, D., Rosenthal, A., Ares, G., & Deliza, R. (2019). Brazilian consumer's perception of food processing technologies: A case study with fruit juice. *Food Research International*, 125, Article 108555. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108555>
- Merriam, C. (1991). *Case Study research in education: A qualitative approach*. Jossey-Bass.
- Ridder, H. G. (2017). The theory contribution of case study research designs. *Business Research*, 10, 281–305. <https://doi.org/10.1007/s40685-017-0045-z>
- Robson, C. (2002). *Real World Research*. Blackwell (2nd ed.). Wiley.
- Runeson, P., & Höst, M. (2009). Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering. *Empirical Software Engineering*, 14, Article 131. <https://doi.org/10.1007/s10664-008-9102-8>
- Seaman, C. (1999). Qualitative methods in empirical studies of software engineering. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 25(4), 557–572. <https://doi.org/10.1109/32.799955>
- Seawright, J., & Gerring, J. (2008). Case selection techniques in case study research: A menu of qualitative and quantitative options. *Political Research Quarterly*, 61(2), 294–308. <https://doi.org/10.1177/1065912907313077>
- Tellis, W. (1997). Application of a case study methodology. *The Qualitative Report*, 3(3), 1–19. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/1997.2015>
- Yin, R. K. (1984). *Case study research. Design and methods*. Beverly Hills, CA: Sage.
- Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and methods* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Yin, R. K. (2014). *Case study research: Design and methods* (5th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Zainal, Z. (2007). Case study as a research method. *Jurnal Kemanusiaan*, 5(1), 1–6.

REFERENCES

- Mikhailov, A. S. (2014). Keis-stadi — issledovatel'skaya strategiya ili meta-metod [Case study — research strategy or meta-method]? *Ekonomika i sotsium [Economy and Society]*, (3–2), 543–551.
- Piskunova, E. V. (2021). Izuchenie keisa kak metod gumanitarnogo issledovaniya [Case study as a method of humanitarian research]. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Cherepovets State University]*, (2), 193–201.
- Polukhina, E. V. (2014). Case-study kak issledovatel'skaya strategiya [Case-study as a research strategy]. In *Problemy i perspektivy ispol'zovaniya metoda Sase-study: mezhdisciplinarnyi opyt: Sbornik nauchnykh statei po itogam mezhdisciplinarnogo nauchnogo seminara kadrovogo rezerva [Problems and prospects of using the Case-study method: interdisciplinary experience: A collection of scientific articles based on the results of an interdisciplinary scientific seminar of the personnel reserve]* (pp. 5–22). S-Petersburg: Vyschaya shkola ekonomiki.
- Tishchenko, N. V. (2015). Osobennosti primeneniya metoda keis-stadi v kul'turologicheskikh issledovaniyakh [Features of the use of the case study method in cultural stud-

- ies]. *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya [Theory and Practice of Social Development]*, (10), 197–199.
- Varganova, G. V. (2006). Keis-stadis kak metod nauchnogo issledovaniya [Case studies as a method of scientific research]. *Bibliosfera [Bibliosphere]*, (2), 36–42.
- Zherebtsov, M. V. (2004). Metod “case-study” v prikladnykh politologicheskikh issledovaniyakh [The “case-study” method in applied political science research]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Upravlenie (gosudarstvo i obshchestvo) [Bulletin of the Moscow University. Governance (State and society)]*, (1), 1–16.
- Anastas, J. W., & Macdonald, M. L. (1994) *Research design for social work and human services*. New York, Lexington.
- Andersson, C., & Runeson, P. (2007). A spiral process model for case studies on software quality monitoring – method and metrics. *Software Process: Improvement and Practice*, 12(2), 125–140. <https://doi.org/10.1002/spip.311>
- Beyer, M., Lenouvel, A., Guignard, C., Eickermann, M., Clermont, A., Kraus, F., & Hoffmann, L. (2018). Pesticide residue profiles in bee bread and pollen samples and the survival of honeybee colonies—a case study from Luxembourg. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25(32), 32163–32177. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3187-4>
- Brereton, P., Kitchenham, B., Budgen, D., & Li, Z. (2008). Using a protocol template for case study planning. In Proceedings of the 12th international conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (pp. 41–48). BCS Learning & Development Ltd., Swindon.
- Denzin, N. (1984). *The research act*. Prentice Hall.
- Eisenhardt, K. M. (1991). Better stories and better constructs: The case for rigor and comparative logic. *Academy of Management Review*, 16(3), 620–627. <https://doi.org/10.2307/258921>
- El Ati-Hellal, M., Doggui, R., Krifa, Y., & El Ati, J. (2018). Potassium bromate as a food additive: A case study of Tunisian breads. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25(3), 2702–2706. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0712-9>
- Feagin, J., Orum, A., & Sjoberg, G. (Eds.). (1991). *A case for case study*. Chapel Hill, NC: University of North Carolina Press.
- Flyvbjerg, B. (2006). Five misunderstandings about case-study research. *Qualitative Inquiry*, 12(2), 219–245. <https://doi.org/10.1177/1077800405284363>
- Gerring, J. (2007). *Case Study Research: Principles and Practices*. Cambridge University Press.
- Gomm, R., Hammersley, M., & Foster, P. (2000). *Case study method: Key issues, key texts*. London: Sage Publications.
- Host, M., & Runeson, P. (2007). Checklists for software engineering case study research. In *First international symposium on empirical software engineering and measurement* (pp. 479–481). Madrid: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ESEM.2007.46>
- Kitchenham, B., Pickard, L., & Pfleeger, S. L. (1995). Case studies for method and tool evaluation. *IEEE Software*, 12(4), 52–62. <https://doi.org/10.1109/52.391832>
- Klein, H. K., & Myers, M. D. (1999). A set of principles for conducting and evaluating interpretative field studies in information systems. *MIS Quarterly*, 23(1), 67–88. <https://doi.org/10.2307/249410>
- Lethbridge, T. C., Sim, S. E., & Singer, J. (2005). Studying software engineers: data collection techniques for software field studies. *Empirical Software Engineering*, 10(3), 311–341. <https://doi.org/10.1007/s10664-005-1290-x>
- Lijphart, A. (1971). Comparative politics and comparative method. *American Political Science Review*, 65(3), 682–693.
- Martins, I. B. A., Oliveira, D., Rosenthal, A., Ares, G., & Deliza, R. (2019). Brazilian consumer’s perception of food processing technologies: A case study with fruit juice. *Food Research International*, 125, Article 108555. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108555>
- Merriam, C. (1991). *Case Study research in education: A qualitative approach*. Jossey-Bass.
- Ridder, H. G. (2017). The theory contribution of case study research designs. *Business Research*, 10, 281–305. <https://doi.org/10.1007/s40685-017-0045-z>
- Robson, C. (2002). *Real World Research*. Blackwell (2nd ed.). Wiley.
- Runeson, P., & Höst, M. (2009). Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering. *Empirical Software Engineering*, 14, Article 131. <https://doi.org/10.1007/s10664-008-9102-8>
- Seaman, C. (1999). Qualitative methods in empirical studies of software engineering. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 25(4), 557–572. <https://doi.org/10.1109/32.799955>
- Seawright, J., & Gerring, J. (2008). Case selection techniques in case study research: A menu of qualitative and quantitative options. *Political Research Quarterly*, 61(2), 294–308. <https://doi.org/10.1177/1065912907313077>
- Tellis, W. (1997). Application of a case study methodology. *The Qualitative Report*, 3(3), 1–19. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/1997.2015>
- Yin, R. K. (1984). *Case study research. Design and methods*. Beverly Hills, CA: Sage.
- Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and methods* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Yin, R. K. (2014). *Case study research: Design and methods* (5th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Zainal, Z. (2007). Case study as a research method. *Jurnal Kemanusiaan [Journal Of Humanities]*, 5(1), 1–6.

Источники из анализируемой статьи

- Cardello, A. V. (2003). Consumer concerns and expectations about novel food processing technologies: Effects on product liking. *Appetite*, 40(3), 217–233. [https://doi.org/10.1016/S0195-6663\(03\)00008-4](https://doi.org/10.1016/S0195-6663(03)00008-4)
- Cardello, A. V., Schutz, H. G., & Lesher, L. L. (2007). Consumer perceptions of foods processed by innovative and emerging technologies: A conjoint analytic study. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(1), 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2006.07.002>
- Coppola, A., Verneau, F., & Caracciolo, F. (2014). Neophobia in food consumption: An empirical application of the

- FTNS scale in southern Italy. *Italian Journal of Food Science*, 26(1), 81–90.
- Cox, D. N., & Evans, G. (2008). Construction and validation of a psychometric scale to measure consumers' fears of novel food technologies: The food technology neophobia scale. *Food Quality and Preference*, 19(8), 704–710. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2008.04.005>
- Deliza, R., & Ares, G. (2018). Consumer perception of novel technologies. In *Fruit preservation – novel and conventional technologies* (vol. 1, pp. 1–20). New York: Springer.
- Deliza, R., Rosenthal, A., & Silva, A. L. S. (2003). Consumer attitude towards information on non conventional technology. *Trends in Food Science & Technology*, 14(1), 43–49. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00240-6](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00240-6)
- Lee, P. Y., Lusk, K., Mirosa, M., & Oey, I. (2015). Effect of information on Chinese consumers' perceptions and purchase intention for beverages processed by high pressure processing, pulsed-electric field and heat treatment. *Food Quality and Preference*, 40, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.08.006>
- Mireaux, M., Cox, D. N., Cotton, A., & Evans, G. (2007). An adaptation of repertory grid methodology to evaluate Australian consumers' perceptions of food products produced by novel technologies. *Food Quality and Preference*, 18(6), 834–848. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2007.01.012>
- Ronteltap, A., van Trijp, J. C. M., Renes, R. J., & Frewer, L. J. (2007). Consumer acceptance of technology-based food innovations: Lessons for the future of nutrigenomics. *Appetite*, 49(1), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2007.02.002>
- Rozin, P., Fischler, C., Imada, S., Sarubin, A., & Wrzesniewski, A. (1999). Attitudes to food and the role of food in life in the U.S.A., Japan, Flemish Belgium and France: Possible implications for the diet–health debate. *Appetite*, 33(2), 163–180. <https://doi.org/10.1006/appet.1999.0244>
- Sonne, A. M., Grunert, K. G., Veflen, O. N., Granli, B. S., Szabó, E., & Banati, D. (2012). Consumers' perceptions of HPP and PEF food products. *British Food Journal*, 114(1), 85–107. <https://doi.org/10.1108/00070701211197383>
- Vidigal, M. C. T. R., Minim, V. P. R., Moreira, R. T., Pires, A. C. S., Ferreira, M. A. M., Gonçalves, A. C. A., & Minim, L. A. (2014). Tradução e validação para a língua portuguesa da escala de neofobia em relação à tecnologia de alimentos: Food technology neophobia scale. *Ciência Rural*, 44, 174–180. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013005000150>
- Vidigal, M. C. T. R., Minim, V. P. R., Simiqueli, A. A., Souza, P. H. P., Balbino, D. F., & Minim, L. A. (2015). Food technology neophobia and consumer attitudes toward foods produced by new and conventional technologies: A case study in Brazil. *LWT – Food Science and Technology*, 60(2, part 1), 832–840. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.058>
- References**
- Cardello, A. V. (2003). Consumer concerns and expectations about novel food processing technologies: Effects on product liking. *Appetite*, 40(3), 217–233. [https://doi.org/10.1016/S0195-6663\(03\)00008-4](https://doi.org/10.1016/S0195-6663(03)00008-4)
- Cardello, A. V., Schutz, H. G., & Lesher, L. L. (2007). Consumer perceptions of foods processed by innovative and emerging technologies: A conjoint analytic study. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(1), 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2006.07.002>
- Coppola, A., Verneau, F., & Caracciolo, F. (2014). Neophobia in food consumption: An empirical application of the FTNS scale in southern Italy. *Italian Journal of Food Science*, 26(1), 81–90.
- Cox, D. N., & Evans, G. (2008). Construction and validation of a psychometric scale to measure consumers' fears of novel food technologies: The food technology neophobia scale. *Food Quality and Preference*, 19(8), 704–710. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2008.04.005>
- Deliza, R., & Ares, G. (2018). Consumer perception of novel technologies. In *Fruit preservation – novel and conventional technologies* (vol. 1, pp. 1–20). New York: Springer.
- Deliza, R., Rosenthal, A., & Silva, A. L. S. (2003). Consumer attitude towards information on non conventional technology. *Trends in Food Science & Technology*, 14(1), 43–49. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00240-6](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00240-6)
- Lee, P. Y., Lusk, K., Mirosa, M., & Oey, I. (2015). Effect of information on Chinese consumers' perceptions and purchase intention for beverages processed by high pressure processing, pulsed-electric field and heat treatment. *Food Quality and Preference*, 40, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.08.006>
- Mireaux, M., Cox, D. N., Cotton, A., & Evans, G. (2007). An adaptation of repertory grid methodology to evaluate Australian consumers' perceptions of food products produced by novel technologies. *Food Quality and Preference*, 18(6), 834–848. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2007.01.012>
- Ronteltap, A., van Trijp, J. C. M., Renes, R. J., & Frewer, L. J. (2007). Consumer acceptance of technology-based food innovations: Lessons for the future of nutrigenomics. *Appetite*, 49(1), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2007.02.002>
- Rozin, P., Fischler, C., Imada, S., Sarubin, A., & Wrzesniewski, A. (1999). Attitudes to food and the role of food in life in the U.S.A., Japan, Flemish Belgium and France: Possible implications for the diet–health debate. *Appetite*, 33(2), 163–180. <https://doi.org/10.1006/appet.1999.0244>
- Sonne, A. M., Grunert, K. G., Veflen, O. N., Granli, B. S., Szabó, E., & Banati, D. (2012). Consumers' perceptions of HPP and PEF food products. *British Food Journal*, 114(1), 85–107. <https://doi.org/10.1108/00070701211197383>
- Vidigal, M. C. T. R., Minim, V. P. R., Simiqueli, A. A., Souza, P. H. P., Balbino, D. F., & Minim, L. A. (2015). Food technology neophobia and consumer attitudes toward foods produced by new and conventional technologies: A case study in Brazil. *LWT – Food Science and Technology*, 60(2, part 1), 832–840. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.058>
- Vidigal, M. C. T. R., Minim, V. P. R., Simiqueli, A. A., Souza, P. H. P., Balbino, D. F., & Minim, L. A. (2015). Food technology neophobia and consumer attitudes toward foods produced by new and conventional technologies: A case study in Brazil. *LWT – Food Science and Technology*, 60(2, part 1), 832–840. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.058>

ПРИЛОЖЕНИЕ А: Шаблон протокола кейс-стади¹

1. История вопроса.
 - а) Выяснить, какие исследования по данной теме уже были опубликованы;
 - б) Определить основной исследовательский вопрос, рассматриваемый в данном исследовании;
 - в) Определить любые дополнительные исследовательские вопросы, которые будут рассмотрены.
2. Дизайн.
 - а) Определить, будут ли использоваться единичный или множественный кейс, встроенные (вложенный) или целостные (комплексные) планы, и показать логические связи между ними и вопросами исследования;
 - б) Описать объект исследования (например, новую методику тестирования, новую функцию в браузере);
 - в) Определить любые предложения или дополнительные вопросы, вытекающие из каждого исследовательского вопроса, и способы, которые будут использоваться для изучения поставленных задач;
3. Выбор кейса.
Критерии выбора кейса.
4. Методика кейс-стади и роли.
 - а) Методика проведения полевых исследований;
 - б) Роли членов исследовательской группы по работе над кейсом.
5. Сбор данных.
 - а) Определить данные, которые необходимо собрать;
 - б) Определить план сбора данных;
 - в) Определить, как данные будут храниться.
6. Анализ.
 - а) Определить критерии интерпретации результатов кейс-стади;
 - б) Определить, какие элементы данных используются для ответа на каждый исследовательский вопрос/дополнительный вопрос/предложение и как элементы данных будут объединены для ответа на вопросы;
 - в) Рассмотреть диапазон возможных результатов и определить альтернативные объяснения результатов, а также определить любую информацию, которая необходима для разграничения этих результатов;
7. г) Анализ должен проводиться по мере выполнения задач кейс-стади.
7. Обоснованность плана работы (Yin, 2003).
 - а) Общее: сверить план с пунктами контрольного списка (Höst & Runeson, 2007) для дизайна и плана сбора данных;
 - б) Проверить валидность — показать, что для изучаемых концепций запланированы правильные исследовательские стратегии. Действия для обеспечения этого включают использование нескольких источников доказательств, создание цепочек доказательств, экспертные оценки проектов протоколов и отчетов;
 - в) Внутренняя валидность — показать причинно-следственную связь между результатами и вмешательством (только для объяснительных или причинно-следственных исследований);
 - г) Внешняя валидность — определить область, на которую можно обобщить результаты исследования. Тактика включает использование теории для изучения отдельных случаев и использование исследований нескольких случаев для изучения результатов в различных контекстах.
8. Ограничения исследования.
Перечислить возможные проблемы, включая потенциальные конфликты интересов (т. е. те, которые присущи проблеме, а не вытекают из плана).
9. Отчетность.
Определить целевую аудиторию, связь с более крупным исследованиям (Yin, 2003 г.)
10. Расписание.
Запланировать время для всех основных шагов: планирование, сбор данных, анализ данных, подготовка отчетных документов. Примечание: сбор данных и анализ данных не будут последовательными этапами.
11. Приложения.
 - а) Валидация: отчет о результатах проверки плана по пунктам контрольного списка (Höst & Runeson, 2007);
 - б) Расхождения: уточнить во время проведения исследования, отмечая любые расхождения с предыдущими шагами.

¹ Brereton, P., Kitchenham, B., Budgen, D., & Li, Z. (2008). Using a protocol template for case study planning. In Proceedings of the 12th international conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (pp. 41–48). BCS Learning & Development Ltd., Swindon

УДК 663.91: 664.6: 664.1

Прогнозирование срока годности кондитерских изделий в условиях ускоренного хранения: обзор предметного поля

Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности – филиал Федерального научного центра пищевых систем пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Баженова Алла Евгеньевна

Адрес: 107023, г. Москва,
 Электрозаводская ул., д. 20, стр. 3
 E-mail: bajenova.a@mail.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:
 данные текущего исследования
 доступны по запросу
 у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
 Кондратьев, Н. Б., Руденко, О. С.,
 Осипов, М. В., & Баженова, А. Е. (2022).
 Прогнозирование срока годности
 кондитерских изделий в условиях
 ускоренного хранения: обзор пред-
 метного поля. *Хранение и переработка*
 сельхозсырья, (4), 22–39.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.354>

ПОСТУПИЛА: 15.08.2022

ПРИНЯТА: 07.10.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 14.10.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии
 конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена
 на основании Государственного
 задания: FGUS-2022-0007 «Научные
 основы формирования кондитерских
 изделий заданного пищевого состава
 как многофазных гетерогенных
 систем, в том числе с использованием
 кавитационных эффектов, и
 обоснование принципы обеспечения
 их безопасности».

АННОТАЦИЯ

Введение. Определение срока годности пищевых продуктов является длительной, сложной и трудоемкой задачей. Закономерности изменений качества в условиях ускоренного старения позволяют за короткий период спрогнозировать характер изменений при традиционном хранении изделий. При увеличении температуры хранения скорость изменений качества пищевых продуктов, в том числе кондитерских изделий существенно изменяется. Однако количественные математические зависимости таких изменений в зависимости от температуры для конкретных наименований кондитерских изделий представлены в литературных источниках недостаточно широко.

Цель. Изучение научных работ по вопросам прогнозирования срока годности, обобщение существующих данных по методологии оценки сохранности кондитерских изделий разных групп и сырья для их производства.

Материалы и методы. Для обзора использованы научные публикации российских и зарубежных авторов по вопросам прогнозирования сроков годности пищевых продуктов, полуфабрикатов и сырья для их изготовления в условиях «ускоренного старения». Поиск опубликованных статей, материалов конференций, диссертаций и монографий по исследуемой теме на русском и английском языках осуществлялся в базах данных Scopus и eLibrary.ru. В качестве метода исследования использовано обобщение результатов.

Результаты. Обобщены результаты работ российских и зарубежных ученых по вопросам прогнозирования сохранности шоколада, мучных и сахаристых кондитерских изделий с 1982 по 2021 гг. Скорость изменений пищевых качества продуктов в результате протекания микробиологических и окислительных процессов зависит от химического состава, свойств упаковочных материалов и условий хранения. При увеличении температуры значительно увеличивается скорость процессов порчи окислительных и микробиологических процессов порчи. Выявленные закономерности и установленные коэффициенты пересчета изменения содержания витаминов, перекисного числа в кондитерских изделиях при «ускоренном старении» по сравнению с условиями традиционного хранения позволяют управлять процессами порчи и разрабатывать мероприятия для гарантирования установленного срока годности.

Выводы. Авторы полагают, что модель Аррениуса является наиболее приемлемой для прогнозирования срока годности кондитерских изделий в условиях «ускоренного старения». Обобщены коэффициенты «ускоренного старения» по группам кондитерских изделий, полученные отечественными и зарубежными исследователями. Испытания продукции в условиях «ускоренного старения» позволяют сократить длительность исследований по сравнению со традиционными методами и могут быть использованы для оценки срока годности кондитерских изделий на предприятиях и в испытательных центрах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

кондитерские изделия, сырье, полуфабрикаты, шоколад, карамель, печенье, ускоренное хранение, прогнозирование срока годности



Forecasting the Shelf Life of Confectionery Products under Accelerated Storage Conditions: Scoping Review

All-Russian Scientific Research Institute of the Confectionery Industry, branch of the V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Alla E. Bazhenova

20/3, Elektrozavodskaya str.,
Moscow, 107023, Russian Federation
E-mail: babenova.a@mail.ru

FOR CITATIONS:

Kondratiev, N. B., Rudenko, O. S., Osipov, M. V., & Bazhenova, A. E. (2022). Forecasting the shelf life of confectionery products under accelerated storage conditions: Scoping review. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 22–39.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.354>

RECEIVED: 15.08.2022

ACCEPTED: 07.10.2022

PUBLISHED: 14.10.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FUNDING: The work was performed on the basis of State assignment: FGUS-2022-0007 "Scientific foundations of the formation of confectionery products of a given food composition as multiphase heterogeneous systems, including using cavitation effects, and substantiation of the principles of ensuring their safety".



ABSTRACT

Background. Determining the shelf life of food products is a long, complex and time-consuming task. The regularities of quality changes in conditions of accelerated aging make it possible to predict the nature of changes in the traditional storage of products in a short period. With an increase in the storage temperature, the rate of changes in the quality of food products, including confectionery, changes significantly. However, quantitative mathematical dependences of such changes depending on temperature for specific names of confectionery products are not widely presented in literary sources.

Purpose. The study of scientific papers on the issues of forecasting the shelf life, generalization of existing data on the methodology for assessing the safety of confectionery products of different groups and raw materials for their production.

Materials and Methods. The review uses scientific publications of Russian and foreign authors on the issues of forecasting the shelf life of food products, semi-finished products and raw materials for their manufacture in conditions of "accelerated aging". The search for published articles, conference materials, dissertations and monographs on the topic under study in Russian and English was carried out in the Scopus databases and eLibrary.ru . Generalization of the results was used as a research method.

Results. The results of the work of Russian and foreign scientists on predicting the safety of chocolate, flour and sugar confectionery products from 1982 to 2021 are summarized. The rate of changes in the food quality of products as a result of microbiological and oxidative processes depends on the chemical composition, properties of packaging materials and storage conditions. With an increase in temperature, the rate of spoilage processes of oxidative and microbiological spoilage processes increases significantly. The revealed patterns and established conversion coefficients of changes in the content of vitamins, peroxide number in confectionery products with "accelerated aging" compared to the conditions of traditional storage will allow you to manage the spoilage processes and develop measures to guarantee the established shelf life.

Conclusion. The authors believe that the Arrhenius model is the most acceptable for predicting the shelf life of confectionery products in conditions of "accelerated aging". The coefficients of "accelerated aging" for groups of confectionery products obtained by domestic and foreign researchers are summarized. Product testing under conditions of "accelerated aging" allows to reduce the duration of research compared to traditional methods and can be used to assess the shelf life of confectionery products at enterprises and in testing centers.

KEYWORDS

confectionery, raw materials, semi-finished products, chocolate, caramel, cookies, accelerated storage, shelf life prediction

ВВЕДЕНИЕ

Кондитерские изделия являются неотъемлемой частью продуктовой корзины отечественного потребителя. Широкий ассортимент многокомпонентных кондитерских изделий, его разнообразие, позволяет удовлетворить потребности и ожидания различных групп населения. Большим спросом пользуются кондитерские изделия, содержащие продукты переработки ценного растительного сырья, в том числе цельнозерновой муки, фруктов, овощей, продукты с высоким содержанием белка, жира, какао, орехов, молока и др. Это в значительной степени повышает пищевой статус кондитерской продукции для потребителя, но создает определенные проблемы в процессе хранения, связанные с прогнозированием срока годности. Производители кондитерской продукции стремятся достигнуть высоких показателей качества вырабатываемого ассортимента с приемлемым и гарантированным сроком годности для потребителей и комфортным для реализации в торговой сети. Поэтому научные исследования, направленные на установление и прогнозирование срока годности, являются современными и актуальными (Силенина, 2019; Cartier, 2009; Labuza & Hartel, 2013; Subramaniam, 2007; Labuza & Riboh, 1982).

В соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза¹ срок годности пищевой продукции это период времени, в течение которого пищевая продукция должна полностью соответствовать предъявляемым к ней требованиям безопасности и качества, установленным настоящим техническим регламентом и (или) техническими регламентами Таможенного союза на отдельные виды пищевой продукции, а также сохранять свои потребительские свойства, заявленные в маркировке, и по истечении, которого пищевая продукция не пригодна для использования по назначению.

Сроки годности и условия хранения пищевой продукции устанавливаются изготовителем, которые несёт ответственность за качество выпускаемой им продукции. Условия хранения должны обеспечивать соответствие пищевой продукции требованиям технических регламентов на отдельные виды

пищевой продукции. В Российской Федерации действуют Методические указания², в которых даются методические указания по установлению срока годности пищевых продуктов, включая кондитерские изделия. Для санитарно-эпидемиологического обоснования сроков годности необходимо проведение микробиологических, санитарно-химических и органолептических исследований пищевых продуктов в процессе хранения при температурах, предусмотренных технической документацией на эту продукцию. Таким образом, МУК³ не предполагает прогнозирование срока годности или хранение пищевых продуктов в условиях «ускоренного старения», при повышенной температуре или измененной влажности окружающего воздуха.

Научная литература, посвященная исследованию проблем прогнозирования сроков годности пищевых продуктов и сырья для их изготовления, обширна и ежегодно пополняется новыми научными разработками и подходами (Torrieri, 2016). Срок годности является важной характеристикой всех пищевых продуктов, включая кондитерские изделия. Срок годности может быть определен как время между производством и упаковкой пищевого продукта и моментом, когда он становится неприемлемым для использования по назначению после хранения в определенных условиях окружающей среды. Соображения безопасности и качества формируют условия и максимальную продолжительность хранения и распределения пищевых продуктов. Описаны типичные сроки годности и лимитирующие внутренние и внешние факторы для пищевых продуктов, такие как активность воды, pH, химический состав, микробиологические показатели и упаковка (Мягконосов и соавт., 2021; Moschopoulou et al., 2019).

Предпочтения и образ жизни потребителей оказывают значительное влияние на рецептурный и химический состав пищевых продуктов, способы приготовления и потребления. Такое разнообразие продукции предусматривает необходимость относительно быстрого прогнозирования срока годности, то есть проведение ускоренных исследований для гарантирования безопасности продукции на протяжении всего срока годности.

¹ ТР ТС 021/2011. (2011). *О безопасности пищевой продукции.* <https://docs.cntd.ru/document/902320560>

² МУК 4.2.1847-04. (2004). *Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов.* <https://docs.cntd.ru/document/1200035982>

³ Там же.

Для этого проводятся исследования микробиологических, физико-химических показателей и органолептических свойств (Taormina & Hardin, 2021). Для увеличения срока годности продуктов в контексте экологической устойчивости рассмотрены и обсуждены новые технологии, в том числе упаковка в модифицированной атмосфере, использование консервантов и современных упаковочных материалов (Soro et al., 2021).

Методы «ускоренного старения» широко используются для прогнозирования сроков годности различных пищевых продуктов и сырья для их изготовления. Модели Аррениуса и показатель Q10 используются для прогнозирования срока годности фруктов. Образцы хранили при трех температурах от 0 до 70°C, измеряли вес, плотность, содержание аскорбиновой кислоты, титруемую кислотность и органолептические показатели. На примере апельсинов исследовано общее количество растворимых твердых веществ, при этом значение Q10 составило 1,92 (Khathir et al., 2019), твердость, общее содержание сахара, титруемая кислотность и содержание аскорбиновой кислоты имели высокую корреляцию с микробиологическими изменениями клубники (Wang et al., 2018), описаны кинетические модели изменений качества и прогнозирования срока годности киви (Zhang et al., 2021), установлено, что влияние температуры на константу скорости соответствовало закону Аррениуса для порошка плодов батуана, Q10 составил 3,90 (Ancheta et al., 2020).

Изучена кинетика изменения цветовых параметров и текстуры с точки зрения хрусткости и перекисного числа кокосовой стружки с использованием кинетических реакций нулевого, первого и второго порядка при хранении при различных температурах. Сделан прогноз срока годности с использованием ускоренного метода, составивший 144, 128 и 115 дней при температуре 35, 45 и 55 °C, соответственно. Срок годности продуктов, хранившихся при температуре окружающей среды — 159 дней, а в холодильнике — 194 дня. Полученные результаты дают возможность обосновать условия хранения кокосовой стружки (Choosuk et al., 2022; Clodoveo et al., 2021).

Значения Q10 и модель Аррениуса использовалась для оценки скорости химических превращений,

соответствующих различным условиям хранения (Prabhakar et al., 2022; Chathuri et al., 2019)⁴. Орех хранили при температурах 20, 30 и 40 °C и относительной влажности воздуха 30, 50, 75% и 80%, определено влияние температуры, относительной влажности и длительности хранения на изменение цвета. Наименьшие потери качества выявили при температуре 20 °C и относительной влажности 30 и 50%. На основе экспериментальных данных хранения картофеля при температурах 0, 4, 7 и 10 °C, установлены кинетические модели изменения показателей качества. Определены микробиологические и органолептические характеристики. Установлена наилучшая температура для хранения картофеля 0 °C (Zhao et al., 2021). Показано, что многовариантное ускоренное тестирование срока годности грибов шиитаке обеспечивает более точную оценку срока годности по сравнению с ускоренным тестированием. На основе содержания фенолов, малонового диальдегида, микробиологических и органолептических показателей при температурах 5, 10 или 15 °C получены прогнозные значения срока годности для различных использованных моделей (Li et al., 2022; Севостьянова & Денилян, 2018).

Молочные продукты и молоко широко используются для изготовления кондитерских изделий и оказывают значительное влияние на срок годности, поэтому вопросы ускоренной оценки их качества являются актуальными. Исследованы содержание ненасыщенных жирных кислот, процессы окисления витаминов и липидов при температурах от 25 до 50 °C. Показана корреляция Пирсона между полиненасыщенными жирными кислотами и летучими компонентами. Спрогнозирован срок годности молочных продуктов с помощью многомерного ускоренного теста и модели Аррениуса. Размер частиц, содержание витамина А и различия в цвете предложено использовать в качестве индикаторов для прогнозирования срока годности (Jianga et al., 2021). Показано, что электронный нос Heracles II можно использовать для оценки качества молочных смесей. Перекисное число также использовано для оценки стабильности сухого молока (Hong-xin et al., 2019).

Существует множество методов стимуляции порчи пищевых продуктов, обычно основанных на химических превращениях и росте микроорганизмов. Для описания порчи пищевых продуктов и прогно-

⁴ Pecan Color Prediction Model. (2022). <https://tinyurl.com/uspecans>

зированияния срока годности в соответствии с теорией временно-температурной устойчивости обоснованы химико-кинетическая модель 1-го порядка с уравнением Аррениуса и модель микробного роста Гомперца с уравнением Белеградека, которые (Xu & Lu, 2022).

Маркировка кондитерских изделий дает потребителям информацию о сроке годности продукта, однако она не учитывает факторы, которые могут сократить срок годности, например, нарушение температуры. Обоснованные кинетические модели и методы анализа данных имеют важное значение для прогнозирования срока годности с учетом изменчивости условий окружающей среды. Современные технологии отслеживания и инструменты прогнозирования могут дать точную оценку оставшегося срока годности продукта (Corradini, 2018; Roduit et al., 2019).

Общая теория временно-температурной устойчивости заключается в том, что эквивалентный коэффициент преобразования прошедшего времени для одного изотермического интервала между различными температурами связан только с температурами и равен отношению соответствующих сроков годности. Это продемонстрировано с помощью химической кинетической модели 1-го порядка и модели Гомперца для химических и микробиологических изменений молочных продуктов, стабилизованных микроорганизмами. Эквивалентный

коэффициент преобразования ключевого показателя качества среди релевантных температур эффект любой температурно-временной истории может быть аккумулирован в одну изотермическую зависимость, а оставшийся срок годности можно спрогнозировать. Показатели качества, изменяющиеся в результате химических превращений и развития микроорганизмов, подчиняются теории временно-температурной устойчивости, разработанной для прогнозирования срока годности пищевых продуктов с использованием технологий контроля времени и температуры. Необходимо различать научные исследования о стабильности и прогнозирование срока годности (Andrewes, 2022).

Целью исследования явилось изучение научных работ по вопросам прогнозирования срока годности, обобщение существующих данных по методологии оценки сохранности кондитерских изделий разных групп и сырья для их производства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Протокол

В исследовании использован алгоритм в соответствии с протоколом PRISMA Sc. Алгоритм представлен на Рисунке 1.

Рисунок 1

Алгоритм исследования в соответствии с протоколом PRISMA Sc



Примечание: Из “Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement”, by D. Moher, A. Liberati, J. Tetzlatt & D. G. Altman, 2009, *Methods of Systematic Reviews and Meta-Analysis*, 62(10), pp. 1006–1012 (<https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2009.06.005>). Copyright 2009 by Methods of Systematic Reviews and Meta-Analysis

Базы данных и критерии включения источников

Объектами данного исследования являлись научные публикации российских и зарубежных авторов по вопросам прогнозирования сроков годности, в том числе в условиях «ускоренного старения». Обобщены данные по результатам исследований за последние 40 лет (с 1982 по 2021 гг.) российских и зарубежных ученых. Поиск источников литературы осуществлялся в базах данных Scopus и eLibrary.ru.

При подготовке обзора использованы следующие ключевые слова: срок годности, кондитерские изделия, сырье, «ускоренное старение», прогнозирование. Анализировались источники на русском и английском языках, опубликованные в научных журналах, материалах конференций различных уровней, диссертациях, монографиях по исследуемой теме. В качестве метода исследования использовано обобщение результатов (Moher, et al., 2009).

Процедура исследования

Сначала, по ключевым словам, в БД Скопус, РИНЦ было выявлено 278 статей, и 7 публикаций были идентифицированы из других источников. Потом после уточнения запроса осталось 192. Далее анализ аннотаций позволил сократить до 95. По анализу полного текста в исследование вошло 72 публикации. 6 полнотекстовых статей исключены по причине недостаточности информации по прогнозным моделям. Статьи не включенные в БД Скопус, РИНЦ не анализировались, поскольку их исключение из этих баз данных ставит под сомнение валидность представленных в них результатов. Таким образом, в обзор включены 66 публикаций.

Извлечение и анализ данных

Анализировалась информация по срокам годности пищевых продуктов, по критериям изменения качества пищевых продуктов, включающих показатели микробиологической порчи, показатели окислительной порчи такие как: перекисное, кислотные числа, индукционный период, по содержанию эссенциальных веществ, витаминов, омега-3 жирных кислот. Информация систематизировалась

по группам изделий: шоколад, мучные кондитерские изделия, карамель, сахаристые кондитерские изделия. В обзор включены прогнозные модели с математическим описанием и возможность их практического применения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Общие требования к качеству кондитерских изделий при хранении

При хранении пищевых продуктов, включая разнообразные кондитерские изделия, происходят физико-химические, микробиологические изменения, обуславливающие ухудшение их органолептических показателей.

Результаты исследований изменения качества кондитерских изделий в процессе хранения, в том числе в условиях «ускоренного старения» опубликованы в отраслевых научных изданиях. На основании исследований, проведенных в институте кондитерской промышленности в 2000–2010 годах, разработана Методология комплексной оценки изменения качества кондитерских изделий с низкой влажностью (по показателям окислительной порчи) в течение заданных сроков годности (Осипов и соавт., 2010; Кондратьев и соавт., 2009; Скокан и соавт., 2001а; Аксенова и соавт., 2002; Скокан и соавт., 2001б; Кондратьев, 2002; Осипов, 2011).

Для систематизации и установления общих требований к качеству и его изменениям при хранении все кондитерские изделия можно условно разделить на три большие группы: с низкой, высокой и промежуточной влажностью. К изделиям с низкой влажностью условно принято относить мучные кондитерские изделия группы печенья (сахарное, затяжное и сдобное печенье, галеты, крекер и др.), шоколад (молочный, горький, темный, белый и др.), карамель, конфеты и др. Для жиросодержащих изделий с низкой влажностью превалируют процессы окислительной порчи жиров. Повышение температуры хранения приводит к увеличению скорости таких процессов. Поэтому, возможно моделирование окислительных процессов и достоверное прогнозирование срока годности этих групп изделий.

Наряду с окислительными процессами в пищевых продуктах протекают диффузионные, ферментативные, гидролитические процессы, а также потеря питательных веществ и неферментативное потемнение.

Среди математических моделей, предложенных для описания изменения качества при хранении, чаще других используется модель Аррениуса, разработанная на основании положений термодинамики и принципов статистической механики (Стеле, 2008; Labuza, 1982), которая связывает скорость химической реакции с изменениями температуры:

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right), \quad (1)$$

где k_0 — константа; E_a — энергия активации; R — газовая постоянная; T — абсолютная температура.

Метод «ускоренного старения», используемый для прогнозирования качества пищевых продуктов, основана на увеличении скорости процессов окислительной порчи при повышении температуры (Conte et al, 2020). При увеличении температуры хранения, окислительные процессы происходят с увеличенной скоростью и могут быть исследованы с использованием перекисного и кислотного чисел. Сравнивая скорость окислительных процессов при различных температурах хранения изделий можно получить условный коэффициент, показывающий, как изменяется срок годности изделий (Демидова & Ловачев, 1982; Дмитриченко и соавт., 1987; Шарафеддинова, 2000).

В качестве основного показателя для характеристики интенсивности окислительных процессов используют перекисное число, которое характеризует количество перекисных и гидроперекисных соединений — первичных продуктов окисления жиров, образовавшихся в результате взаимодействия кислорода воздуха и двойных связей ненасыщенных жирных кислот в присутствии различных типов антиокислителей, веществ, ускоряющих окислительные реакции, а также продуктов окисления в жировой и нежировой фракциях кондитерских изделий. При этом условно принято, что скорость микробиологических и физических изменений минимальная и не влияет на изменение показателей безопасности при традиционном хранении изделий.

Жирнокислотный состав оказывает большое влияние на скорость окислительных процессов, поскольку ненасыщенные жирные кислоты подвержены процессам окислительной порчи в большей степени по сравнению с жирами, содержащими, преимущественно, насыщенные жирные кислоты. Как правило, используют эмпирические методы, при этом критическое содержание влаги является фундаментальной переменной для оценки срок годности в условиях окружающей среды с использованием математических моделей. Исследования должны быть сосредоточены на моделировании и проверке срока годности, в том числе с использованием изотермы паропроницаемости и влагопоглощения при различных температурах хранения.

Для прогнозирования сохранности кондитерских изделий широко используется показатель качества активность воды. Величина активности воды, в основном, определяется их влажностью и содержанием сахара в рецептуре. Наряду с консервирующим эффектом сахар участвует в формировании органолептических, функциональных и технологических свойств продуктов, а также регулирует их кислотность, снижает активность воды, что увеличивает энергию связывания воды в материале и снижает вероятность развития микроорганизмов. Контролируя содержание влаги и значение показателя активность воды, можно прогнозировать интенсивность различных физико-химических, биохимических и микробиологических процессов при хранении продуктов, создавать «Карты стабильности кондитерских изделий» и производить продукты с требуемым сроком годности (Plotnikova et al, 2021; Barden & Decker, 2013; Nurhayati et al, 2018; Ekafitri et al, 2021).

Многообразные рецептуры шоколада и других видов кондитерских изделий содержат различное количество природных антиоксидантов (токоферолов, полифенолов и др.). Соответственно, скорость окислительных процессов будет различной, в том числе при повышенной температуре хранения.

С течением времени характеристики используемого сырья, рецептуры и технологии производства изменяются и фактические коэффициенты могут отличаться от ранее полученных. Поэтому, для определения актуальных коэффициентов необходимы исследования закономерностей изменения качества кондитерских изделий с различными

идентификационными характеристиками, показателями пищевой ценности и химического состава в процессе их хранения.

Кроме этого, производство кондитерских изделий непрерывно в течение всего года, а сбор урожая сырья происходит один раз год. Сырье при хранении изменяет свои свойства, поэтому необходимо исследовать свойства сырья для возможности его использования для производства изделия с гарантированным и прогнозируемым сроком годности.

Прогнозирование сохранности шоколада

Вопросы ускоренных испытаний шоколадных кондитерских изделий на срок годности рассмотрены в работе (Subramaniam, 2009). Обоснованы режимы тестирования, используемые для оценки сенсорных изменений, а также конкретные методы исследований пралине, бисквитных и вафельных изделий. Для ряда кондитерских изделий, например, для шоколада, при повышении температуры происходят необратимые изменения внутренней структуры и поверхности. Поэтому, шоколад, конфеты с корпусами пралине, глазированные изделия и другие аналогичные изделия, которые теряют форму при повышении температуры хранения, могут быть исследованы условно только по показателям окислительной порчи.

На срок годности оказывают влияние множество факторов, среди которых ключевыми являются рецептурный состав, технология производства, способы и виды упаковки и условия хранения. Понимание взаимодействия этих факторов приводит к правильной оценке срока хранения и его испытаниям (Стеле, 2008; Ткешелашвили, 2017; Кондратьев, и соавт., 2019; Кондратенко и соавт., 2006). Учитывая возможную высокую микробиологическую обсемененность шоколада без добавлений, необходимо обратить внимание на то, что скорость изменения органолептических показателей в результате протекания микробиологических процессов может быть выше, чем окислительная порча жировой фракции. При повышенной температуре может быть получен прогнозируемый срок годности при условии обеспечения необходимого уровня органолептических и микробиологических показателей. Для каждого пищевого продукта необходим соответствующий метод определения срока годности.

Исследования шоколада (Осипов, 2011) с различным рецептурным составом в условиях «ускоренного старения» позволили установить математические зависимости влияния длительности хранения τ на индукционный период T_i (Rancimat, 120 °C) при заданном содержании общего сухого остатка какао:

$$30\%: T_i = -0,13\tau^3 + 1,66\tau^2 - 17,76\tau + 90,60; \quad (2)$$

$$35\%: T_i = -0,03\tau^3 + 0,74\tau^2 - 15,87\tau + 95,70; \quad (3)$$

$$40\%: T_i = 0,05\tau^3 + 0,42\tau^2 - 11,36\tau + 104,30; \quad (4)$$

$$50\%: T_i = 0,003\tau^3 - 0,057\tau^2 - 6,60\tau + 98,48; \quad (5)$$

$$55\%: T_i = 0,0011\tau^3 - 0,03\tau^2 - 6,44\tau + 103,75; \quad (6)$$

$$65\%: T_i = 0,0045\tau^3 - 0,08\tau^2 - 6,50\tau + 115,91; \quad (7)$$

Из уравнений можно получить значения индукционного периода T_i для определенного периода хранения и для определенного диапазона общего сухого остатка какао можно рассчитать коэффициент «ускоренного старения». Например, для образца с 30 % общего сухого остатка какао и длительностью хранения 3,6 мес., уравнение имеет вид:

$$T_i = -0,13 \cdot 3,6^3 + 1,66 \cdot 3,6^2 - 17,76 \cdot 3,6 + 90,60 = 42,12 \quad (8)$$

Прогнозируемый индукционный период жировой фракции молочного шоколада с массовой долей общего сухого остатка какао-продуктов 30 % после 3,6 мес. хранения составит 42,1 ч. Однако, в действительности, индукционный период отличается от прогнозируемого, поскольку качество какао бобов и другого сырья нестабильное. Разработаны прогнозные математические модели для шоколада, которые не учитывают процессы микробиологической порчи и изменения органолептических показателей при хранении изделий. При повышении массовой доли общего сухого остатка какао увеличивается срок годности, что позволяет обосновать рецептурный состав шоколада с заданным сроком годности. Таким образом, в соответствии с результатами работы (Осипов, 2011) срок годности может быть рассчитан путем экстраполяции математических зависимостей индукционного периода жировой фракции шоколада от длительности хранения.

На основании исследований изменения перекисного числа жировой фракции различных видов шоколада в процессе хранения при температурах 20 и 50 °C рассчитаны коэффициенты ускорения окислительных реакций, которые составили для шоколада без добавлений от 3,6 до 5,2, для шоколада с молочными добавлениями от 3,6 до 4,0, для шоколада с молочными добавлениями и кофе от 5,0 до 5,2 (Кондратьев, 2002).

С использованием уравнения Аррениуса при температурах 30, 40, 50 °C на основе количества свободных жирных кислот спрогнозирован срок годности шоколада от 113 до 281 дней. Исследовано общее количество микроорганизмов (Hidayati et al., 2022). При хранении шоколада в условиях «ускоренного старения» содержание витаминов B₁, B₂, B₅, B₆, Е уменьшается в 1,5–2 раза быстрее по сравнению с традиционным хранением. При этом, после 6 месяцев традиционного хранения массовая доля витамина B₁ уменьшилась на 75 %, а массовая доля витамина B₂ — на 60 % (Кондратьев и соавт., 2018а; Кондратьев и соавт., 2018б; Кондратьев и соавт., 2018в).

Прогнозирование сохранности мучных кондитерских изделий

Исследования перекисного числа могут быть использованы для оценки срока годности галет, изготовленных с использованием различных жиров с разной устойчивостью к окислению. Исследования показали, что для галет, изготовленных с использованием соевого масла, перекисное число жировой фракции повышается после 5 месяцев хранения, а для изделий с кондитерским жиром — на 8-м месяце хранения при одновременном ухудшении органолептических показателей (Кондратьев, 2002). На основании результатов исследований при температурах 20 °C и 50 °C рассчитаны коэффициенты «ускоренного старения». Для галет, изготовленных с использованием соевого масла этот коэффициент составил 3,7, а для галет, с кондитерским жиром — 3,6, а с пальмовым маслом — 2,7. Микробиологические показатели соответствовали требованиям безопасности, их влияние на срок годности не исследовано (Скокан и соавт., 2001).

Мучные кондитерские изделия группы печенья содержат значительное количество жира, свойства

которого оказывают влияние на срок годности. Проведена оценка окислительной стабильности мучных кондитерских изделий с низкой влажностью, обоснована стратегия управления окислительными процессами с помощью добавления антиоксидантов и использования упаковочных материалов. Приведены предполагаемые гипотетические механизмы реакций окисления и антиоксидантной активности, подтвержденные результатами исследований. Авторы указывают на большой объем результатов исследований, опубликованных в научной литературе до 1950-х годов (Кондратьев и соавт., 2018).

На срок годности оказывают влияние множество факторов, среди которых ключевыми являются: рецептурный состав, технология производства, способы и виды упаковки, условия хранения. Понимание взаимодействия этих факторов приводит к правильной оценке срок хранения и его испытаниям (Etsehiwot & Hall, 2016). Исследована динамика перекисного числа крекеров, изготовленных с использованием растительных масел с различными исходными уровнями перекисного числа жировой фракции, составляющими 5, 10 и 25 мЭкВ/кг, при температурах хранения от 20 °C до 60 °C. Срок годности крекеров при заданной температуре рассчитывали по формуле:

$$SL = \frac{I_{lim} - I_0}{k_T}, \quad (9)$$

где I₀ — сенсорная оценка восприятия прогорклости свежих крекеров; I_{lim} — сенсорная оценка прогорклых крекеров; k_T — константа прогорклости.

Таким образом, исходная окислительная стабильность жировой фракции оказывает значительное влияние на сохранность изделий (Manzocco, 2020).

Доказана антиоксидантная активность экстрактов зеленого чая, семян черной смородины и крапивы в мучных кондитерских изделиях. Растительные экстракты, как правило, не снижают органолептические свойства продуктов. Оксилительную устойчивость жировой фракции изделий оценивали по перекисному и кислотному числам, аницидиновому числу и удельному УФ-поглощению (Kozłowska, et al., 2019; Zbikowska et al., 2018).

Исследован срок годности печенья из пшеничной муки и модифицированной маниоковой муки. Про-

гнозирование срока годности проведено в зависимости от содержания влаги и перекисного числа при различной температуре хранения, в различных видах упаковочных материалов с использованием метода Аррениуса. Срок годности составил по перекисному числу жировой фракции печенья из модифицированной муки при температурах 15 °C, 30 °C и 45 °C в течение 217, 172 и 137 дней, соответственно. Спрогнозированные сроки годности контрольных образцов составили 333, 250 и 192 дней, соответственно (Rahman et al., 2019).

Рассчитаны коэффициенты изменения содержания витаминов в мучных кондитерских изделиях при «ускоренном старении» по сравнению с условиями традиционного хранения (Осипов и соавт., 2018). Показано, для уменьшения потерь витаминов в сахарном печенье необходимо использовать жиры с высокой окислительной стабильностью и высоким содержанием природных антиоксидантов. Исследованные мучные кондитерские изделия группы печенья показали различную окислительную устойчивость в зависимости от вида использованного жира. Показано, что использование метода OXITEST позволяет прогнозировать срок годности изделий. Сенсорный анализ подтвердил экспериментальные данные (Caruso et al., 2017).

Для обеспечения необходимого срока годности используют антиоксиданты или продукты с их высоким содержанием. Оценку окислительной стабильности кекса проводили по содержанию гексаналя. Использование кокосового шрота поддерживало уровень гексаналя жировой фракции кекса ниже 0,3 мг/кг до 14 дней, в то время как для контрольного образца этот уровень превышен. Более 90% антиоксидантной активности сохранилось после прогрева при температуре 180 °C в течение 2 ч. (Rahman et al., 2019).

Прогнозирование сохранности сахаристых кондитерских изделий

Проведены исследования (Spanemberg et al., 2019) карамели при хранении в условиях «ускоренного старения» при температуре 38 °C и относительной влажности окружающего воздуха 75 %. Срок годности, определенный по признаку образования капель влаги на внешнем слое упакованных конфет, составил от 12 до 58 суток. Из-за отсутствия в на-

учной литературе данных по хранению карамелей в нормальных условиях и методом «ускоренного старения» сравнение результатов представляет определенные трудности. Использование различных видов упаковки и условий хранения приводит к получению несравнимых результатов. Как правило, в промышленности для определения используют эмпирические методы. Срок годности леденцов при традиционных условиях хранения, составляющий от 7 до 31 месяцев, определен по формуле:

$$SL = 16A_{sl}, \quad (10)$$

где SL — срок годности, мес., A_{sl} — срок годности при температуре 38 °C и относительной влажности 75 %, мес.

Разработана надежная математическая модель диффузии влаги, применяемая для оценки срока годности и прогнозирования содержания влаги леденцовой карамели. Прогнозируемый и фактический срок годности при относительной влажности 75 % составили при температуре 20 °C 41 и 39 дней, соответственно, а при 25 °C — 24 и 23 дня, соответственно (Spanemberg et al., 2022). Показано, что оптимизация рецептурного состава позволяет значительно увеличить срок годности карамели (Flavio et al., 2019).

Проведены исследования мармелада в условиях «ускоренного старения» при температуре 50 °C. Установлено, что содержание витаминов после 6 месяцев хранения изделий в «условиях ускоренного старения» в 1,5 раза меньше по сравнению с традиционным хранением (Руденко и соавт., 2018; Кондратьев, и соавт., 2018а; Кондратьев, и соавт., 2018в). Сделан прогноз срока годности образцов жевательных сантоловых конфет при температурах хранения 25, 35 и 45 °C с использованием ускоренного метода Q10. Образцы исследовали по физико-химическим (активность воды (a_w), содержание влаги, общая кислотность, pH), органолептическим и микробиологическим показателям. При увеличении содержания влаги срок годности уменьшался (Renumarn & Choosuk, 2020). Метод «ускоренного старения» использован для прогнозирования срока годности энергетических батончиков на основе банана (Subramaniam, 2007).

Для ускоренного прогнозирования срока годности пирожных также использовано повышение

температуры хранения. Срок годности определен с использованием уравнения Аррениуса при температурах 25, 35 и 45°C. Исследовали содержание свободных жирных кислот, активность воды и органолептические характеристики. Срок годности яблочных пирожных брауни составил 110, 54 и 28 дней в процессе хранения при температурах 25, 35 и 45 °C, соответственно (Choosuk et al., 2022; Pulungan et al., 2018; Man & Jones, 1994). Рассчитаны коэффициенты пересчета изменения содержания витаминов в мармеладе, печенье, шоколаде при «ускоренном старении» по сравнению с условиями традиционного хранения (см. Таблица 1).

Таблица 1

Коэффициенты пересчета изменения содержания витаминов в кондитерских изделиях при «ускоренном старении» на условия традиционного хранения

Витамины	Коэффициенты «ускоренного старения»		
	печенье	шоколад	мармелад
Никотинамид (B ₃)	1,8	1,4	1,6
Пиридоксин (B ₆)	1,3	1,3	-
Рибофлавин (B ₂)	1,4	1,4	1,5
Тиамин (B ₁)	1,5	1,3	-
Токоферол (E)	2,1	1,3	-

Обобщены коэффициенты пересчета изменения перекисного числа в печенье и шоколаде при «ускоренном старении» при температуре 50°C по сравнению с условиями традиционного хранения (см. Таблица 2).

Таблица 2

Коэффициенты пересчета перекисного числа жировой фракции кондитерских изделий при «ускоренном старении» на условия традиционного хранения

Коэффициенты «ускоренного старения»					
галеты, изготовленные с			шоколад		
соевым маслом	кондитерским жиром	пальмовым маслом	без добавлений	с молочными добавлениями	с молочными добавлениями и кофе
3,7	3,6	2,7	3,7	3,8	5,1

Обеспечение длительных сроков хранения кондитерских изделий с сохранением их структуры и свежести, а также без изменения вкусовых свойств является актуальной задачей для производителей. В процессе хранения такие продукты подвержены физическим и химическим трансформациям в результате дегидратации или синерезиса, увлажнения поверхности, изменений показателей пищевой ценности и окислительных процессов. При увеличении температуры хранения скорость изменений качества изделий может существенно изменяться.

Скорость окислительных процессов зависит от химического состава пищевых продуктов и сырья для их изготовления, свойств упаковочных материалов и условий хранения. Выявленные в закономерности, определяющие сохранность различных групп кондитерских изделий, позволяют эффективнее управлять процессами окисления жиров и миграции влаги и, следовательно, сроком годности. Единого метода определения срока годности не существует. Модель Аррениуса является наиболее приемлемой для прогнозирования срока годности кондитерских изделий в условиях «ускоренного старения».

Таким образом обобщены подходы к для прогнозирования срока годности шоколада, мучных и сахаристых кондитерских изделий в условиях «ускоренного старения».

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Одной из важнейших проблем производителей кондитерских изделий является определение сроков годности. Это требует значительных материальных затрат и времени при проведении исследований, что особенно критично для изделий с длительными сроками годности. Результаты показывают, что выявленные закономерности изменений качества изделий в условиях ускоренного старения позволяют за короткий период спрогнозировать срок годности при традиционном хранении изделий. Изменение качества продуктов происходит в результате протекания микробиологических и окислительных процессов и зависит от химического состава, свойств упаковочных материалов и условий хранения. При увеличении температуры хранения изделий скорость окислительных и микробиологических процессов порчи значительно увеличивается.

Для оценки этих процессов используются различные показатели, в том числе массовая доля влаги, активность воды, перекисное и кислотные числа, индукционных период, микробиологические показатели. Жирнокислотный состав также оказывает большое влияние на скорость окислительных процессов. Для установления коэффициентов «ускоренного старения», как правило, используют эмпирические методы.

Обобщены коэффициенты «ускоренного старения» по группам кондитерских изделий, полученные отечественными и зарубежными исследователями: по группе мучных кондитерских изделий (Manzocco, 2020, Choosuk et al., 2022, Кондратьев, 2002, Скокан, и соавт., 2001), по группе сахаристых кондитерских изделий (Spanemberg et al., 2022, Руденко, 2018, Renumarn et al., 2020) и по шоколаду (Осипов, 2011, Кондратьев, 2002, Hidayati et al., 2022). Полученные результаты способствуют более четкому пониманию методологии определения сроков годности кондитерских изделий.

ВЫВОДЫ

В данном обзоре проведен анализ литературы и показаны основные подходы к прогнозированию срока годности различных групп пищевых продуктов и кондитерских изделий. Указанная тема достаточно хорошо теоретически проработана, однако практически реализованных методик недостаточно. Показаны основные подходы, использованные отечественными и зарубежными исследователями при оценке качества пищевых продуктов в условиях «ускоренного старения». Обзор определил ряд ключевых тем, касающихся способов прогнозирования сроков годности кондитерских изделий с низкой и промежуточной влажностью на основе показателей окислительной порчи, таких как перекисное и кислотное числа, индукционный период; на основе показателей процессов влагопереноса и микробиологической порчи, таких как массовая доля влаги и активность воды; на основе сохранности пищевой ценности и макронутриентов, таких как витамины, антиоксиданты и др.

Вместе с тем был выявлен ряд важных пробелов. Авторы полагают, что модель Аррениуса является наиболее приемлемой для прогнозирования срока годности кондитерских изделий в условиях «ускоренного старения». Обобщены коэффициенты «ускоренного старения» по группам кондитерских изделий, полученные отечественными и зарубежными исследователями.

Испытания продукции в условиях «ускоренного старения» позволяют сократить длительность исследований по сравнению со традиционными методами и могут быть использованы для оценки срока годности кондитерских изделий на предприятиях и в испытательных центрах.

Для повышения точности разрабатываемых методов необходимо увеличить базу данных результатов исследований закономерностей изменений качества кондитерских изделий при хранении в условиях «ускоренного старения» с обязательным подтверждением полученных результатов в условиях традиционного хранения, предусмотренных производителями изделий. Методы прогнозирования сроков годности востребованы предприятиями, производящими различные наименования пищевых продуктов.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Кондратьев Н. Б.: методология, создание рукописи и её редактирование, создание черновика рукописи, формальный анализ.

Руденко О. С.: методология, концептуализация, создание рукописи и её редактирование, формальный анализ.

Осипов М. В.: сбор и администрирование данных, визуализация, создание черновика рукописи, формальный анализ.

Баженова А. Е.: создание рукописи и её редактирование, визуализация, формальный анализ.

ЛИТЕРАТУРА

- Аксенова, Л. М., Скокан, Л. Е., Кондратьев, Н. Б., & Нечаев, А. П. (2002). Исследование изменений качества галет методом «ускоренного старения». *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 6–8.
- Демидова, И. Б., & Ловачев, Л. Н. (1982). Состав и изменения липидной фракции при хранении казеинатов настрия. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*, (1), 36–39.
- Дмитриченко, М. И., Запорожец, А. И., & Уголев, Д. А. (1987). Количественная оценка животного масла при хранении. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*, (1), 112–115.
- Кондратенко, В. В., Кондратенко, Т. Ю., & Чубит, Л. Ю. (2006). Концептуальная схема конструирования новых пищевых продуктов функционального назначения. *Политехнический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, (17), 62–71.
- Кондратьев, Н. Б. (2002). *Разработка способов прогнозирования качества кондитерских изделий с низкой влажностью по показателям окислительной порчи жиров* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Кондратьев, Н. Б., & Осипов М. В. (2009). Важнейшие аспекты формирования состава и сроки годности шоколада. В *Кондитерские изделия XXI века: Материалы седьмой международной конференции* (с. 113–114). М.: МПА.
- Кондратьев, Н. Б., Казанцев, Е. В., Осипов, М. В., Петрова, Н. А., & Руденко О. С. (2019). Исследование процесса влагопереноса в сырцовых пряниках с фруктовой начинкой, изготовленных с использованием различных видов модифицированного крахмала. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 35–46. <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.187>
- Кондратьев, Н. Б., Линовская, Н. В., Парашина, Ф. И., Руденко, О. С., & Савенкова, Т. В. (2018а). Особенности сохранности витаминов в шоколаде. *Вестник Мурманского государственного технического университета*, 21(3), 481–487. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2018-21-3-481-487>
- Кондратьев, Н. Б., Осипов, М. В., Белова, И. А., & Савенкова, Т. В. (2018б). Исследование содержания витаминов в кондитерских изделиях с целью обеспечения их сохранности. *Научные труды Северо-Кавказского Федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия*, 20, 191–195.
- Кондратьев, Н. Б., Руденко, О. С., Крылова, Э. Н., Осипов, М. В., & Святославова, И. М. (2018в). Влияние технологических факторов на сохранность витаминов в кондитерских изделиях. *Вестник Уральского государственного университета*, 6(3), 49–56. <https://doi.org/10.14529/food180306>
- Мягконосов, Д. С., Смыков, И. Т., Абрамов, Д. В., Делицкая, И. Н., & Овчинникова, Е. Г. (2021). Влияние молокосвертывающих ферментов животного и мицробного происхождения на качество и срок хранения мягких сыров. *Пищевые системы*, 4(4), 286–293. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-4-286-293>
- Осипов, М. В. (2011). *Развитие технологии шоколада на основе совершенствования системы оценки его качества* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Осипов, М. В., Кондратьев, Н. Б., Руденко, О. С., & Аксенова, Л. М. (2010). Влияние массовой доли общего сухого остатка какао-продуктов на сроки годности шоколада. *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*, (5), 47–48.
- Руденко, О. С. (2018). *Развитие технологии кондитерских изделий с использованием фруктового сырья на основе совершенствования системы оценки качества* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Руденко, О. С., Парашина, Ф. И., Петрова, Н. А., Южакова, К. В., & Савенкова, Т. В. (2018). Изменение содержания витаминов при производстве и хранении мучных кондитерских изделий. *Пищевая промышленность*, (12), 46–48.
- Севостьянова, Е. М., & Данилян, А. В. (2018). Обзор методов «ускоренного старения» для обоснования сроков годности продуктов безалкогольной отрасли. *Пиво и напитки*, (3), 56–59.
- Силенина, С. (2019). Тренды российского кондитерского рынка. *Кондитерское и хлебопекарное производство*, (5–6), 14–16.
- Скокан, Л. Е., Кондратьев, Н. Б., Дегтярева, Н. А., Аксенова, Л. М., & Нечаев, А. П. (2001). Исследование процессов окисления липидов в образцах галет при длительном хранении. *Кондитерское производство*, (1), 40–41.
- Скокан, Л. Е., Кондратьев, Н. Б., Кнопова, С. И., Фунтикова, Н. С., Минчук, Н. О., Аксенова, Л. М., & Нечаев, А. П. (2001). Изучение состава галет для обоснования сохранности их качества. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (7), 38–40.
- Стеле, Р. (2008). *Срок годности пищевых продуктов: Расчет и испытание*. СПб.: Профессия.
- Ткешелашвили, М. Е. (2017). Шоколад и шоколадная глазурь, устойчивые к «поседению». *Кондитерское производство*, (4), 27–29.
- Шарафеддинова, А. А. (2000). Окислительные и гидролитические процессы, протекающие в пралиновых конфетах с заменителями какао-продуктов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (12), 37.
- Ancheta, A. K. G., Yaptenco, K. F., Mopera, L. E., Bainto, L. C., Lizardo, R. C. M., & Dizon, E. I. (2020). Accelerated shelf-life test (ASLT) of batuan fruit powder. *Food Research*, 4(4), 1254–1264. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(4\).018](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(4).018)
- Andrewes, P. (2022). Predicting the shelf-life of microbial-stabilised dairy products: what are the roles of stability studies, storage trials, 'accelerated' trials, and dairy

- science. *International Dairy Journal*, 125, Article 105239. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105239>
- Barden, L., & Decker, E. A. (2013). Lipid oxidation in low-moisture food: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(15), 2467–2482. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.848833>
- Cartier, P. (2009). Accelerated Shelf-lifeTesting. Accelerated testing will confirm the performance of a product from production to the consumer. *The Manufacturing Confectioner*, 8, 53.
- Caruso, M. C., Galgano, F., Colangelo, M. A., Condelli, N., Scarpa, T., Tolve, R., & Favati, F. (2017). Evaluation of the oxidative stability of bakery products by OXITEST method and sensory analysis. *European food research & technology*, 243(7), 1183–1191. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2831-9>
- Chathuri, S. M., Harshani Algama, C., Wimalasekara, R. L., Weerakoon, W. N. M. T. D. N., Jayathilaka, N., & Seneviratne, K. N. (2019). Improvement of oxidative stability and microbial shelf life of vanilla cake by coconut oil meal and sesame oil meal phenolic extracts. *Journal of Food Quality*, 2019, Article 1263629. <https://doi.org/10.1155/2019/1263629>
- Choosuk, N., Meesuk, P., Renumarn, P., Phungamngoen, C., & Jakkranuhwat, N. (2022). Kinetic modeling of quality changes and shelf life prediction of dried coconut chips. *Processes*, 10(7), Article 1392. <https://doi.org/10.3390/processes10071392>
- Clodoveo, M. L., Muraglia, M., Fino, V., Curci, F., Fracchialla, G., Rina Corbo, F. F. (2021). Overview on innovative packaging methods aimed to increase the shelf-life of cook-chill foods. *Foods*, 10(9), Article 2086. <https://doi.org/10.3390/foods10092086>
- Conte, L., Milani, A., Calligaris, S., Rovellini, P., Lucci, P., & Nicoli, M. C. (2020). Temperature dependence of oxidation kinetics of extra virgin olive oil (EVOO) and shelf-life prediction. *Foods*, 9(3), Article 295. <https://doi.org/10.3390/foods9030295>
- Corradini, M. G. (2018). Shelf life of food products: From open labeling to real-time measurements. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9, 251–269. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030117-012433>
- Ekafitri, R., Kurniawan, Y. R., Desnilasari, D., Surahman, D. N., & Indriati, A. (2021). Shelf-life assessment of energy banana bar using acceleration method with critical moisture content approach. *Food Science and Technology*, 41(1), 163–168. <https://doi.org/10.1590/fst.13120>
- Etsehiwot, G., & Hall, C. (2016). Oxidative stability and shelf life of foods containing oils and fats. In *Oxidative stability and shelf life of crackers, cookies, and biscuits department of plant sciences* (pp. 461–478). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-1-63067-056-6.00012-4>
- Flavio, E., Spanemberg, M., Korzenowski, A., & Sellitto, M. A. (2019). Effects of sugar composition on shelf life of hard candy: Optimization study using D-optimal mixture design of experiments. *Journal of Food Process Engineering*, 42(6), Article e13213. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13213>
- Hidayati, S., Sartika, D., Sutoyo, S., & Fudholi, A. (2022). Predict the shelf life of instant colate in vacuum packing by using accelerated shelf life test (ASLT). *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 9(2), 443–450. <https://doi.org/10.18280/mmep.090220>
- Hong-xin, J., Wen-Liang C., Xiao-Yan, Q., & Mi-Ya, S. (2019). The stability of milk-based infant formulas during accelerated storage. *CyTA — Journal of Food*, 17(1), Article 960104. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1561519>
- Jianga Y., Yang, X., Jin, H., Feng, X., Tian, F., Song, Y., Ren, Y., Man, C., & Zhang, W. (2021) Shelf-life prediction and chemical characteristics analysis of milk formula during storage. *LWT — Food Science and Technology*, 144, Article 111268. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111268>
- Khathir R., Yuliana, R., & Putra, B. S. (2019). The shelf-life prediction of sweet orange based on its total soluble solid by using arrhenius and q 10 approach. *Materials Science and Engineering*, 506, Article 012058. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/506/1/012058>
- Kozłowska, M., Zbikowska, A., Szpicer, A., & Półtorak, A. (2019). Oxidative stability of lipid fractions of sponge-fat cakes after green tea extracts application. *Journal of Food Science and Technology*, 56(55), 2628–2638. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03750-5>
- Labuza, T. P., & Hartel, R. W. (2013). Shelf life of confectionery products. *The Manufacturing Confectioner*, 3, 55.
- Labuza, T. P., & Riboh, D. (1982). Theory and application of arrhenius kinetics to the prediction of nutrient losses in foods. *Food Technology*, 36(10), 66–74.
- Li, Y., Ding, S., & Wang, Y. (2022). Shelf life predictive model for postharvest shiitake mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 330, Article 111099. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111099>
- Man, C., & Jones, A. A. (1994). *Shelf Life Evaluation of Foods*. Springer Science Business Medis. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2095-5>
- Manzocco, L. (2020). Modeling the effect of the oxidation status of the ingredient oil on stability and shelf life of low-moisture bakery products: The case study of crackers. *Foods*, 9(6), Article 749. <https://doi.org/10.3390/foods9060749>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Altman, D., & Antes, G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses. *Plos Medicine*, 6(7), Article e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Moschopoulou, E., Moatsou, G., Syrokou, M. K., Paramithiotis, S., & Drosinos, E. H. (2019). Food Quality and Shelf Life. In *Food quality changes during shelf life* (pp. 1–13). Academic Press. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0>
- Nurhayati, R., Pratiwi, R., Anandito, R. B. K., Novita Herawati, E. R., & Angwar, M. (2018). Accelerated shelf life testing of chocomix using critical moisture content approach. *Reaktor*, 18(2), 63–70.
- Plotnikova, I. V., Zharkova, I. M., Magomedov, G. O., Magomedov, M. G., Khvostov, A. A., & Miroshnichenko, E. N. (2021). Forecasting and quality control of confectionery products with the use of “water activity” indicator. *Earth*

- and Environmental Science, 640, Article 062003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/6/062003>
- Prabhakar, H., Bock, C. H., Kerr, W. L., & Kong, F. (2022). Pecan color change during storage: Kinetics and Modeling of the Processes. *Current Research in Food Science*, 5, 261–271. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.015>
- Pulungan, M. H., Sukmana, A. D., & Dewi, I. A. (2018). Shelf life prediction of apple brownies using accelerated method. *Earth and Environmental Science*, 131, Article 012019 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/131/1/012019>
- Rahman, T., Sulaiman, N. F., Turmala, E., Andriansyah, R. C. E., Luthfiyanti, R., & Triyono, A. (2019). Shelflife prediction of biscuits prepared from modified suwet (Amorphophallus campanulatus B) flour using Arrhenius model. *Earth and Environmental Science*, 251, Article 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/251/1/012035>
- Renumarn, P., & Choosuk, N. (2020). Influence of packaging and storage conditions on the quality and shelf-life of chewy santol (Kraton-Yee) candies. *Web of Conferences*, 141, Article 02002 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014102002>
- Roduit, B., Albert Luyet, C., Hartmann, M., Folly, P., Sarchach, A., Dejeaifve, A., Dobson, R., Schroeter, N., Vorlet, O., Dabros, M., & Baltensperger, R. (2019). Continuous monitoring of shelf lives of materials by application of data loggers with implemented kinetic parameters. *Molecules*, 24(12), Article 2217. <https://doi.org/10.3390/molecules24122217>
- Soro, A. B., Noore, S., Hannon, S., Whyte, P., Bolton, D. J., O'Donnell, C., & Tiwari, B. K. (2021). Current sustainable solutions for extending the shelf life of meat and marine products in the packaging process. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100722. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100722>
- Spanemberg, F. E. M., Korzenowski, A. L., & Sellitto, M. A. (2019). Effects of sugar composition on shelf life of hard candy: Optimization study using D-optimal mixture design of experiments. *Journal of Food Process Engineering*, 45(5), Article e13213. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13213>
- Spanemberg, F. E. M., Sellitto, M. A., Porto, L. M., Cruz dos Santos, A., & Lemos Souza, Á. C. (2022). Shelf life estimation of glassy confections using moisture sorption isotherms. *Journal of Food Process Engineering*, 45(5), Article e14024. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14024>
- Subramaniam, P. (2007). Determining Shelf Life of Confectionery Products. *The Manufacturing Confectioner*, 6, 85.
- Subramaniam, P. J. (2009). Science and Technology of Enrobed and Filled Chocolate, Confectionery and Bakery Products. In *Shelf-life prediction and testing* (pp. 233–254). Leatherhead Food International, UK. <https://doi.org/10.1533/9781845696436.2.233>
- Taormina, P. J., & Hardin, M. D. (2021). *Food Safety and Quality-Based Shelf-life of Perishable Foods*. Springer.
- Torrieri, E. (2016). Storage stability: Shelf life testing. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 188–192). University of Naples Federico II, Portici. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00666-8>
- Wang, W., Hu, W., Ding, T., Ye, X., & Liu, D. (2018). Shelf-life prediction of strawberry at different temperatures during storage using kinetic analysis and model development. *Journal of Food Processing and preservation*, 42(8), Article e13693. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13693>
- Xu, Y., & Lu, L. (2022). The time-temperature tolerance theory behind thermal kinetic models for shelf-life prediction of common foods. *Food Science and Technology*, 42, Article e32722. <https://doi.org/10.1590/fst.32722>
- Zbikowska, A., Kozlowska, M., Poltorak, A., Kowalska, M., Rutkowska, J., & Kupiec, M. (2018). Effect of addition of plant extracts on the durability and sensory properties of oat flake cookies. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2(134), 1101–1111. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7301>
- Zhang, W., Luo, Z., Wang, A., Gu, X., & Lv, Z. (2021). Kinetic models applied to quality change and shelf life prediction of kiwifruits. *LWT – Food Science and Technology*, 138, Article 110610. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110610>
- Zhao, S., Han, X., Liu, B., Wang, S., Guan, W., Wu, Z., & Theodorakis, P. E. (2022). Shelf-life prediction model of fresh-cut potato at different storage temperatures. *Journal of Food Engineering*, 317, Article 110867. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110867>

REFERENCES

- Aksanova, L. M., Skokan, L. E., Kondrat'ev, N. B., & Nechaev, A. P. (2002). Issledovanie izmenenii kachestva galet metodom "uskorennogo stareniya" [Investigation of changes in the quality of biscuits by the method of "accelerated aging"]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and processing of Farm Products]*, (4), 6–8.
- Demidova, I. B., & Lovachev, L. N. (1982). Sostav i izmeneniya lipidnoi fraktsii pri khranenii kazeinatov natriya [Composition and changes in the lipid fraction during storage of sodium caseinates]. *Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya [News of Universities. Food technology]*, (1), 36–39.
- Dmitrichenko, M. I., Zaporozhets, A. I., & Ugolev, D. A. (1987). Kolichestvennaya otsenka zhivotnogo masla pri khranenii [Quantitative assessment of animal oil during storage]. *Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya [News of Universities. Food technology]*, (1), 112–115.
- Kondratenko, V. V., Kondratenko, T. Yu., & Chubit, L. Yu. (2006). Kontseptual'naya skhema konstruirovaniya novykh pishchevykh produktov funktsional'nogo naznacheniya [Conceptual scheme of designing new functional food products]. *Politekhnicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University]*, (17), 62–71.
- Kondrat'ev, N. B. (2002). *Razrabotka sposobov prognozirovaniya kachestva konditerskikh izdelii s nizkoi vlastivost'yu po*

- pokazatelyam okislitel'noi porchi zhirov* [Development of methods for predicting the quality of confectionery products with low humidity in terms of oxidative fat spoilage] [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Russia.
- Kondrat'ev, N. B., & Osipov M. V. (2009). Vazhneishie aspekty formirovaniya sostava i sroki godnosti shokolada [The most important aspects of the formation of the composition and shelf life of chocolate]. In Konditerskie izdeliya XXI veka: Materialy sed'moi mezhdunarodnoi konferentsii [Confectionery products of the 21th century: Materials of the seventh International Conference] (pp. 113–114). Moscow: MPA.
- Kondrat'ev, N. B., Kazantsev, E. V., Osipov, M. V., Petrova, N. A., & Rudenko O. S. (2019). Issledovanie protsessa vlagoperenosa v syrtsovyykh pryanikakh s fruktovoi nachinkoi, izgotovlennykh s ispol'zovaniem razlichnykh vidov modifitsirovannogo krakhmala [Investigation of the moisture transfer process in raw gingerbread cakes with fruit filling made using various types of modified starch]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of Farm Products], (4), 35–46. <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.187>
- Kondrat'ev, N. B., Linovskaya, N. V., Parashina, F. I., Rudenko, O. S., & Savenkova, T. V. (2018a). Osobennosti sokhranosti vitaminov v shokolade [Features of the preservation of vitamins in chocolate]. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Murmansk State Technical University], 21(3), 481–487. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2018-21-3-481-487>
- Kondrat'ev, N. B., Osipov, M. V., Belova, I. A., & Savenkova, T. V. (2018b). Issledovanie soderzhaniya vitaminov v konditerskikh izdeliyakh s tsel'yu obespecheniya ikh sokhrannosti [Study of the vitamin content in confectionery products in order to ensure their safety]. *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo Federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya* [Scientific works of the North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking], 20, 191–195.
- Kondrat'ev, N. B., Rudenko, O. S., Krylova, E. N., Osipov, M. V., & Svyatoslavova, I. M. (2018c). Vliyanie tekhnologicheskikh faktorov na sokhrannost' vitaminov v konditerskikh izdeliyakh [The influence of technological factors on the safety of vitamins in confectionery]. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Ural State University], 6(3), 49–56. <https://doi.org/10.14529/food180306>
- Myagkonosov, D. S., Smykov, I. T., Abramov, D. V., Delitskaya, I. N., & Ovchinnikova, E. G. (2021). Vliyanie molokosertyvayushchikh fermentov zhivotnogo i mikrobnogo proiskhozhdeniya na kachestvo i srok khraneniya myagkikh syrov [The effect of milk-converting enzymes of animal and microbial origin on the quality and shelf life of soft cheeses]. *Pishchevye sistemy* [Food Systems], 4(4), 286–293. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-4-286-293>
- Osipov, M. V. (2011). *Razvitiye tekhnologii shokolada na osnove sovershenstvovaniya sistemy otsenki ego kachestva* [Development of chocolate technology based on the improvement of its quality assessment system] [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Russia.
- Osipov, M. V., Kondrat'ev, N. B., Rudenko, O. S., & Aksanova, L. M. (2010). Vliyanie massovoi doli obshchego sukhogo ostaika kakao-produktov na sroki godnosti shokolada [The effect of the mass fraction of the total dry residue of cocoa products on the shelf life of chocolate]. *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk* [Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences], (5), 47–48.
- Rudenko, O. S. (2018). *Razvitiye tekhnologii konditerskikh izdelii s ispol'zovaniem fruktovogo syr'ya na osnove sovershenstvovaniya sistemy otsenki kachestva* [Development of confectionery technology using fruit raw materials based on improving the quality assessment system] [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Russia.
- Rudenko, O. S., Parashina, F. I., Petrova, N. A., Yuzhakova, K. V., & Savenkova, T. V. (2018). Izmenenie soderzhaniya vitaminov pri proizvodstve i khranenii muchnykh konditerskikh izdelii [Changes in the content of vitamins in the production and storage of flour confectionery products]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], (12), 46–48.
- Sevost'yanova, E. M., & Danilyan, A. V. (2018). Obzor metodov «uskorenennogo stareniya» dlya obosnovaniya srokov godnosti produktov bezalkogol'noi otrassli [Review of the methods of «accelerated aging» to justify the shelf life of non-alcoholic products]. *Pivo i napitki* [Beer and Drinks], (3), 56–59.
- Sharafeddinova, A. A. (2000). Okislitel'nye i gidroliticheskie protsessy, protekayushchie v pralinovykh konfetakh s zamenitelyami kakao-produktov [Oxidative and hydrolytic processes occurring in praline candies with cocoa substitutes]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of Farm Products], (12), 37.
- Silenina, S. (2019). Trendy rossiiskogo konditerskogo rynka [Trends of the Russian confectionery market]. *Konditerskoe i khlebopекарное производство* [Confectionery and Bakery Production], (5–6), 14–16.
- Skokan, L. E., Kondrat'ev, N. B., Degtyareva, N. A., Aksanova, L. M., & Nechaev, A. P. (2001). Issledovanie protsessov okisleniya lipidov v obraztsakh galet pri dlitel'nom khranenii [Investigation of lipid oxidation processes in biscuit samples during long-term storage]. *Konditerskoe proizvodstvo* [Confectionery Production], (1), 40–41.
- Skokan, L. E., Kondrat'ev, N. B., Knopova, S. I., Funtikova, N. S., Minchuk, N. O., Aksanova, L. M., & Nechaev, A. P. (2001). Izuchenie sostava galet dlya obosnovaniya sokhrannosti ikh kachestva [Study of the composition of biscuits to justify the preservation of their quality]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of Farm Products], (7), 38–40.
- Stele, R. (2008). *Srok godnosti pishchevykh produktov: Raschet i ispytanije* [Shelf life of food products: Calculation and testing]. S-Petersburg: Professiya.
- Tkeshelashvili, M. E. (2017). Shokolad i shokoladnaya glazur', ustoichivye k «posedeniyu» [Chocolate and chocolate

- glaze resistant to “graying”]. *Konditerskoe proizvodstvo [Confectionery Production]*, (4), 27–29.
- Ancheta, A. K. G., Yaptenco, K. F., Mopera, L. E., Bainto, L. C., Lizardo, R. C. M., & Dizon, E. I. (2020). Accelerated shelf-life test (ASLT) of batuan fruit powder. *Food Research*, 4(4), 1254–1264. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(4\).018](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(4).018)
- Andrewes, P. (2022). Predicting the shelf-life of microbial-ly-stabilised dairy products: what are the roles of stability studies, storage trials, ‘accelerated’ trials, and dairy science. *International Dairy Journal*, 125, Article 105239. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105239>
- Barden, L., & Decker, E. A. (2013). Lipid oxidation in low-moisture food: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(15), 2467–2482. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.848833>
- Cartier, P. (2009). Accelerated Shelf-lifeTesting. Accelerated testing will confirm the performance of a product from production to the consumer. *The Manufacturing Confectioner*, 8, 53.
- Caruso, M. C., Galgano, F., Colangelo, M. A., Condelli, N., Scarpa, T., Tolve, R., & Favati, F. (2017). Evaluation of the oxidative stability of bakery products by OXITEST method and sensory analysis. *European food research & technology*, 243(7), 1183–1191. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2831-9>
- Chathuri, S. M., Harshani Algama, C., Wimalasekara, R. L., Weerakoon, W. N. M. T. D. N., Jayathilaka, N., & Seneviratne, K. N. (2019). Improvement of oxidative stability and microbial shelf life of vanilla cake by coconut oil meal and sesame oil meal phenolic extracts. *Journal of Food Quality*, 2019, Article 1263629. <https://doi.org/10.1155/2019/1263629>
- Choosuk, N., Meesuk, P., Renumarn, P., Phungamngoen, C., & Jakkranuhwat, N. (2022). Kinetic modeling of quality changes and shelf life prediction of dried coconut chips. *Processes*, 10(7), Article 1392. <https://doi.org/10.3390/pr10071392>
- Clodoveo, M. L., Muraglia, M., Fino, V., Curci, F., Fracchiolla, G., Rina Corbo, F. F. (2021). Overview on innovative packaging methods aimed to increase the shelf-life of cook-chill foods. *Foods*, 10(9), Article 2086. <https://doi.org/10.3390/foods10092086>
- Conte, L., Milani, A., Calligaris, S., Rovellini, P., Lucci, P., & Nicoli, M. C. (2020). Temperature dependence of oxidation kinetics of extra virgin olive oil (EVOO) and shelf-life prediction. *Foods*, 9(3), Article 295. <https://doi.org/10.3390/foods9030295>
- Corradini, M. G. (2018). Shelf life of food products: From open labeling to real-time measurements. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9, 251–269. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030117-012433>
- Ekafitri, R., Kurniawan, Y. R., Desnilasari, D., Surahman, D. N., & Indriati, A. (2021). Shelf-life assessment of energy banana bar using acceleration method with critical moisture content approach. *Food Science and Technology*, 41(1), 163–168. <https://doi.org/10.1590/fst.13120>
- Etsehiwot, G., & Hall, C. (2016) Oxidative stability and shelf life of foods containing oils and fats. In *Oxidative stability and shelf life of crackers, cookies, and biscuits department of plant sciences* (pp. 461–478). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-1-63067-056-6.00012-4>
- Flavio, E., Spanemberg, M., Korzenowski, A., & Sellitto, M. A. (2019). Effects of sugar composition on shelf life of hard candy: Optimization study using D-optimal mixture design of experiments. *Journal of Food Process Engineering*, 42(6), Article e13213. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13213>
- Hidayati, S., Sartika, D., Sutoyo, S., & Fudholi, A. (2022). Predict the shelf life of instant colate in vacuum packing by using accelerated shelf life test (ASLT). *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 9(2), 443–450. <https://doi.org/10.18280/mmep.090220>
- Hong-xin, J., Wen-Liang C., Xiao-Yan, Q., & Mi-Ya, S. (2019). The stability of milk-based infant formulas during accelerated storage. *CyTA — Journal of Food*, 17(1), Article 960104. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1561519>
- Jianga Y., Yang, X., Jin, H., Feng, X., Tian, F., Song, Y., Ren, Y., Man, C., & Zhang, W. (2021) Shelf-life prediction and chemical characteristics analysis of milk formula during storage. *LWT — Food Science and Technology*, 144, Article 111268. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111268>
- Khathir R., Yuliana, R., & Putra, B. S. (2019). The shelf-life prediction of sweet orange based on its total soluble solid by using arrhenius and q 10 approach. *Materials Science and Engineering*, 506, Article 012058. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/506/1/012058>
- Kozłowska, M., Zbikowska, A., Szpicer, A., & Półtorak, A. (2019). Oxidative stability of lipid fractions of sponge-fat cakes after green tea extracts application. *Journal of Food Science and Technology*, 56(55), 2628–2638. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03750-5>
- Labuza, T. P., & Hartel, R. W. (2013). Shelf life of confectionery products. *The Manufacturing Confectioner*, 3, 55.
- Labuza, T. P., & Riboh, D. (1982). Theory and application of arrhenius kinetics to the predication of nutrient losses in foods. *Food Technology*, 36(10), 66–74.
- Li, Y., Ding, S., & Wang, Y. (2022). Shelf life predictive model for postharvest shiitake mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 330, Article 111099. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111099>
- Man, C., & Jones, A. A. (1994). *Shelf Life Evaluation of Foods*. Springer Science Business Medis. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2095-5>
- Manzocco, L. (2020). Modeling the effect of the oxidation status of the ingredient oil on stability and shelf life of low-moisture bakery products: The case study of crackers. *Foods*, 9(6), Article 749. <https://doi.org/10.3390/foods9060749>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Altman, D., & Antes, G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses. *Plos Medicine*, 6(7), Article e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Moschopoulou, E., Moatsou, G., Syrokou, M. K., Paramithiotis, S., & Drosinos, E. H. (2019). Food Quality and Shelf Life. In *Food quality changes during shelf life* (pp. 1–13). Academic Press. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0>

- Nurhayati, R., Pratiwi, R., Anandito, R. B. K., Novita Herawati, E. R., & Angwar, M. (2018). Accelerated shelf life testing of chocomix using critical moisture content approach. *Reaktor*, 18(2), 63–70.
- Plotnikova, I. V., Zharkova, I. M., Magomedov, G. O., Magomedov, M. G., Khvostov, A. A., & Miroshnichenko, E. N. (2021). Forecasting and quality control of confectionery products with the use of “water activity” indicator. *Earth and Environmental Science*, 640, Article 062003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/6/062003>
- Prabhakar, H., Bock, C. H., Kerr, W. L., & Kong, F. (2022). Pecan color change during storage: Kinetics and Modeling of the Processes. *Current Research in Food Science*, 5, 261–271. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.015>
- Pulungan, M. H., Sukmana, A. D., & Dewi, I. A. (2018). Shelf life prediction of apple brownies using accelerated method. *Earth and Environmental Science*, 131, Article 012019 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/131/1/012019>
- Rahman, T., Sulaiman, N. F., Turmala, E., Andriansyah, R. C. E., Luthfiyanti, R., & Triyono, A. (2019). Shelflife prediction of biscuits prepared from modified suweg (Amorphophallus campanulatus B) flour using Arrhenius model. *Earth and Environmental Science*, 251, Article 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/251/1/012035>
- Renumarn, P., & Choosuk, N. (2020). Influence of packaging and storage conditions on the quality and shelf-life of chewy santol (Kraton-Yee) candies. *Web of Conferences*, 141, Article 02002 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014102002>
- Roduit, B., Albert Luyet, C., Hartmann, M., Folly, P., Sarbach, A., Dejeaifve, A., Dobson, R., Schroeter, N., Vorlet, O., Dabros, M., & Baltensperger, R. (2019). Continuous monitoring of shelf lives of materials by application of data loggers with implemented kinetic parameters. *Molecules*, 24(12), Article 2217. <https://doi.org/10.3390/molecules2412217>
- Soro, A. B., Noore, S., Hannon, S., Whyte, P., Bolton, D. J., O'Donnell, C., & Tiwari, B. K. (2021). Current sustainable solutions for extending the shelf life of meat and marine products in the packaging process. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100722. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100722>
- Spanemberg, F. E. M., Korzenowski, A. L., & Sellitto, M. A. (2019). Effects of sugar composition on shelf life of hard candy: Optimization study using D-optimal mixture design of experiments. *Journal of Food Process Engineering*, 45(5), Article e13213. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13213>
- Spanemberg, F. E. M., Sellitto, M. A., Porto, L. M., Cruz dos Santos, A., & Lemos Souza, Á. C. (2022). Shelf life estimation of glassy confections using moisture sorption isotherms. *Journal of Food Process Engineering*, 45(5), Article e14024. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14024>
- Subramaniam, P. (2007). Determining Shelf Life of Confectionery Products. *The Manufacturing Confectioner*, 6, 85.
- Subramaniam, P. J. (2009). Science and Technology of Enrobed and Filled Chocolate, Confectionery and Bakery Products. In *Shelf-life prediction and testing* (pp. 233–254). Leatherhead Food International, UK. <https://doi.org/10.1533/9781845696436.2.233>
- Taormina, P. J., & Hardin, M. D. (2021). *Food Safety and Quality-Based Shelf-life of Perishable Foods*. Springer.
- Torrieri, E. (2016). Storage stability: Shelf life testing. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 188–192). University of Naples Federico II, Portici. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00666-8>
- Wang, W., Hu, W., Ding, T., Ye, X., & Liu, D. (2018). Shelf-life prediction of strawberry at different temperatures during storage using kinetic analysis and model development. *Journal of Food Processing and preservation*, 42(8), Article e13693. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13693>
- Xu, Y., & Lu, L. (2022). The time-temperature tolerance theory behind thermal kinetic models for shelf-life prediction of common foods. *Food Science and Technology*, 42, Article e32722. <https://doi.org/10.1590/fst.32722>
- Zbikowska, A., Kozlowska, M., Poltorak, A., Kowalska, M., Rutkowska, J., & Kupiec, M. (2018). Effect of addition of plant extracts on the durability and sensory properties of oat flake cookies. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2(134), 1101–1111. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7301>
- Zhang, W., Luo, Z., Wang, A., Gu, X., & Lv, Z. (2021). Kinetic models applied to quality change and shelf life prediction of kiwifruits. *LWT – Food Science and Technology*, 138, Article 110610. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110610>
- Zhao, S., Han, X., Liu, B., Wang, S., Guan, W., Wu, Z., & Theodorakis, P. E. (2022). Shelf-life prediction model of fresh-cut potato at different storage temperatures. *Journal of Food Engineering*, 317, Article 110867. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110867>

УДК 532.5: 664.1

Анализ процесса кристаллизации сахарозы в условиях переменной диффузии

Московский государственный
университет технологий и управления
имени К. Г. Разумовского, г. Москва,
Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Грибкова Вера Анатольевна
Адрес: 109004, г. Москва,
ул. Земляной Вал, д. 73
E-mail: vera_gribkova@list.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:
данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Семенов, Е. В., Славянский, А. А., &
Грибкова, В. А. (2022). Анализ процесса
кристаллизации сахарозы в условиях
переменной диффузии. *Хранение
и переработка сельхозсырья*, (4), 40–51.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.394>

ПОСТУПИЛА: 08.08.2022

ПРИНЯТА: 29.08.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 14.10.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.



Е. В. Семенов, А. А. Славянский, В. А. Грибкова

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время в сахарной и крахмалопаточной промышленности при аналитическом и численном анализе процесса кристаллизации обычно используют допущения об изотермическом характере процесса, постоянстве коэффициента диффузии в растворе и др. В то же время обычно в теоретических исследованиях основанный на релогическом и кинетическом законах Фика аналитический инструментарий количественного анализа процесса кристаллизации сахарозы базируется на предполагаемом постоянным по величине коэффициенту диффузии. Однако проведенные рядом ученых опыты выявили быстрое снижение данного показателя при обессахаривании межкристального раствора в процессе кристаллизации сахарозы вместе с убыванием значения концентрации раствора, что снижает достоверность полученных на основе теории результатов расчета эффективности процесса, если в этих условиях игнорируется динамика изменения коэффициента диффузии. Отсюда вытекает актуальность и целесообразность постановки цели и задачи, решаемой в данной работе.

Цель. В данном исследовании авторами разрабатывается и численно проверяется схема расчета размера кристаллов и массы получаемого продукта в зависимости от времени кристаллизации с учетом динамики изменения коэффициента диффузии по содержанию сухого вещества в межкристальном растворе в течение всего процесса.

Материалы и методы. Теоретический эксперимент представленный в работе подтвержден экспериментальными данными, отражающими особенности кристаллообразования сахарозы в вакуум-аппарате.

Результаты. Выявлено согласие полученных результатов моделирования исследуемого процесса с физическим смыслом поставленной задачи, количественный анализ коррелированный с учетом фактора зависимости коэффициента диффузии от массового содержания сахарозы в растворе.

Выводы. В данной работе с учетом фактора зависимости характеризующего интенсивность молекулярного массопереноса коэффициента диффузии обоснована постановка задачи, аналитическая формализация и численный расчет, проверка адекватности полученных теоретических результатов опытным наблюдениям и физическому смыслу предмета исследования, применение полученных расчетных зависимостей для оценки эффективности работы вакуум-аппарата.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

процесс кристаллизации, коэффициент диффузии, моделирование процесса, вакуум-аппарат, пересыщение раствора, утфель, сахаросодержащий раствор, скопление частиц

Analysis of Sucrose Crystallization Process under Conditions of Variable Diffusion

Moscow State University of Technologies and Management named after K. G. Razumovsky, Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Vera A. Gribkova

73, Zemlyanoy Val, Moscow, 109004, Russian Federation
E-mail: vera_gribkova@list.ru

FOR CITATIONS:

Semenov, E. V., Slavyanskiy, A. A., & Gribkova V. A. (2022). Analysis of sucrose crystallization process under conditions of variable diffusion. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 40–51. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.394>

RECEIVED: 08.08.2022

ACCEPTED: 29.08.2022

PUBLISHED: 14.10.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Evgeny V. Semenov, Anatoly A. Slavyansky, Vera A. Gribkova

ABSTRACT

Background. Currently, in the sugar and starch industry, the analytical and numerical analysis of the crystallization process usually uses assumptions about the isothermal nature of the process, the constancy of the diffusion coefficient in solution, etc. At the same time, usually in theoretical studies, the analytical tools based on the rheological and kinetic laws of physics for the quantitative analysis of the sucrose crystallization process are based on the assumed constant value of the diffusion coefficient. However, experiments conducted by a number of scientists revealed a rapid decrease in this indicator during desaccharification of the intercrystal solution during the crystallization of sucrose, along with a decrease in the concentration of the solution, which reduces the reliability of the results obtained on the basis of the theory of calculating the efficiency of the process, if the dynamics of the diffusion coefficient change is ignored under these conditions. This implies the relevance and expediency of setting the goal and task to be solved in this work.

Purpose. In this study, the authors develop and numerically verify a scheme for calculating the size of crystals and the mass of the resulting product depending on the crystallization time, taking into account the dynamics of the diffusion coefficient change in the dry matter content in the intercrystal solution during the entire process.

Materials and Methods. The theoretical experiment presented in the paper is confirmed by experimental data reflecting the features of sucrose crystallization in a vacuum apparatus.

Results. The agreement of the obtained simulation results of the process under study with the physical meaning of the task was revealed, the quantitative analysis correlated with the factor of dependence of the diffusion coefficient on the mass content of sucrose in the solution.

Conclusion. In this paper, taking into account the dependence factor characterizing the intensity of molecular mass transfer of the diffusion coefficient, the formulation of the problem, analytical formalization and numerical calculation, verification of the adequacy of the obtained theoretical results to experimental observations and the physical meaning of the subject of the study, the use of the obtained calculated dependencies to evaluate the efficiency of the vacuum apparatus are justified.

KEYWORDS

crystallization process, diffusion coefficient, process modeling, vacuum apparatus, supersaturation of the solution, wafer, sugar-containing solution, accumulation of particles

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что рост кристалла является важнейшим показателем процесса уваривания утфеля, поскольку от размера кристалла зависит производительность кристаллизатора, качество утфеля, его цветность, потери сахара от разложения и влияющие на работу центрифуг фильтрационные показатели данной машины. В свою очередь, рост кристаллов зависит от доброточескенности пересыщения, вязкости, температуры раствора, от конструктивных особенностей перемешивающего устройства аппарата и др.

В сахарном производстве в качестве кристаллизатора используется включающий взвешенную в воде субстанцию из сахарозы и несахаров жидкостный раствор (утфель), где вода выступает в связанном с молекулами этой субстанции (гидратированном), а также в свободном виде. При определенном (метастабильном) режиме свободная жидкостная фаза раствора, как условно гомогенная жидкость, способна претерпевать фазовое превращение в гетерогенную жидкостную систему, когда частицы взвеси или специальным образом элементы приготовленной и интродуцированной в рабочий объем кристаллизатора затравки становятся центрами процесса кристаллизации сахарозы. В результате чего в кристаллизаторе инициируется процесс образования целевого продукта – сахара-песка, с выпадением этого продукта в осадок.

В настоящее время при аналитическом и численном анализе процесса кристаллизации во многих случаях используются допущения об изотермическом характере процесса, постоянстве коэффициента диффузии в растворе и др. Однако в реальных условиях при проведении этого процесса в результате обессахаривания раствора коэффициент диффузии изменяется в зависимости от концентрации сухого вещества в межкристальном растворе. Поэтому, учитывая, что исследования процесса кристаллизации сахарозы чаще всего базируются на постоянном по величине коэффициенте диффузии, то данное допущение приводит к снижению достоверности полученных на основе теории результатов расчета эффективности процесса кристаллизации. Откуда следует заключение об актуальности и целесообразности постановки и количественном анализе имитационного моделирования протекания исследуемого процесса, принимая во внима-

ние зависимость коэффициента диффузии от массового содержания сахарозы в растворе.

С этой целью в данном исследовании, с учетом динамики изменения коэффициента диффузии по содержанию сухого вещества в межкристальном растворе, предлагается алгоритм расчета по времени размера кристаллов и массоотдачи раствора при проведении процесса кристаллизации. С учетом фактора зависимости характеризующего интенсивность молекулярного массопереноса коэффициента диффузии обоснована постановка задачи, аналитическая формализация и численный расчет, реализована проверка на адекватность полученных теоретических результатов опытным наблюдениям и физическому смыслу исследуемой проблемы, предложено применение полученных расчетных зависимостей для оценки эффективности работы вакуум-аппарата.

Теоретические и прикладные вопросы генезиса и кинетики консолидации твердой фазы в растворах служат предметом пристального внимания в самых разнообразных областях науки и техники, как в нашей стране, так и за рубежом (металлургическая, химическая, пищевая и др. отрасли промышленности). В том числе, аналогичная ситуация отмечается в сахарной и крахмалопаточной промышленности (Сапронов, 1999; Семенов, 2021; Громовский и соавт., 2008; Каганов, 1968; Хворова, 2008; Хворова, 2008; Будак, 1956; Mantovani, 1991; Grimsey, 1994).

В плане освещения основ теории кристаллизации сахарозы, Сапроновым А.Р. (1999) рассмотрены такие влияющие на этот процесс вопросы как зависимость коэффициент насыщения от отношения несахар : вода; растворимости сахарозы в насыщенных и пересыщенных водных растворах как функции температуры; параметрическая по температуре зависимость вязкости растворов сахарозы от коэффициента пересыщения; зависимость вязкости насыщенных сиропов от температуры и чистоты растворов и др. Громковским А.И. и соавт. (2008) дано обоснование оптимальности проведения режима уваривания утфеля I кристаллизации. По их мнению традиционная, предусматривающая использование для заводки кристаллов сахарную пудру технология кристаллизации сахарозы, устарела. Утверждается, что дозирование сахарной пудры имеет второстепенное значение, так как пудра является только инициатором кристаллообразова-

ния, и количество введенных кристаллов значительно увеличивается от начала к концу процесса кристаллизации. В современных технологиях кристаллизации сахарозы для создания пересыщения и роста кристаллов нужно проводить дозировку затравочных материалов с учетом удельного, приходящегося на единицу массы готового утфеля, количества кристаллов (Громовский, 2008).

Каганов И.Н. (1968) в своих исследованиях по проблематике кристаллизации сахарозы установил: зависимости коэффициента диффузии межкристалльного раствора от температуры и содержания сухих веществ в сахарсодержащем растворе, зависимость удельной скорости роста кристалла от коэффициента диффузии. Что имеет важное значение для выявления закономерностей кристаллизации сахарозы как физико-химического процесса, и активно используется многими авторами при имитационном моделировании процесса конденсации твердой фазы в растворах (Семенов и соавт., 2021).

Хворовой Л.С. и Коваленко В.А. (2008), на базе введенного опытным путем кинетического показателя процесса – кристалло-химического коэффициента диффузии, при теоретическом моделировании исследованы вопросы кинетики кристаллизации глюкозы. Будак Б.М. и соавт. (1956), наряду с другими фундаментальными задачами математической физики, уделяется внимание и играющему ключевую роль в теоретических проблемах кристаллообразования в сахарном производстве фактору, а именно, формализации краевой задаче для дифференциального уравнения параболического типа.

Роль затравки в процессе кристаллизации сахарозы исследовали Громковский А.И. с соавт. (2008) и Grimsey I.M. (1994). Расчетная модель роста кристаллов в сахарсодержащем растворе была разработана Mantovani G. (1991). С теоретической точки зрения современных представлений расчеты кинетики кристаллизации сахарозы основывают на процессе диффузии молекул сахарозы, движущей силой которой является разница концентрации сахарозы в различных областях межкристалльного раствора (Сапронов, 1999; Зубченко, 1968; Славянский, 1988; Lu, 2017).

Зубченко А.В., с соавт. (1968) отмечали, что движущей силой кинетики кристаллизации сахарозы служит разница концентрации сахарозы в различ-

ных областях межкристалльного раствора, а образование зародышей новой фазы развивается во времени, являясь нестационарным процессом. Под действием тепловых флуктуаций в каждый момент времени зародыши изменяются по размерам, причем не все, а лишь достигшие определенной величины зародыши, которые становятся центрами кристаллизации. При этом часть из них может потерять по одной или две молекулы, переходя в более низкий размерный класс. Поэтому авторы считают, что фактическая скорость образования центров новой фазы будет меньше, чем теоретически вычисленная.

Влияние, вследствие теплового фазового перехода, дисперсного состава сахарозы на ее поведение в сахарсодержащем растворе является сферой научного интереса Lu и соавт. (2017). На основе закона сохранения массы и кинетического соотношения Фика проблему определения концентрации сахарозы в вакуум-аппарате в определенный период времени приравнивают к решению уравнения нестационарной диффузии частицы в определенном объеме раствора, прилегающем к частице, при принятии условий изотермичности протекания процесса и при сохранении постоянства коэффициента диффузии (Семенов, 2021; Громовский, 2008; Bogdanova, 2022; Харин, 1965).

Семенова Е.В. и соавт. (2021) представили обоснование и количественный анализ кинетики процесса кристаллизации сахарозы с учетом особенностей формы кристалла и диффузионных свойств раствора. Богданова Е.В. и соавт. (2022) занимались изучением энергии активации в системе сахароза-вода с различным содержанием воды. Этими авторами была дана оценка энергии активации энталпийной релаксации в системе сахароза-вода, причем выяснено, что вода уменьшает энергию активации процесса релаксации в сахарозе.

Харин С.Е. и соавт. (1965) анализировали физико-химические особенности кинетики фазовых переходов в пересыщенных растворах сахарозы. В сахарном и других смежных производствах в качестве кристаллизатора используют вакуум-аппарат, в котором рабочим телом является жидкостный раствор взвешенной в воде субстанции – сахарозы, несахаров или других веществ, а вода в растворе находится в связанном с молекулами этих веществ гидратированном или свободном виде. При опре-

деленном критическом (метастабильном) режиме жидкостный раствор в вакуум-аппарате, как гомогенная (условно) жидкость, претерпевает обусловленное пересыщением раствора фазовое превращение в гетерогенную жидкостную систему, в которой частицы взвеси или элементы затравки выступают в качестве центров кристаллизации. Ориентированный к центрам кристаллизации молекулярный поток согласно закону сохранения энергии, конденсируясь на поверхности центров кристаллизации, затормаживается до нулевого значения кинетической энергии, что приводит к выделению адекватному по величине, сопровождающейся резким повышением в окрестности центров кристаллизации температуры, количеству внутренней энергии (теплоты). То есть наряду с инициацией явления отвердевания (кристаллизации) в растворе фазовым с физической точки зрения имеет место другое фазовое явление, а именно, переход механической энергии — в теплоту. В этом состоят особенности протекания процесса кристаллизации в вакуум-аппарате, которые необходимо учитывать при количественное моделировании этого процесса.

Объектом количественного анализа данной статьи служит обогащенное элементами затравочно-го материала скопление полидисперсных частиц в пересыщенном растворе сахарного утфеля вакуум-аппарате. Предметом исследования является количественное моделирование процесса кристаллизации в рабочем объеме вакуум-аппарате. В отличие от известных аналогов, где проблема конденсации молекул сахарозы на центры кристаллизации рассматривается в условиях стационарного значения коэффициента диффузии, эта проблема исследуется как вызванная изменением концентрации дисперсной системы задача молекулярного переноса с зависящим от объемной концентрации сахарозы коэффициентом диффузии в растворе. Для исследования кинетики процесса кристаллизации этой системы сформулированы научные положения и физико-математическая модель задачи, решение ее на базе выбранного закона коэффициента диффузии, численное моделирование исследуемой проблемы, проверка на адекватность полученных теоретических результатов физическому смыслу и опытным наблюдениям.

Теоретическое обоснование

В производственном процессе кристаллизации согласно технологическим документам температура в вакуум-аппарате только приблизительно стационарна, а вот коэффициент диффузии в течении протекания процесса кристаллизации из-за изменения содержания сухих веществ в межкристальном растворе может значительно меняться.

Для подтверждения данного факта рядом исследователей были проведены измерения коэффициента диффузии в широком диапазоне концентраций сухих веществ (от 10 до 65 %) и интервала температур (от 20 до 70 °C), результаты которых позволили выразить зависимость коэффициента диффузии от концентрации в виде линейной функции

$$D(c) = -ac + b, \quad (1)$$

где c — концентрация сухих веществ; a и b — константы для определенной температуры.

В данном исследовании авторами была выбрана конечная температура межкристального раствора 70 °C (Каганов, 1968), в этом случае уравнение (1) будет иметь вид

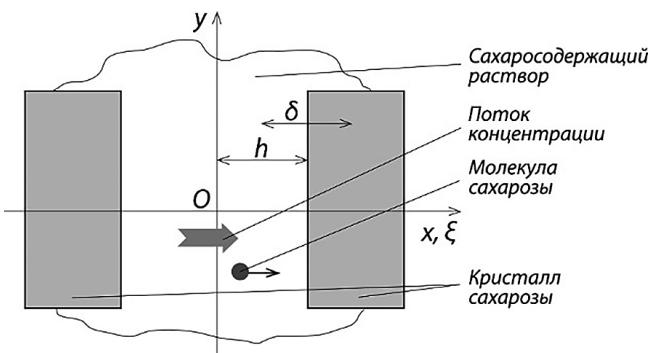
$$D(c) = -12,5c + 15,28. \quad (2)$$

Из анализа данных, представленных И.Н. Кагановым (1968) и уравнения (1) вытекает, что коэффициент диффузии D по мере увеличения температуры уменьшается в соответствии с содержанием в межкристальном растворе сахарозы (в мольных долях) и сухих веществ с увеличением скорости (с увеличивается) и значения D (b растет), что не противоречит общему физическому смыслу процесса кристаллизации.

Упомянутая выше модель процесса кристаллизации сахарозы (Рисунок 1) предполагает следующие исходные данные: образовавшиеся кристаллы сахарозы стандартной формы вытянутого параллелепипеда имеют примерно одинаковые геометрические параметры, центры кристаллизации в растворе расположены равномерно по всему объему и концентрация сахарозы в исходном межкристальном растворе одинакова по всему объему вакуум-аппарата (Семенов, 2003; Славянский, 1988; Frenzel, 2020; Verma, 2021). При условии

Рисунок 1

Геометрическая модель процесса кристаллизации сахарозы



принятия всех вышеперечисленных приближений в качестве рабочей геометрической модели процесса кристаллизации сахарозы можно использовать полупространство $0 \leq x \leq h$, окружающее частицу, ограниченное плоскостью $x = 0$, к которому из области $0 \leq x \leq h$, (где $2h$ – расстояние между пробными частицами) происходит диффузия молекулы сахарозы (Рисунок 1). Причем h связано с размером δ кристалла и объемной концентрацией ω твердого в обрабатываемой суспензии соотношением

$$h = \delta/\omega^{1/3}. \quad (3)$$

В этом случае для определения увеличения массы растущего кристалла применяют кинетическое уравнение диффузии (Будак, 1956)

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D(c) \frac{\partial c}{\partial x} \right], \quad 0 \leq x \leq h, \quad 0 < t < \infty, \quad (4)$$

где t – время, x – координата, D – коэффициент диффузии (2), рассчитывается по (3).

При условии, что исходный раствор сахарозы находится в состоянии пересыщения (c_n), то при решении уравнения (4) принимают начальное условие

$$c(x, 0) = c_n = \text{const}, \quad 0 \leq x \leq h \quad (5)$$

и, так как с течением времени в пограничной зоне растущего кристалла раствор сахарозы становится насыщенным (c_h), при этом в точке O (т.е. ровно посередине между двумя соседними кристаллами) концентрация сахарозы становится максимальной, в этом случае в качестве граничных условий выбирают

$$c(h, t) = c_h, \quad \frac{\partial c(0, t)}{\partial x} = 0, \quad 0 < t < \infty. \quad (6)$$

Вследствие этого поставленную краевую задачу приводят к решению нелинейного дифференциального уравнения (4) с начальным (5) и граничным (6) условиями.

В соответствии с общепринятой методологией граничные условия (6) можно преобразовать вводя переменную величину – приведенную концентрацию раствора (c') (Будак, 1956)

$$c = c' + c_n, \quad (7)$$

в результате чего граничные условия (5) становятся однородными по переменной c' :

$$c'(h, t) = 0, \quad (8)$$

$$\frac{\partial c(0, t)}{\partial x} = 0, \quad 0 < t < \infty. \quad (9)$$

В свою очередь, начальное условие (5) принимает вид

$$c'(x, 0) = \Delta c, \quad 0 \leq x \leq h, \quad (10)$$

где $\Delta c = c_n - c_h > 0$ – разность концентраций в начальный период времени.

При этом уравнение (3) по переменной c' вследствие (7) сохраняет свой вид

$$\frac{\partial c'}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D' \frac{\partial c'}{\partial x} \right), \quad (11)$$

где $D' = D(c')$.

Так как, решение (8)–(11) в аналитическом виде невозможно, это решение в дальнейшем реализуют используя метод осреднения.

С этой целью, предварительно, с небольшой погрешностью, начальное условие (10) заменяют его осредненным по прилегающей к кристаллу области $x \in (0, h)$ значением

$$\frac{1}{h} \int_0^h c'(x, 0) dx = \Delta c. \quad (12)$$

Следуя принятому способу решения поставленной задачи и интегрируя (11) по области $0 \leq x \leq h$, приходят к интегральному соотношению

$$\frac{d}{dt} \int_0^h c'(x, t) dx = D(c') \left(\frac{\partial c'}{\partial x} \right)_{x=h} - D(c') \left(\frac{\partial c'}{\partial x} \right)_{x=0}. \quad (13)$$

Вследствие граничного условия (9) выражение (13) упрощается, при

$$\frac{d}{dt} \int_0^h c'(x, t) dx = D(c') \left(\frac{\partial c_h}{\partial x} \right)_{x=h}. \quad (14)$$

Далее искомую функцию $c'(x, t)$ разыскивают в виде

$$c'(x, t) = \varphi(t) x^2 + M(t) x + N(t). \quad (15)$$

Поэтому

$$\frac{\partial c'}{\partial x} = 2\varphi(t) x + M(t). \quad (16)$$

Подставляя (16) в (9), получают $M(t) = 0$.

В свою очередь, согласно (8), (15)

$$N(t) = -\varphi(t)h^2.$$

В результате чего функцию c' преобразуют к виду

$$c'(x, t) = \varphi(t)(x^2 - h^2). \quad (17)$$

Кроме того, вследствие (16)

$$\left(\frac{\partial c'}{\partial x} \right)_{x=h} = 2\varphi(t)h.$$

Поэтому выражение (14) принимает форму

$$\frac{d}{dt} \int_0^h c'(x, t) dx = D(c_h) \varphi(t)h. \quad (18)$$

Подставляя (16) в (18), имеют

$$\frac{d\varphi}{dt} \int_0^h (x^2 - h^2) dx = 2D(c_h) \varphi(t)h$$

Откуда получают дифференциальное уравнение по φ

$$\frac{d\varphi}{dt} = -3D(c_h) \varphi/h^2,$$

интегрируя которое, имеют

$$\varphi(t) = G_0 \exp(-\alpha t), \quad (19)$$

где G_0 — произвольная постоянная,

$$\alpha = \frac{3D(c_h)}{h^2}, \text{ с}^{-1}$$

удельное значение коэффициента диффузии.

Причем, так как в соответствии с (7) $c_h = 0$ то параметр α принимает вид

$$\alpha = \frac{3D(0)}{h^2}. \quad (20)$$

Подставляя (16), (19), (20) в (11), приходят к условию для определения G_0

$$\frac{1}{h} \int_0^h c'(x, 0) dx = \frac{1}{h} \int_0^h G_0(x^2 - h^2) dx = \Delta c,$$

откуда, получают

$$G_0 = -\frac{1,5\Delta c}{h^2} \quad (21)$$

В результате, согласно (19), (21), имеют

$$\varphi(t) = -\frac{1,5\Delta c}{h^2} \exp(-\alpha t)$$

и в силу (17)

$$c'(x, t) = -\frac{1,5\Delta c}{h^2} (x^2 - h^2) \exp(-\alpha t). \quad (22)$$

Поэтому в соответствии с (7) истинная концентрация сахарозы в растворе определяется по

$$c = c_h + c', \quad (23)$$

где c' вычисляется согласно (22).

Выведенное уравнение приведенной концентрации $c'(x, t)$ имеет удобную аддитивно-мультипликативную форму для количественного и качественного анализа. Из полученного выражения видно что, концентрация сахарозы c_h пропорциональна разности концентрации Δc , а, так как $\alpha > 0$, то согласно (23) концентрация сахарозы убывает с течением времени t и, тем быстрее, чем больше коэффициент диффузии D , а в фиксированный момент времени концентрация межкристального раствора возрастает по x .

Отмеченные особенности процесса кристаллообразования соответствуют физической стороне описываемого явления.

На базе зависимости (23) рассчитывают объемный и массовый расход сахарозы в процессе кристаллообразования в вакуум-аппарате.

Объемный расход (поток концентрации), как объем осаждаемой на единице поверхности кристалла

сахарозы в единицу времени, согласно (22), (23) вычисляется по зависимости

$$j(t)_{x=h} = -D(c_h) \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right)_{x=h} = -D(c_h) \frac{3\Delta c}{h} \exp(-\alpha t), \\ (m^3/c)/m^2 = m/c. \quad (24)$$

На основе (24), интегрированием по периоду времени τ , вычисляют отнесенный к единице поверхности пробной частицы полный массовый расход сахарозы

$$W(\tau) = \rho \int_0^\tau j(t) dt, \text{ кг/м}^2, \quad (26)$$

где $j(t)$ рассчитывают согласно (24), ρ — плотность сахарозы.

В допущении, что частицы сахарозы имеют шарообразную форму диаметром δ , объемом $\pi\delta^3/6$, с площадью поверхности частицы $s = \pi\delta^2$ и скоплением N частиц сахарозы в 1 м³

$$N = 6/(\pi\delta^3), 1/m^3,$$

общая площадь поверхности частиц в 1 м³ составит

$$S = \frac{6\omega}{\delta}, \text{ м}^2, \quad (27)$$

где ω — объемное содержание твердого (сахара) в 1 м³ сахарсодержащей суспензии (утфеля).

Поэтому за период времени τ в 1 м³ утфеля образуется масса сахара в процессе кристаллообразования в вакуум-аппарате

$$Q = WS, \text{ кг}, \quad (28)$$

где W вычисляется по (26), S — по (27).

Поскольку согласно определению понятия потока концентрации j выполняется зависимость

$$\frac{dV}{dt} = sj, \quad (29)$$

где $V = \pi\delta^3/6$ — объем частицы, δ — ее диаметр, $s = \pi\delta^2$ — площадь поверхности частицы. J — вычисляется по (24), и поэтому $dV = \pi\delta^2 d\delta/2$, то исходя из (29), вытекает соотношение

$$d\delta = 2jdt,$$

откуда, интегрируя по периоду времени τ получают приращение $\Delta\delta$ диаметра пробной частицы

$$\Delta\delta = 2 \int_0^\tau j dt. \quad (30)$$

Формула (30) используется для расчета приращения диаметра кристалла в результате укрупнения его при конденсации на нем молекул сахарозы.

Численный эксперимент

В качестве исходных параметров задачи выбирают: $c_h = 0,8$; $c_n = 0,8$; $\delta = 10^{-4}, 2 \cdot 10^{-4}$, м — соответственно, концентрация насыщенного и пересыщенного раствора и размер пробного кристалла, $\omega = 0,5$ — объемное содержание твердого в утфеле [1].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект

Объектом количественного анализа данной статьи служит обогащенное элементами затравочного материала скопление полидисперсных частиц в пересыщенном растворе сахарного утфеля. Предметом исследования является количественное моделирование процесса кристаллизации в рабочем объеме вакуум-аппарата.

Оборудование

Рабочий объем вакуум-аппарата продуктового отделения сахарного завода для уваривания и кристаллизации сахарозы.

Инструменты

Числовые расчеты по формулам (22)-(29) проводили на базе информационной системы Mathcad (Кудрявцев, 2001).

Методы

Методом исследования являются методы физико-математического и количественного моделирования процессов тепло- и массопереноса гетерогенных жидкостных систем. В плане реализации метода исследования предварительно исходят из ряда упрощающих анализ протекания процесса допущений.

Процедура исследования

Для исследования кинетики процесса кристаллизации этой системы сформулированы научные положения и физико-математическая модель задачи, решение ее на базе выбранного закона коэффициента диффузии, численное моделирование исследуемой проблемы, проверка на адекватность полученных теоретических результатов физическому смыслу и опытным наблюдениям.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Поставленная и количественно исследованная в работе проблема, с учетом установленной экспериментальным путем Кагановым И.Н. зависимости коэффициента диффузии от содержания сухих веществ в сахарсодержащем растворе, изучается впервые.

На Рисунках 2–4 приведены графики кривых, отражающих особенности кристаллообразования сахара в вакуум-аппарате. Причем результаты вычислений (Рисунки 2–4) не показывают расхождение результатов, полученных в ходе количественного моделирования процесса с его физическим смыслом.

Например, на Рисунке 2 видно, что снижение концентрации сахара в растворе с течением времени начинает уменьшаться. Что подтверждается данными Хворовой Л.С. и Коваленок В.А. (2008); Семенова Е.В., Славянского А.А., Грибковой В.А. (2021).

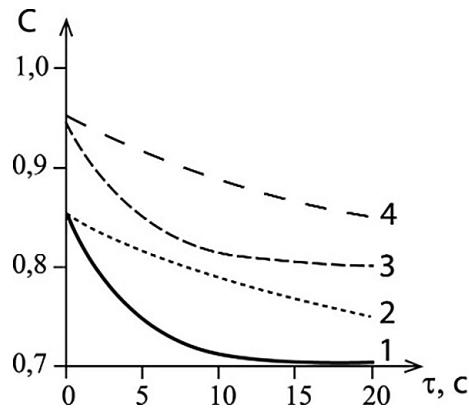
В то же время в каждый момент времени, при одинаковой концентрации, из-за снижения удельной поверхности частицы в ходе процесса, подача сахара из раствора к частице уменьшается, что наглядно иллюстрируют кривые на Рисунке 3.

В свою очередь, также из-за снижения удельной поверхности частицы и, следовательно, вследствие снижения подачи сахара к нему, время обработки раствора растет (Рисунок 3).

В целом, из анализа асимптотики кривых (Рисунки 2, 3) по расчету пробного примера следует: процесс кристаллизации сахара практически завершается примерно к 20 с, и для активизации процесса варе необходимо утфель раскачивать, обогащая его пересыщенным сиропом сахара.

Рисунок 2

Зависимость концентрации сахара в межкристальном растворе от времени τ (с) проведения процесса кристаллизации, с использованием затравки с различным диаметром частиц δ и значений насыщенной c_h и пересыщенной c_n концентрации при фиксированной концентрации ω твердой фазы в утфеле ($\omega = 50\%: c_h = 0,7; c_h = 0,8: 1 - \delta = 10^{-4}, 2 - \delta = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}; c_h = 0,8; c_h = 0,9: 3 - \delta = 10^{-4}, 4 - \delta = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$)



На базе формулы (30) проведен отраженный (Рисунок 4) расчет возрастания размера пробной частицы в течение периода ее кристаллизации.

Визуальный анализ кривых Рисунок 4, в силу структурной идентичности формул (26) и (30), выявляет и сходство особенностей поведения графиков этих рисунков, и, как следствие, тождественность кинетики описываемых графиками процессов. В част-

Рисунок 3

Зависимость массы (кг) сахара в 1 м^3 объема вакуум-аппарата от времени τ (с) проведения процесса кристаллизации, с использованием затравки с различным диаметром частиц δ и значений насыщенной c_h и пересыщенной c_n концентрации при фиксированной концентрации ω твердой фазы в утфеле ($\omega = 50\%: c_h = 0,7; c_h = 0,8: 1 - \delta = 10^{-4}, 2 - \delta = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}; c_h = 0,8; c_h = 0,9: 3 - \delta = 10^{-4}, 4 - \delta = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$)

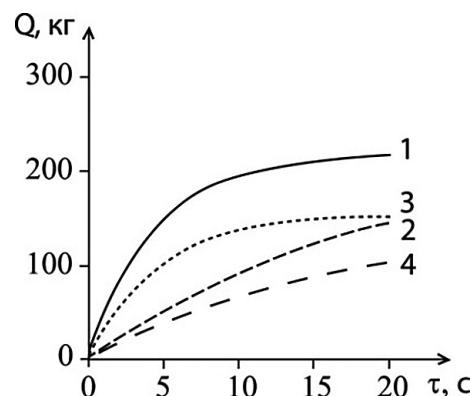
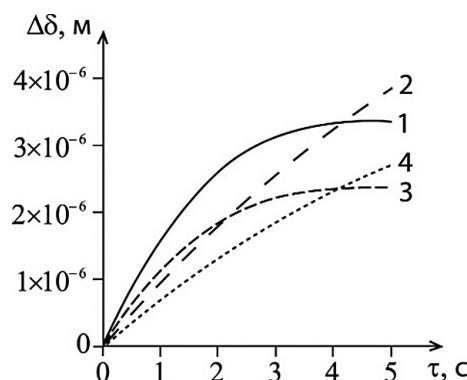


Рисунок 4

Зависимость приращения диаметра $\Delta\delta$ кристалла в результате его укрупнения от времени τ (с) проведения процесса кристаллизации, с использованием затравки с различным диаметром частиц δ и значений насыщенной c_n и пересыщенной c_p концентрации при фиксированной концентрации ω твердой фазы в утфеле ($\omega = 50\%: c_n = 0,7; c_p = 0,8$:
1 – $\delta = 10^{-4}$, 2 – $\delta = 2 \cdot 10^{-4}$ м; $c_n = 0,8; c_p = 0,9$: 3 – $\delta = 10^{-4}$, 4 – $\delta = 2 \cdot 10^{-4}$ м)



ности, вследствие большей по величине удельной поверхности частиц меньшего размера, диаметр этих частиц возрастает быстрее, чем диаметр более крупных частиц. Что согласуется с данными Хворовой Л.С. и Коваленок В.А. (2008); Семенова Е.В. и соавт. (2021).

ВЫВОДЫ

Обоснована физико-математическая модель по прогнозированию процесса кристаллизации сахараозы в растворе.

Результаты, полученные в ходе проведения исследования, можно сформулировать в следующем виде: (1) на основе модели диффузионного массопереноса сахараозы из пересыщенного межкристального раствора к элементам затравки шарообразной формы обосновывается физико-математическая модель прогнозирования процесса

кристаллизации сахараозы; (2) разработан алгоритм расчета роста кристалла сахараозы в зависимости от времени и изменения коэффициента диффузии по содержанию сухого вещества в растворе, что на базе информационных технологий создает предпосылки эффективно реализовать практические расчеты при обосновании и проектировании прогрессивных видов кристаллизаторов; (3) дается оценка времени обессахаривания раствора в результате протекания процесса кристаллизации; (4) представленный алгоритмический инструментарий количественного анализа процесса кристаллизации сахараозы базируется на использовании опытных данных кинетики молекулярного диффузионного массопереноса; (5) подтверждена правильность полученных результатов расчета с использованием представленного алгоритма с физическим смыслом исследуемого процесса.

Дальнейшее исследование по предмету статьи может быть проведено с изучением модели шарообразной формы вместо геометрической модели кристалла сахараозы в виде пластины.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Семенов Е. В.: методология, руководство исследованием, создание рукописи и ее редактирование, создание черновика рукописи.

Славянский А. А.: Концептуализация, методология, руководство исследованием, формальный анализ.

Грибкова В. А.: проведение исследования, ресурсы, создание рукописи и ее редактирование, создание черновика рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

- Громковский, А. И., Последова, Ю. И., & Бражников, Н. Н. (2008). Оптимальный режим уваривания утфеля I продукта. *Сахар*, (8), 54–56.
- Зубченко, А. В., Харин, С. Е., & Левин, Ю. Н. (1968). Не-стационарный режим образования новой фазы в пересыщенных растворах сахарозы. Известия высших учебных заведений. *Пищевая технология*, (1), 136–139.
- Каганов, И. Н. (1968). *Процесс кристаллизации сахара* [Докторская диссертация, Московский технологический институт пищевой промышленности]. М., Россия.
- Мищук, Р. Ц. (2012). Скрытая теплота на основных процессах сахарного производства. *Сахар*, (1), 51–54.
- Семенов, Е. В., Славянский, А. А., Грибкова, В. А. (2021). Моделирование процесса роста кристаллов сахарозы в сахарсодержащем растворе. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 83(1), 62–70. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-62-70>
- Семенов, Е. В., Славянский, А. А., Мойсеяк, М. Б., Штерман, С. В., & Ильина, В. В. (2003). Кристаллизация сахарозы как диффузионный процесс. *Сахар*, (1), 48–51.
- Славянский, А. А., & Сапронов, А. Р. (1988). Пути повышения качества и выхода сахара-песка. *Международный сельскохозяйственный журнал*, (6), 75–80.
- Славянский, А. А., Грибкова, В. А., Николаева, Н. В., & Митрошина, Д. П. (2021). Физико-химические основы промышленной кристаллизации сахарозы. *Сахар*, (4), 28–33. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2021-4-28-33>
- Харин, С. Е., Зубченко, А. В., & Левин, Ю. Н. (1969). Кинетика фазовых переходов в пересыщенных растворах сахарозы. *Коллоидный журнал*, 31(1), 147–152.
- Хворова, Л. С. (2008). Влияние реологических свойств утфелей на кинетику кристаллизации гидратной глюкозы. *Сахар*, (6), 2–5.
- Хворова, Л. С., & Коваленок, В. А. (2008). Математическое моделирование кинетики кристаллизации глюкозы. *Хранение и переработка сельхозсыпьев*, (5), 45–48.
- Штангеев, К. О., Скорик, К. Д., & Штангеева, Н. И. (2021). Теплотехнические и технологические аспекты совершенствования продуктового отделения свекло-сахарного завода. *Сахар*, (12), 20–25. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2021-12-20-25>
- Bogdanova, E., & Kocherbitov, V. (2022). Assessment of activation energy of enthalpy relaxation in sucrose-water system: effects of DSC cycle type and sample thermal history. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147(1), 9695–9709. <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11250-6>
- Frenzel, S. (2020). Crystallization schemes in the sugar industry. *ChemBioEng*, 7(5), 159–166. <https://doi.org/10.1002/cben.202000010>
- Grimsey, I. M., & Herrington, T. M. (1994). The formation of inclusions in sucrose crystals. *International Sugar Journal*, 96(1152), 504–514.
- Li, L., Guo, S., & Li, B. (1996). Study on the hydrodynamic problems in the crystal growth from solution. *Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition*, 6, 25–29.
- Lu Y., Yin, L., Gray, D. L., & Thomas, L. (2017). Impact of sucrose crystal composition and chemistry on its thermal behavior. *Journal of Food Engineering*, 214, 193–208. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.016>
- Lu Y., Yin, L., Gray, D. L., & Thomas, L. (2018). Unraveling the wide variation in the thermal behavior of crystalline sucrose using an enhanced laboratory recrystallization method. *Crystal Growth & Design*, 18(2), 1070–1081. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.7b01526>
- Mantovani, G. (1991). Growth and morphology of sucrose crystal. *International Sugar Journal*, 93(1106), 23–32.
- Mikhailik, V. A., Dmitrenko, N. V., & Snezhkin, Y. F. (2019). Investigation of the influence of hydration on the heat of evaporation of water from sucrose solutions. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 92(4), 916–922. <https://doi.org/10.1007/s10891-019-02003-8>
- Ouiazzane, S., Messnaoui, B., Abderafi, S., Wouters, J., & Bounahmidi, T. (2008). Modeling of sucrose crystallization kinetics: The influence of glucose and fructose. *Journal of Crystal Growth*, 310(15), 3498–3503. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysGro.2008.04.042>
- Verma, P., Iyer, S. R., Shah, N., & Mahajani, S. (2021). Insights into the crystallization phenomenon in the production of non-centrifugal sugar. *Journal of Food Engineering*, 290, Article 110259. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110259>
- Wang, Y., Zheng, Y., Zhou, R., & Ma, M. (2022). Kinetic studies on soluble sugar profile in rice during storage: Derivation using the Laplace transform. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76, Article 102915. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102915>

REFERENCES

- Gromkovskii, A. I., Posledova, Yu. I., & Brazhnikov, N. N. (2008). Optimal'nyi rezhim uvarivaniya utfelya I produkta [The optimal mode of boiling the wafer I of the product]. *Sakhar [Sugar]*, (8), 54–56.
- Kaganov, I. N. (1968). *Protsess kristallizatsii sakharu [Sugar crystallization process]* [Doctoral Dissertation, Moskovskii tekhnologicheskii institut pishchevoi promyshlennosti]. Moscow, Russia.
- Kharin, S. E., Zubchenko, A. V., & Levin, Yu. N. (1969). Kinetika fazovykh perekhodov v peresyshchennykh rastvorakh sakharozы [Kinetics of phase transitions in supersaturated sucrose solutions]. *Kolloidnyi zhurnal [Colloidal Journal]*, 31(1), 147–152.
- Khvorova, L. S. (2008). Vliyanie reologicheskikh svoistv utfelei na kinetiku kristallizatsii gidratnoi glyukozy [Influence of rheological properties of wafers on the kinetics of hydrated glucose crystallization]. *Sakhar [Sugar]*, (6), 2–5.
- Khvorova, L. S., & Kovalenok, V. A. (2008). Matematicheskoe modelirovanie kinetiki kristallizatsii glyukozy [Mathematical modeling of glucose crystallization kinetics]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and Processing of Farm Products]*, (5), 45–48.
- Mishchuk, R. Ts. (2012). Skrytaya teplota na osnovnykh protsessakh sakharnogo proizvodstva [Latent heat in the main processes of sugar production]. *Sakhar [Sugar]*, (1), 51–54.
- Semenov, E. V., Slavyanskii, A. A., Gribkova, V. A. (2021). Modelirovaniye protsessa rosta kristallov sakharozы v sakharsoderzhashchem rastvore [Modeling of the growth of sucrose crystals in a sugar-containing solution]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies]*, 83(1), 62–70. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-62-70>
- Semenov, E. V., Slavyanskii, A. A., Moiseyak, M. B., Shterman, S. V., & Il'ina, V. V. (2003). Kristallizatsiya sakharozы kak diffuzionnyi protsess [Sucrose crystallization as a diffusion process]. *Sakhar [Sugar]*, (1), 48–51.
- Shtangeev, K. O., Skorik, K. D., & Shtangeeva, N. I. (2021). Teplotekhnicheskie i tekhnologicheskie aspekty sovershenstvovaniya produktovogo otdeleniya sveklosakhar-nogo zavoda [Heat engineering and technological aspects of improving the product department of the sugar beet plant]. *Sakhar [Sugar]*, (12), 20–25. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2021-12-20-25>
- Slavyanskii, A. A., & Sapronov, A. R. (1988). Puti povysheniya kachestva i vkhoda sakhara-peska [Ways to improve the quality and yield of granulated sugar]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal [International Agricultural Journal]*, (6), 75–80.
- Slavyanskii, A. A., Gribkova, V. A., Nikolaeva, N. V., & Mitroshina, D. P. (2021). Fiziko-khimicheskie osnovy promyshlennoi kristallizatsii sakharozы [Physico-chemical bases of industrial crystallization of sucrose]. *Sakhar [Sugar]*, (4), 28–33. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2021-4-28-33>
- Zubchenko, A. V., Kharin, S. E., & Levin, Yu. N. (1968). Nestationarnyi rezhim obrazovaniya novoi fazy v peresyshchennykh rastvorakh sakharozы [Non-stationary mode of formation of a new phase in supersaturated sucrose solutions]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya [News of Higher Educational Institutions. Food Technology]*, (1), 136–139.
- Bogdanova, E., & Kocherbitov, V. (2022). Assessment of activation energy of enthalpy relaxation in sucrose-water system: effects of DSC cycle type and sample thermal history. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147(1), 9695–9709. <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11250-6>
- Frenzel, S. (2020). Crystallization schemes in the sugar industry. *ChemBioEng*, 7(5), 159–166. <https://doi.org/10.1002/cben.202000010>
- Grimsey, I. M., & Herrington, T. M. (1994). The formation of inclusions in sucrose crystals. *International Sugar Journal*, 96(1152), 504–514.
- Li, L., Guo, S., & Li, B. (1996). Study on the hydrodynamic problems in the crystal growth from solution. *Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition*, 6, 25–29.
- Lu Y., Yin, L., Gray, D. L., & Thomas, L. (2017). Impact of sucrose crystal composition and chemistry on its thermal behavior. *Journal of Food Engineering*, 214, 193–208. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.016>
- Lu Y., Yin, L., Gray, D. L., & Thomas, L. (2018). Unraveling the wide variation in the thermal behavior of crystalline sucrose using an enhanced laboratory recrystallization method. *Crystal Growth & Design*, 18(2), 1070–1081. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.7b01526>
- Mantovani, G. (1991). Growth and morphology of sucrose crystal. *International Sugar Journal*, 93(1106), 23–32.
- Mikhailik, V. A., Dmitrenko, N. V., & Snejzhkin, Y. F. (2019). Investigation of the influence of hydration on the heat of evaporation of water from sucrose solutions. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 92(4), 916–922. <https://doi.org/10.1007/s10891-019-02003-8>
- Ouiazzane, S., Messnaoui, B., Abderafi, S., Wouters, J., & Bounahmidi, T. (2008). Modeling of sucrose crystallization kinetics: The influence of glucose and fructose. *Journal of Crystal Growth*, 310(15), 3498–3503. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgr.2008.04.042>
- Verma, P., Iyer, S. R., Shah, N., & Mahajani, S. (2021). Insights into the crystallization phenomenon in the production of non-centrifugal sugar. *Journal of Food Engineering*, 290, Article 110259. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110259>
- Wang, Y., Zheng, Y., Zhou, R., & Ma, M. (2022). Kinetic studies on soluble sugar profile in rice during storage: Derivation using the Laplace transform. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76, Article 102915. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102915>

УДК: 634:635:635.1

Разработка сводной матрицы биологизации процессов формирования качества и предотвращения потерь овощей и фруктов в системе «производство – транспортирование – хранение – реализация»

Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства виноградарства, виноделия, г. Краснодар, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Першакова Татьяна Викторовна

Адрес: 350072, Краснодарский край,

г. Краснодар,

улица Тополиная аллея, д.2

E-mail: 7999997@inbox.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования

доступны по запросу

у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Першакова, Т. В., Купин, Г. А., Яковлева, Т. В., Горлов, С. М., Алёшин, В. Н., & Бабакина, М. В. (2022). Разработка сводной матрицы биологизации процессов формирования качества и предотвращения потерь овощей и фруктов в системе «производство – транспортирование – хранение – реализация»: обзор предметного поля. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 52–65. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.299>

ПОСТУПИЛА: 17.03.2022

ПРИНЯТА: 02.10.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 14.10.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. Обеспечение населения плодовоовощной продукцией обеспечивается эффективной организацией её производства, сбора, транспортирования, хранения и реализации. Снижение качества и количественные потери обуславливаются как естественными причинами (особенности сорта, степень зрелости, старение, физиологические процессы и т.д.), так и воздействием внешних факторов. В настоящее время, несмотря на значительное количество исследований в сфере эффективных технологий хранения, вопрос сохранения качества и снижения потерь не рассматривается как комплекс взаимосвязанных этапов и звеньев: выбор сорта с генетически обусловленной лёгкостью, агротехнические приёмы в процессе выращивания, организация сбора, транспортирования, хранения и реализация конечному потребителю. При этом биотехнологические подходы для решения задач повышения лёгкости на всех этапах по сравнению с традиционными методами являются более экономичными и экологичными.

Цель. Актуализация направления дальнейших исследований в сфере повышения лёгкости продукции растениеводства, формирование сводной матрицы биологизации процессов формирования качества и предотвращения потерь овощей и фруктов на всех этапах системы «производство – транспортирование – хранение – реализация» на основе определения основных этапов, элементов и угроз, приводящих к потерям и снижению качества.

Материалы и методы. Для проведения исследования был осуществлён поиск релевантных в контексте исследования источников в базах данных РИНЦ, Web of Science, Scopus, PATENTSCOPE; проведён обзор научных статей, монографий, материалов конференций, авторефератов диссертаций, патентов, опубликованных на русском и иностранных языках в профильных рецензируемых журналах, посвящённых тематике обеспечения сохранения качества и снижения потерь продукции растениеводства. Извлечённая информация была концептуализирована и систематизирована.

Результаты. В результате проведённого анализа впервые была сформирована сводная матрица биологизации процессов формирования качества и предотвращения потерь на всех этапах системы «производство – транспортирование – хранение – реализация», применение которой позволит сформировать актуальные направления исследований и в дальнейшем разработать алгоритмы повышения лёгкости для различных видов фруктов и овощей.

Выводы. Формой внедрения полученных результатов станут регламенты, технические условия, технологические инструкции, обеспечивающие снижение потерь и увеличение сроков хранения продукции растениеводства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

овощи, фрукты, производство, лёгкость, сбор, транспортирование, биотехнологии, снижение потерь, подготовка к хранению, технологии хранения

Development of a Summary Matrix of Biologization of the Processes of Quality Formation and Prevention of Losses of Vegetables and Fruits in the System "Production – Transportation – Storage – Sale"

Krasnodar Research Institute of Agricultural Products Storage and Processing, branch of North-Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture & Viniculture, Krasnodar, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Tatiana V. Pershakova
2, Topolinaya alleya str., Krasnodar, 350072, Russian Federation
E-mail: 7999997@inbox.ru

FOR CITATIONS:

Pershakova, T. V., Kupin, G. A., Yakovleva, T. V., Gorlov, S. M., Aleshin, V. N., & Babakina, M. V. (2022). Development of a summary matrix of biologization of the processes of quality formation and prevention of losses of vegetables and fruits in the system "Production – Transportation – Storage – Sale". *Storage and processing of Farm Products*, (4), 52–65. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.299>

RECEIVED: 17.03.2022

ACCEPTED: 02.10.2022

PUBLISHED: 14.10.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Tatiana V. Pershakova, Grigory A. Kupin, Tatyana V. Yakovleva, Sergey M. Gorlov, Vladimir N. Alyoshin, Maria V. Babakina

ABSTRACT

Background. Providing the population with fruit and vegetable products is ensured by the effective organization of its production, collection, transportation, storage and sale. The decline in quality and quantitative losses are caused by both natural causes (varietal characteristics, degree of maturity, aging, physiological processes, etc.) and the influence of external factors. At present, despite a significant amount of research in the field of efficient storage technologies, the issue of maintaining quality and reducing losses is not considered as a complex of interrelated stages and links: the choice of a variety with a genetically determined keeping quality, agricultural practices in the growing process, organization of collection, transportation, storage and sale to the end user. At the same time, biotechnological approaches to solving the problems of increasing quality at all stages are more economical and environmentally friendly compared to traditional methods.

Purpose. Actualization of the direction of further research in the field of increasing the keeping quality of crop products, the formation of a summary matrix of biologization of the processes of formation of quality and prevention of losses of vegetables and fruits at all stages of the system "production - transportation - storage - sale" based on the definition of the main stages, elements and threats leading to losses and declining quality. The extracted information was conceptualized and systematized.

Materials and Methods. To conduct the study, a search was made for sources relevant in the context of the study in the databases of the RSCI, Web of Science, Scopus, PATENTSCOPE; a review of scientific articles, monographs, conference materials, abstracts of dissertations, patents published in Russian and foreign languages in specialized peer-reviewed journals devoted to the subject of ensuring the preservation of quality and reducing losses in crop production was carried out.

Results. As a result of the analysis, for the first time, a summary matrix of biologization of the processes of quality formation and loss prevention was formed at all stages of the "production – transportation – storage – sale" system, the use of which will allow the formation of relevant research areas and further development of algorithms for increasing the keeping quality for various types of fruits and vegetables.

Conclusion. The form of implementation of the obtained results will be regulations, technical conditions, technological instructions that reduce losses and increase the shelf life of crop products.

KEYWORDS

vegetables, fruits, production, keeping quality, collection, transportation, biotechnologies, loss reduction, preparation for storage, storage technologies

ВВЕДЕНИЕ

Биологическая и питательная ценность свежих овощей и фруктов обеспечивает им высокую популярность среди потребителей во всем мире, является причиной постоянного роста потребления и, как следствие, обуславливает проведение значительного количества фундаментальных и прикладных исследований в сфере их эффективного выращивания, транспортирования, хранения и реализации (Jaiswal, 2020; Kapp, & Summer, 2019). Качество свежих овощей и фруктов быстро ухудшается на всех этапах от поля до конечного потребителя, что приводит к сокращению срока годности, снижению пищевой и экономической ценности в связи с чем, обеспечение лёгкости является основной проблемой, решение которой позволит обеспечить население высококачественной продукцией (Zhang et al., 2021; Zhang & Jiang, 2019).

В настоящее время для сохранения качества и снижения потерь продукции растениеводства традиционно применяют физические, химические и биотехнологические способы. Основным способом сохранения качества и снижения потерь продукции растениеводства является холодильное хранение. При организации холодильного хранения учитывают вид, сорт, условия выращивания, степень зрелости, количественные и качественные показатели микрофлоры, наличие признаков физиологических заболеваний и механических повреждений и др. (Ma et al., 2017).

При этом необходимо контролировать процессы, приводящие к потере влаги, и развитие психрофильных микроорганизмов. Повысить эффективность хранения возможно: регулируя параметры газовой среды (например, соотношение кислорода и углекислого газа), в которой находятся растительные объекты, изменяя давление, регулируя относительную влажность воздуха, применяя дезинфицирующие агенты, такие как озон (Rico et al., 2006).

Ещё одним способом сохранения качества и снижения потерь является индукция собственной резистентности — активизации естественных защитных свойств за счёт определённого химического (Wang et al., 2021; Алёшин и соавт., 2018), биологического (Li et al., 2021; Chen et al., 2020) или физического (Zhang et al., 2021; Forges et al., 2018) и физического — (Finnegan & O'Beirne, 2015) воздействия,

обеспечивая увеличение активности защитных ферментов и накопление антимикробных веществ.

При этом, в качестве индукторов резистентности применяют нетоксичные вещества, обработку ЭМП КНЧ, которые не оказывают прямого воздействия на фитопатогены, но всё же повышают устойчивость растительного сырья при хранении.

Значительную эффективность показывает использование различных видов упаковок и покрытий, обеспечивающих как регулирование атмосферы, так и оказывающих антимикробное действие (Mantilla et al., 2013).

Не смотря на значительное количество проведенных исследований в сфере обеспечения снижения потерь и увеличения сроков хранения продукции растениеводства основе изучения физических, химических и биотехнологических механизмов процессов, протекающих при хранении, не предусмотрен комплексный подход к формированию лёгкости на всех этапах жизненного цикла продукции растениеводства, начиная от выбора сортов с генетически обусловленной лёгкостью, решения вопросов, обеспечивающих качество продукции в процессе выращивания, сбора урожая, транспортирования, подготовки к хранению, хранения, подготовки к реализации и непосредственно реализации. При этом, биотехнологические подходы для решения задач повышения лёгкости на всех этапах системы производства и реализации продукции растениеводства являются более производительными, экологичными и не требуют применения химических реагентов, загрязняющих окружающую среду, обеспечивают снижение энергоёмкости и др. В связи с этим, актуально структурирование системы производства овощей и фруктов, выявление всех этапов, элементов, угроз, приводящих к потерям и снижению качества продукции.

Целью данной статьи является актуализация направления дальнейших исследований в сфере повышения лёгкости продукции растениеводства, формирование сводной матрицы биологизации процессов формирования качества и предотвращения потерь овощей и фруктов на всех этапах системы «производство — транспортирование — хранение — реализация» на основе определения основных этапов, элементов и угроз, приводящих к потерям и снижению качества.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Базы данных

Для проведения исследования в период с июня 2021 по апрель 2022 года был осуществлён поиск релевантных в контексте исследования источников в базах данных РИНЦ, Web of Science, Scopus, базе данных патентной информации PATENTSCOPE.

Критерии включения и исключения источников

Анализировались статьи, монографии, материалы конференций, авторефераты диссертаций, патенты, опубликованные за последние 10 лет на русском и английском языках в профильных рецензируемых журналах, посвященных тематике исследования. Были также проанализированы некоторые опубликованные ранее источники, если они представляли интерес по исследуемым вопросам. Также большое внимание уделялось изучению нормативно-правовых актов, проанализированы действующие Указы президента Российской Федерации, приказы Министерства здравоохранения Российской Федерации, государственная программа развития сельского хозяйства, Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации и др.

Для отбора источников использовались ключевые слова: овощи, фрукты, производство, лёгкость, сбор, транспортирование, биотехнологии, снижение потерь, подготовка к хранению, технологии хранения

Поисковые запросы

Поисковые запросы формулировались следующим образом: зависимость лёгкости продукции растениеводства от ее вида и сорта; влияние условий выращивания, степени зрелости, микробиологических, физиологических заболеваний, способов обработки и сбора на качество продукции и величину потерь в процессе хранения; влияние способов транспортирования, приёмы и методы подготовки к хранению; способы и методы хранения продукции растениеводства, обеспечивающих снижение потерь и увеличение срока хранения; технологии подготовки к реализации, обеспечивающие сохранение качества и снижения потерь.

Анализ данных

Полученные данные формировались в таблицы, в которых по вертикали были размещены этапы формирования лёгкости фруктов и овощей, а по горизонтали – факторы, оказывающие влияние на лёгкость на данном этапе.

Процедура исследования

На первом этапе выявлялись и ранжировались по степени изученности и значимости факторы влияющие на лёгкость фруктов и овощей; на втором этапе были сформулированы и систематизированы научно-технические проблемы в сфере обеспечения лёгкости продукции растениеводства; на третьем этапе систематизированы основные этапы и элементы, обеспечивающие функционирование системы «производство – сбор – заготовка – транспортирование хранение – реализация», риски, приводящие к количественным и качественным потерям; на четвертом этапе была составлена сводная матрица биологизации процессов формирования качества и предотвращения потерь овощей и фруктов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В разделе представлены результаты анализа выявленных и ранжированных по степени изученности и значимости факторов влияющие на сохранение качества и снижения потерь продукции растениеводства; приведена систематизация научно-технических проблем, требующих новых биотехнологических решений; сформулированы и систематизированы в виде таблицы основные этапы и элементы, обеспечивающие функционирование системы «производство – сбор – заготовка – транспортирование хранение – реализация фруктов и овощей», риски, приводящие к количественным и качественным потерям; приведена составленная авторами сводная матрица биологизации процессов формирования качества и предотвращения потерь.

Генеральная Ассамблея ООН провозгласила 2021 год Международным годом овощей и фруктов¹. Овощи и фрукты крайне важны в питании человека и продовольственной безопасности, но, несмотря на питательную и функциональную ценность, по-

¹ Резолюция, принятая Генеральной Ассамблей № 70/1. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. (2021). https://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_ru.pdf

требление их на душу населения на 20–50 % ниже, чем предусмотрено «Рекомендациями по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания», утверждённым Минздравом России в 2016 году². Однако благодаря комплексу государственных мер в России прослеживаются положительные тенденции в балансе их ресурсов и использования, доля импорта постепенно снижается³.

Глобальной проблемой, приводящей к недостаточному потреблению овощей и фруктов, являются высокие потери на всех этапах их производства транспортирования, хранения и реализации. По сравнению с другими видами сельскохозяйственной продукции, доля потерь продукции растениеводства значительна. Потери достигают 30–35% от общего количества произведенных продуктов питания (до 1,3 млрд. тонн в год), в том числе теряется значительная часть произведенной растительной продукции^{4,5,6,7}.

Внедрение инноваций, передовых технологий, в том числе и в производстве и хранении продукции растениеводства – важная составляющая национального набора показателей ЦУР (целей устойчивого развития), определённых Указом Президента от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»⁸. По сравнению с другими отраслями доля инновационных продуктов и степень влияния результатов инноваций в растениеводстве достаточно низкая⁹.

В программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на период 2021–2030 гг. по направлению 4.4.1. «Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции» определены приоритетные направления, которые предусматривают исследования в области разработки методологических решений по трансформации растительного сырья, интеграцию различных процессов, глобальный контроль пищевых систем на основе цифровизации, разработку технико-конструктивных принципов формирования пищевых систем¹⁰.

При этом главной проблемой, которую приходится решать является сохранение снижение потерь продукции растениеводства на всех этапах системы производство – транспортирование – хранение – реализация.

Цель функционирования такой системы – обеспечение оптимально распределённого по времени доведения продукции растениеводства до конечных потребителей с минимальными потерями и максимальным сохранением качественных показателей.

Определяющим фактором для успешного хранения плодовоовощной продукции является качество исходного сырья (Першакова и соавт., 2016). Формирование качества овощей и фруктов, обладающих высокой лёгкостью, происходит на этапе их производства. На этом этапе возникают научно-практические проблемы, которые в процессе анализа отечественных и зарубежных источников научно-технической информации, результатов собственных исследований, экспертных интервью

² Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71385784/>

³ Россия и мир: Продовольствие. <https://wtcmoscow.ru/services/internationalpartnership/analitycs/rossiya-i-mir-prodovolstvie/>

⁴ Global food losses and food waste. food and agriculture organization of the United Nations. (2011). <http://www.fao.org/3/mb060e/mb060e.pdf>

⁵ Продовольственные потери и пищевые отходы в контексте устойчивых продовольственных систем: Доклад Группы экспертов высокого уровня по вопросам продовольственной безопасности и питания Комитета по всемирной продовольственной безопасности. (2014). <http://www.fao.org/3/a-i3901r.pdf>

⁶ О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году: Государственный доклад. (2018). М.: Минприроды России.

⁷ Продовольственные потери и органические отходы на потребительском рынке Российской Федерации: Доклад. (2019). М.: Центр развития потребительского рынка Московской школы управления «Сколково».

⁸ Указ президента РФ № 204. (2018). О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года. <https://base.garant.ru/71937200/>

⁹ Федеральная служба государственной статистики. http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy/

¹⁰ Распоряжение Правительства РФ № 3684-Р. (2020). Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы). <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400070256/>

с руководителями и специалистами предприятий сферы производства и транспортировки, оптовой и розничной торговли, научно-производственных организаций были систематизированы в научно-технические проблемы, требующие новых биотехнологических решений.

На этапе производства:

- (1) появление новых и интродуцированных сортов и, в связи с этим, неудачный выбор сорт-подвойных комбинаций, не обеспечивающих лёгкость продукции растениеводства;
- (2) ошибки в определении съёмной степени зрелости, отсутствие эффективных методов её определения для новых и интродуцированных сортов;
- (3) адаптация фитопатогенов к применяемым традиционным химическим и биологическим средствам защиты, увеличение вредоносности, расширение видовой структуры;
- (4) стрессовые проявления климатических условий, влияющих на формирование показателей качества и, как следствие, лёгкость продукции (стихийные бедствия, изменение климата, антропогенные, температурные, водные, CO_2 -стрессы, состояние почвы);
- (5) ошибки в агротехнических и биологических приёмах управления гормональным, энергетическим, минеральным, антиоксидантным, водным, световым балансами, ростовыми процессами, нагрузкой, урожаем, качеством цветковых почек, цветков, листьев, плодов, корневой системы, защитой растений, приводящие впоследствии к снижению лёгкости (Гудковский и соавт., 2019; Gudkovskii et al., 2020).

На этапе сбора и транспортирования:

- (1) механические воздействия на продукцию растениеводства при возделывании, уборке и транспортировке, вызывающие повреждения, провоцирующие поражение объектов хранения патогенными микроорганизмами;
- (2) невозможность обеспечить оптимальные абиотические параметры в процессе транспортировки (Gamboa-Gomez et al., 2017; Wiczkowski et al., 2015).

В связи с этим была сформулирована фундаментальная научно-техническая проблема: раскрытие биотехнологических механизмов формирования

качества овощей и фруктов в процессе их производства с целью управления лёгкостью.

В рамках решения обозначенной научной проблемы исследователи ориентируются на:

- (1) изучение закономерности формирования биохимических и технологических показателей, характеризующих съёмную степень зрелости новых и интродуцированных сортов;
- (2) изучение зависимости лёгкости от сорта и степени зрелости;
- (3) выявление механизмов формирования устойчивости овощей и фруктов к физиологическим и микробиологическим заболеваниям с учётом адаптации фитопатогенов к традиционным химическим и биологическим средствам защиты, увеличения вредоносности, расширения видовой структуры.

В частности, решается фундаментальная научная задача: раскрытие биотехнологических механизмов формирования лёгкости фруктов и овощей.

Исследуемая подсистема агропромышленного комплекса представляет собой совокупность процессов, включающих такие этапы, как производство, сбор, сортировка, транспортирование, хранение, предпродажная подготовка, реализация. Исследуемые процессы протекают на предприятиях, осуществляющих производство, сбор, заготовку, транспортировку хранение, оптовую и розничную торговлю.

В Таблице 1 приведены основные этапы и элементы, обеспечивающие функционирование системы «производство – сбор – заготовка – транспортирование хранение – реализация», риски, приводящие к количественным и качественным потерям.

Основные факторы риска на этапах производства и сбора урожая – неблагоприятные климатические явления, чрезвычайные ситуации, несоблюдение регламентов. Значительные расстояния до мест хранения увеличивают потери из-за сопутствующих рисков при транспортировке, отсутствия необходимой инфраструктуры на протяжении маршрута. Неотъемлемой составляющей потерь (до 5 %) являются общепроизводственные потери – естественная убыль, утрата части сырья в результате отделения нетоварных элементов (очистка) и удаления излишков влаги (усушка). На всех этапах

Таблица 1

Этапы, элементы и угрозы, приводящие к потерям и снижению качества продукции в системе «производство – сбор – заготовка – транспортирование хранение – реализация».

Этапы	Элементы	Угрозы, приводящие к потерям и снижению качества продукции
Производство	Подготовка почвы. Подготовка саженцев (семян к посадке). Посадка (посев). Уход, полив, подкормка. Борьба с вредителями, сорняками, болезнями	Заболевания растений. Климатические явления. Поражение вредителями. Нерациональное применение средств защиты и удобрений. Применение неэффективных технических средств. Хищения. Отсутствие современных ирригационных систем
Уборка	Оценка степени зрелости, обеспечивающей лёжкость при хранении. Предварительная обработка.	Отсутствие соответствующих технических средств. Технический сбой. Человеческий фактор. Климатические явления
Сортировка	Оценка физиологического-биохимического состояния продукции с учётом агротехнических и экологических факторов (вид, сорт, калибр, окраска, степень зрелости, сроки уборки, фитосанитарное состояние, наличие, поражённых плодов, наличие органического, микробиологического или биологического загрязнения, минеральный, биохимический состав). Упаковывание, предварительное складирование	Отсутствие соответствующих технических средств. Технический сбой. Человеческий фактор
Транспортирование	Погрузка, транспортирование, разгрузка. Определение условий транспортирования	Длительное время транспортирования. Аварийные ситуации. Использование неприспособленного транспорта. Неблагоприятные погодные условия. Нарушение санитарно-гигиенических норм

большую роль играют технические сбои и человеческий фактор – ошибки или недоработки персонала приводят вне зависимости от технологического уровня применяемых технологий и оборудования (Kleter & Marvin, 2009; Vieira et al., 2021; Zhang et al., 2021; Sidione et al., 2020).

В связи с этим сформированы научно-практические задачи, решение которых с применением биотехнологических методов и способов, позволит сократить количественные и качественные потери во всех звеньях товаропроводящей цепочки – от производства до потребления:

- обеспечение сохранения качества, снижение потерь и увеличение срока хранения овощей и фруктов за счёт отбора сортов с высокой биологически обусловленной лёжкостью; определение оптимальных сроков съёма (уборки);
- разработка стратегии хранения на основе прогноза лёжкости по каждому генотипу;
- скрининг эффективных штаммов-антагонистов для разработки биологизированных технологий, разработка систем защиты на основе использования биорациональных химических и биологических фунгицидов.

Угрозы продовольственных потерь и снижения качества овощей и фруктов сопровождают всю цепочку – производство, сбор, транспортировка, хранение, реализация. При этом нейтрализовать эти грузы возможно без применения химических реагентов, которые способны загрязнять окружающую

среду, нетоксичными и продуктивными биотехнологиями (Kusznierewicz et al., 2008; Lung et al., 2005).

В Таблице 2 приведена сводная матрица биологизации процессов формирования качества и предотвращения потерь овощей и фруктов.

Таблица 2

Сводная матрица биологизации процессов формирования качества и предотвращения потерь овощей и фруктов

Имеющиеся научно-практические проблемы	Научно-практические задачи	Биотехнологические методы, способы, формы решения научно-технических проблем и задач	Предложения и разработки
Стрессовые проявления климатических условий (стихийные бедствия, глобальное изменение климата, антропогенные, температурные, водные, CO_2 -стрессы, состояние почвы), влияющих на формирование показателей качества и, как следствие, лёгкость продукции растениеводства	Нейтрализация влияния стрессовых климатических условий	Разработка стратегии хранения на основе анализ стрессовых факторов предуборочного периода	Технологии хранения продукции растениеводства. Прогноз лёгкости
Ошибки в агротехнических, биологических приёмах управления гормональным, энергетическим, минеральным, антиоксидантным, водным, световым балансами, ростовыми процессами, нагрузкой урожаем, качеством цветковых почек, цветков, листьев, плодов, корневой системы, защитой растений, приводящие к снижению лёгкости	Оптимизация агротехнических и биологических приёмов, обеспечивающая повышение лёгкости продукции	Разработка биотехнологических приёмов управления качеством продукции растениеводства в процессе выращивания. Обеспечение качественно-го посадочного материала	Технологии биологизированной защиты. Биотехнологические приёмы регулирования функциональной активности почвенной биоты. Рекомендации по применению препаратов биологического синтеза для проведения обработок. Рекомендации по применению сидератов. Технологии хранения посадочного материала
Неудачный выбор сорт-подвойных комбинаций, не обеспечивающих лёгкость продукции растениеводства	Обеспечение лёгкости продукции с учётом особенностей генотипа	Разработка стратегии хранения на основе прогноза лёгкости по каждому генотипу	Прогноз лёгкости. Графики реализации
Адаптация фитопатогенов к применяемым традиционным химическим и биологическим средствам защиты, увеличение вредоносности, расширение видовой структуры и ареала	Контроль распространения и развитие заболеваний микробиальной природы	Скрининг эффективных штаммов-антагонистов для разработки биологизированных технологий. Разработка антирезистентных систем защиты на основе использования биорациональных химических и биологических фунгицидов	Новые биопрепараты. Технологии биологизированной защиты
Отсутствие стабильного платёжеспособного спроса на биологизированную защиту со стороны производителей сельскохозяйственной продукции	Формирование потребности в применении биологизированных подходов в организации систем хранения	Организация семинаров, презентаций, участие в выставках, конференциях	Программы повышения квалификации. Методические рекомендации

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Целью проделанной работы была систематизация результатов научных исследований, актуальных для реализации прикладных задач, связанных с обеспечением продовольственной безопасности, а именно снижения потерь и обеспечения качества продукции растениеводства в процессе хранения и реализации. Была выдвинута гипотеза о том, что необходим комплексный подход к решению проблемы повышения лёгкости продукции растениеводства в системе «производство — транспортирование — хранение — реализация».

Научные исследования, проведённые в последние годы в этом направлении, позволяют рассматривать проблему производства и доведении продукции растениеводства до потребителя как многофакторную, требующую комплексного подхода. Её основополагающими составляющими являются обеспечение сбалансированного химического состава продукции растениеводства — основного условия устойчивости в процессе хранения (Гудковский и соавт., 2014; Причко & Карпушина, 2010).

Сбалансированность химического состава в значительной мере обеспечивается определением оптимальных сроков сбора урожая. При этом критериями оптимальности могут быть органолептические, физико-химические показатели, степень варьирования которых дифференцируется в зависимости от вида и сорта продукции растениеводства. В связи с этим большое значение имеют результаты исследований по определению критериев съёмной степени зрелости новых и интродуцированных сортов, разработка методик определения съёмной степени зрелости (Причко и соавт., 2019).

Оптимизация агротехнологических и биологических приёмов, обеспечивающая повышение лёгкости продукции, осуществляется на основе обеспечения качественного посадочного материала, применения биотехнологических подходов регулирования функциональной активности почвенной биоты, рациональному применению сидератов.

Применение пестицидов, с одной стороны обеспечивает сохранение урожая в процессе выращивания, с другой создает опасность развития онкологических заболеваний (23 вида широко применяемых пестицидов канцерогенны), вызывают отравления

и гибель людей (ежегодно 30 млн. случаев отравления, в том числе 20 тыс. со смертельным исходом). Применение химических фунгицидов со временем вызывает резистентность у фитопатогенных микроорганизмов.

Альтернативой пестицидам и химическим средствам дезинфекции являются эффективные биопрепараты, действие которых избирательно по как по отношению к видовому составу патогенов, так и к самим растительным объектам (Davidson & Zivanovic, 2003; Davidson et al., 2013).

Биопрепараты, созданные на основе биоконтрольных штаммов, позволяют обеспечить защиту растений от болезней, вызываемых фитопатогенными микроорганизмами. Такие штаммы, обычно характеризуются быстрым ростом, обеспечивая эффективную конкуренцию за питательные вещества с фитопатогенами. Кроме того, продукты их жизнедеятельности содержат в значительном количестве биостатические вещества, ингибируя развитие микроорганизмов, вызывающих микробиологическую порчу. (Davidson et al., 2013). Кроме того, ряд штаммов, используемых для биоконтроля, вступает в ассоциативный симбиоз с растительным объектом, при этом образуются фунгитоксичные метаболиты, способствующие образованию некрозов в местах развития патогена. Кроме того, происходит образование растительных гормонов, стимулируется индукция собственной резистентности. Установлены факты, того, что ряд биопрепаратов способен сдерживать темпы генетической изменчивости и прогрессивной эволюции патогенов и вредителей в агроценозах (Balciunas et al., 2013).

Значительный результат может быть получен при обработке растений определенными препаратами, на основе метаболитов живых антагонистических культур, являющихся одновременно средствами биологической защиты (Cavaglieri et al., 2005; Punja et al., 2016; Haiyan et al., 2017; Feliziani et al., 2016).

При этом неосведомленность о биологических агентах, сложности в идентификации результатов при изучении влияния биологических препаратов на агроценозы, трудности с регистрацией препаратов создают барьеры для разработки такого рода средств.

На всех этапах системы «производство – транспортирование – хранение – реализация» овощей и фруктов большое значение имеет лояльное и аккуратное обращение, так как при этом возможны механические повреждения поверхности, которые благоприятствуют возникновению микробиологической порчи, что напрямую увеличит потери их хранении.

Механизированная уборка требует направленной селекции сортов, выбора оптимального времени и метеоусловий уборки, обеспечивающих минимальные повреждения и потери. Стабилизация качества продукции в процессе транспортировки достигается за счёт минимизации механических повреждений, применения биопрепараторов, адсорбирований этилена, био-упаковок и т.д (Podsedek, 2007; Kim et al., 2018; Khedher et al., 2019).

Кроме того, для агропромышленного комплекса разработаны эффективные и экономичные технологии хранения и переработки, обеспечивающие снижение потерь до 30%, программные продукты, позволяющие прогнозировать сроки хранения продукции (Jovanovic-Malinovska et al., 2014; Rao et al., 2017).

Актуально формирование модульной системы сохранения продукции растениеводства. Цель функционирования такой системы – обеспечение оптимально распределённого по времени доведения до конечных потребителей с минимальными потерями и максимальным сохранением качественных показателей.

ВЫВОДЫ

Несмотря на значительное количество исследований в сфере повышения качества и снижения потерь продукции растениеводства, отсутствовали комплексные исследования, основанные на выявлении всех этапов, элементов, угроз, приводящих к потерям и снижению качества продукции на всех этапах логистической цепи «производство – транспортирование – хранение – реализация», структурировании этой системы.

В результате проведённого анализа была впервые сформирована сводная матрица биологизации процессов формирования качества и предотвращения потерь овощей и фруктов на всех этапах систем

мы «производство – транспортирование – хранение – реализация». Применение данной матрицы позволит обеспечить комплексный подход к управлению системой сохранения качества и снижения потерь, что позволит в дальнейшем разработать алгоритмы повышения лёгкости по различным видам фруктов и овощей.

Основными направлениями дальнейших исследований в сфере повышения лёгкости продукции растениеводства являются работы по раскрытию биологических механизмов процессов, обеспечивающих формирование качества и снижение потерь на этапах производства, транспортирования, хранения и реализации; мониторинг и управление процессами, протекающими в биологических объектах хранения на клеточном, тканевом, органном и организменном уровнях; использование живых организмов, их систем, продуктов их жизнедеятельности; скрининг новых активных культур, симбиотических групп микроорганизмов; создание диагностических систем для идентификации фитопатогенов.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Першакова Т. В.: научное руководство исследованием, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Купин Г. А.: проектирование методологии исследования; создание модели исследования.

Яковлева Т. В.: проведение исследовательского процесса, в частности сбор данных.

Горлов С. М.: проведение исследовательского процесса, в частности, сбор данных.

Бабакина М. В.: проведение исследовательского процесса, в частности сбор данных.

Алёшин В. Н.: Программное обеспечение, валидация данных, визуализация/представление данных.

ЛИТЕРАТУРА

- Алёшин, В. Н., Першакова, Т. В., & Купин, Г. А. (2018). Контроль заболеваний растений за счет индуцированной резистентности с помощью некоторых химических веществ и биоагентов. *Плодоводство и виноградарство Юга России*, 53(5), 113–143. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2018-5-53-113-143>
- Гудковский, В. А., Кладь, А. А., Кожина, Л. В., & Назаров, Ю. Б. (2014). Физиологические и технологические основы управления продуктивностью насаждений и качеством плодов яблони в предуборочный и послеуборочный период. В *Научно-практические основы повышения эффективности садоводства для улучшения структуры питания населения отечественной экологически безопасной плодовоовощной продукцией: Сборник материалов научно-практической конференции* (с. 18–33). Мичуринск: Мичуринск-наукоград РФ.
- Гудковский, В. А., Кожина, Л. В., Назаров Ю. Б., & Гучева Р. Б. (2019). Высокоточные технологии хранения плодов яблони — основа обеспечения их качества (достижения, задачи на перспективу). *Достижения науки и техники АПК*, 33(2), 61–67. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10215>
- Першакова, Т. В., Лисовой, В. В., Купин, Г. А., Алёшин, В. Н., Панасенко, Е. Ю., & Викторова, Е. П. (2016). Способы обеспечения стабильного качества растительного сырья в процессе хранения. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, (116), 205–217.
- Причко, Т. Г., Першакова, Т. В., Казахмедов, Р. Э., Дрофицева, Н. В., Купин, Г. А., Алёшин, В. Н., Горлов, С. М., Лисовой, В. В., Мачнева, И. А., Михайлита, Л. В., Германова, М. Г., Смелик, Т. Л., Бабакина, М. В., & Магомедова, М. А. (2019). *Выявить закономерности влияния физических, химических и биотехнологических методов воздействия на развитие патогенов при послеуборочных обработках плодового и овощного сырья, технологических режимов хранения и переработки на особенности протекания биохимических и физиологических процессов, позволяющих управлять динамикой изменения качества сырья*. Краснодар: Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия.
- Причко, Т. Г., & Карпушина, М. В. (2010). Новая высокоеффективная технология хранения плодов яблони. В *Высокоточные технологии производства хранения и переработки плодов и ягод: Сборник материалов международной научно-практической конференции* (с. 344–350). Краснодар: ФГБНУ Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия.
- Balciunas, E. M., Castillo Martinez, F. A., Todorov, S. D., Gombossy de Melo Franco, B. D., Converti, A., & Pinheiro de Souza Oliveira, R. (2013). Novel biotechnological applications of bacteriocins: A review. *Food Control*, 32(1), 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.11.025>
- Cavaglieri, L., Orlando, J., Rodriguez, M. I., Chulze, S., & Etcheverry, M. (2005). Biocontrol of *Bacillus subtilis* against *Fusarium verticillioides* in vitro and at the maize root level. *Research in Microbiology*, 156(5–6), 748–754. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2005.03.001>
- Chen, C., Cao, Z., Li, J., Tao, C., Feng, Y., & Han, Y. (2020). A novel endophytic strain of *Lactobacillus plantarum* CM-3 with antagonistic activity against *Botrytis cinerea* on strawberry fruit. *Biological Control*, 148, Article 104306. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104306>
- Davidson, P. M., & Zivanovic, S. (2003). The use of natural antimicrobials. In *Food Preservation Techniques* (pp. 5–30). Woodhead Publishing Ltd.: Cambridge. <https://doi.org/10.1533/9781855737143.1.5>
- Davidson, P. M., Critzer, F. J., & Taylor, T. M. (2013). Naturally occurring antimicrobials for minimally processed foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, 4, 163–190. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030212-182535>
- Feliziani, E., Licher, A., Smilanick, J. L., & Ippolito, A. (2016). Disinfecting agents for controlling fruit and vegetable diseases after harvest. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 53–69. <https://doi.org/10.1016/j.POSTHARVBIO.2016.04.016>
- Finnegan, E., & O'Beirne, D. (2015). Characterising deterioration patterns in fresh-cut fruit using principal component analysis. II: Effects of ripeness stage, seasonality, processing and packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 100, 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.009>
- Forges, M. Vásquez, H., Charles, F., Chabane Sari, D., Urban, L., Lizzi, Y., Bardin, M., & Aarrouf, J. (2018). Impact of UV-C radiation on the sensitivity of three strawberry plant cultivars (*Fragaria x ananassa*) against *Botrytis cinerea*. *Scientia Horticulturae*, 240, 603–613. <https://doi.org/10.1016/j.scientia.2018.06.063>
- Gamboa-Gomez, C. I., Simental-Mendia, L. E., Gonzalez-Laredo, R. F., Alcantar-Orozco, E. J., Monserrat-Juarez, V. H., & Ramirez-España, J. C. (2017). In vitro and in vivo assessment of anti-hyperglycemic and antioxidant effects of Oak leaves (*Quercus convallata* and *Quercus arizonica*) infusions and fermented beverages. *Food Research International*, 102, 690–699. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.040>
- Gudkovskii, V. A., Kozhina, L. V., Akimov, M. Y., & Zhidkikhina, T. V. (2020). Innovative storage technology of modern commercial black currant cultivars. *Acta Horticulturae*, 1277, 487–494. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1277.69>
- Haiyan, F., Ru, J., Zhang, Y., Wang, Q., & Li, Y. (2017). Fengycin produced by *Bacillus subtilis* 9407 plays a major role in the biocontrol of apple ring rot disease. *Microbiological Research*, 199, 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.03.004>
- Jovanovic-Malinovska, R., Kuzmanova, S., & Winkelhausen, E. (2014). Oligosaccharide profile in fruits and vegetables as sources of prebiotics and functional foods.

- International Journal of Food Properties*, 17(5), 949–965.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2012.680221>
- Kapp, J. M., & Summer, W. (2019). Kombucha: A systematic review of the empirical evidence of human health benefit. *Annals of Epidemiology*, 30, 66–70. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2018.11.001>
- Khedher, S. B., Kilani-Feki, O., Dammak, M., Khiareddine, Hayfa J. M., Remadi, D., & Tounsi, S. (2019). Efficacy of *Bacillus subtilis* V26 as a biological control agent against *Rhizoctonia solani* on potato. *Comptes Rendus Biologies*, 338(12), 784–792. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2015.09.005>
- Kim, D. H., Kim, H. B., Chung, H. S., & Moon, K. D. (2018). Browning control of fresh-cut lettuce by phytoncide treatment. *Food Chemistry*, 159, 188–192. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.040>
- Kleter, G. A., & Marvin, H. J. P. (2009). Indicators of emerging hazards and risks to food safety. *Food and Chemical Toxicology*, 47(5), 1022–1039. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.07.028>
- Kusznierewicz, B., Smiechowska, A., Bartoszek A., & Namiesnik, J. (2008). The effect of heating and fermenting on antioxidant properties of white cabbage Barbara. *Food Chemistry*, 108(3), 853–861. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.049>
- Li, X., Jing, T., Zhou, D., Zhang, M., Qi, D., Zang, X., Zhao, Y., Li, K., Tang, W., Chen, Y., Qi, C., Wang, W., & Xie, J. (2021). Biocontrol efficacy and possible mechanism of *Streptomyces* sp. H4 against postharvest anthracnose caused by *Colletotrichum fragariae* on strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 175, Article 111401. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111401>
- Lung, H. M., Cheng, Y.-C., Chang, Y.-H., Huang, H.-W., Yang, B. B., & Wang, C.-Y. (2005). Microbial decontamination of food by electron beam irradiation. *Trends in Food Science & Technology*, 44(1), 66–78. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.03.005>
- Ma, L., Zhang, M., Bhandari, B., & Gao, Z. (2017). Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 64, 23–38. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.005>
- Mantilla, N., Castell-Perez, M. E., Gomes, C., & Moreira, R. G. (2013). Multilayered antimicrobial edible coating and its effect on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *LWT – Food Science and Technology*, 51(1), 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.10.010>
- Jaiswal, A. (Ed.). (2020). *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables*. Elsevier.
- Podsedek, A. (2007). Natural antioxidants and antioxidant capacity of *Brassica* vegetables: A review. *LWT – Food Science and Technology*, 40(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.07.023>
- Punja, Z. K., Rodriguez, G., & Tirajoh A. (2016). Effects of *Bacillus subtilis* strain QST 713 and storage temperatures on post-harvest disease development on greenhouse tomatoes. *Crop Protection*, 84, 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.02.011>
- Rao, S., Kamalnath, M., Umamaheswari, R., Rajinikanth, R., Prabu, P., Priti, K., Grace, G. N., Chaya, M. K., & Gopalakrishnan, C. (2017). *Bacillus subtilis* IIHR BS-2 enriched vermicompost controls root knot nematode and soft rot disease complex in carrot. *Scientia Horticulturae*, 218, 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.051>
- Rico, D., Martín-Diana, A. B., Frías, J. M., Henehan, G. T. M., & Barry-Ryan, C. (2006). Effect of ozone and calcium lactate treatments on browning and texture properties of fresh-cut lettuce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(13), 2179–2188. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2594>
- Sidione, F. dos S., Cardoso, R. de C. V., Borges, I. M. P., Costal e Almeida, A., Andrade, E. S., Ferreira, I. O., & Ramos, L. C. (2020). Post-harvest losses of fruits and vegetables in supply centers in Salvador, Brazil: Analysis of determinants, volumes and reduction strategies. *Waste Management*, 101, 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.007>
- Vieira, Y. E. M., Bandeira, R. A. de M., & Júnior, O. S. da S. (2021). Multi-depot vehicle routing problem for large scale disaster relief in drought scenarios: The case of the Brazilian northeast region. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 58, Article 102193. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102193>
- Wang, S.-Y., Shi, X.-C., Liu, F.-Q., & Laborda, P. (2021). Effects of exogenous methyl jasmonate on quality and preservation of postharvest fruits: A review. *Food Chemistry*, 353, Article 129482. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129482>
- Wiczkowski, W., Szawara-Nowak, D., & Topolska, J. (2015). Changes in the content and composition of anthocyanins in red cabbage and its antioxidant capacity during fermentation, storage and stewing. *Food Chemistry*, 167, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.087>
- Zhang, W., Jiang, H., Cao, J., & Jiang, W. (2021). Advances in biochemical mechanisms and control technologies to treat chilling injury in postharvest fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 355–365. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.009>
- Zhang, W., & Jiang, W. (2019). UV treatment improved the quality of postharvest fruits and vegetables by inducing resistance. *Trends in Food Science & Technology*, 92, 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.012>

REFERENCES

- Aleshin, V. N., Pershakova, T. V., & Kupin, G. A. (2018). Kontrol' zabolovanii rastenii za schet indutsirovannoii rezistentnosti s pomoshch'yu nekotorykh khimicheskikh veshchestv i bioagentov [Control of plant diseases due to induced resistance with the help of certain chemicals and bioagents]. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii* [Fruit Growing and Viticulture in the South of Russia], 53(5), 113–143. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2018-5-53-113-143>
- Gudkovskii, V. A., Klad', A. A., Kozhina, L. V., & Nazarov, Yu. B. (2014). Fiziologicheskie i tekhnologicheskie osnovy upravleniya produktivnost'yu nasazhdennii i kachestvom plodov yabloni v preduborochnyi i posleuborochnyi period [Physiological and technological bases of plant productivity management and apple fruit quality in the pre-harvest and post-harvest period]. In *Nauchno-prakticheskie osnovy povysheniya effektivnosti sadovodstva dlya uluchsheniya struktury pitaniya naseleniya otechestvennoi ekologicheskoi bezopasnoi plodoovoshchnoi produktseii: Sbornik materialov nauchno-prakticheskoi konferentsii* [The Scientific and practical foundations of improving the efficiency of horticulture to improve the nutrition structure of the population with domestic environmentally safe fruit and vegetable products: Collection of materials of the scientific and practical conference] (pp. 18–33). Michurinsk: Michurinsk-naukograd RF.
- Gudkovskii, V. A., Kozhina, L. V., Nazarov Yu. B., & Gucheva R. B. (2019). Vysokotochnye tekhnologii khraneniya plodov yabloni — osnova obespecheniya ikh kachestva (dostizheniya, zadachi na perspektivu) [High-precision apple fruit storage technologies are the basis for ensuring their quality (achievements, tasks for the future)]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of Agriculture], 33(2), 61–67. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10215>
- Pershakova, T. V., Lisovoi, V. V., Kupin, G. A., Aleshin, V. N., Panasenko, E. Yu., & Viktorova, E. P. (2016). Sposoby obespecheniya stabil'nogo kachestva rastitel'nogo syr'ya v protsesse khraneniya [Methods of ensuring stable quality of vegetable raw materials during storage]. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic Online Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University], (116), 205–217.
- Prichko, T. G., & Karpushina, M. V. (2010). Novaya vysokoeffektivnaya tekhnologiya khraneniya plodov yabloni [A new highly efficient technology for storing apple fruits]. In *Vysokotochnye tekhnologii proizvodstva khraneniya i pererabotki plodov i yagod: Sbornik materialov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [High-precision technologies of production, storage and processing of fruits and berries: Collection of materials of the international scientific and practical conference] (pp. 344–350). Krasnodar: FGBNU Severo-Kavkazskii federal'nyi nauchnyi tsentr sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya.
- Prichko, T. G., Pershakova, T. V., Kazakhmedov, R. E., Droficheva, N. V., Kupin, G. A., Aleshin, V. N., Gorlov, S. M., Lisovoi, V. V., Machneva, I. A., Mikhailyuta, L. V., Germanova, M. G., Smelik, T. L., Babakina, M. V., & Magomedova, M. A. (2019). Vyyavit' zakonomernosti vliyaniya fizicheskikh, khimicheskikh i biotekhnologicheskikh metodov vozdeistviya na razvitiye patogenov pri posleuborochnykh obrabotkakh plodovogo i ovooshchnogo syr'ya, tekhnologicheskikh rezhimov khraneniya i pererabotki na osobennosti protekaniya biokhimicheskikh i fiziologicheskikh protsessov, pozvolayushchikh upravlyat' dinamikoi izmeneniy kachestva syr'ya [To identify patterns of influence of physical, chemical and biotechnological methods of influence on the development of pathogens during post-harvest processing of fruit and vegetable raw materials, technological modes of storage and processing on the peculiarities of biochemical and physiological processes that allow controlling the dynamics of changes in the quality of raw materials]. Krasnodar: Severo-Kavkazskii federal'nyi nauchnyi tsentr sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya.
- Balciunas, E. M., Castillo Martinez, F. A., Todorov, S. D., Gombossy de Melo Franco, B. D., Converti, A., & Pinheiro de Souza Oliveira, R. (2013). Novel biotechnological applications of bacteriocins: A review. *Food Control*, 32(1), 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.11.025>
- Cavaglieri, L., Orlando, J., Rodriguez, M. I., Chulze, S., & Etcheverry, M. (2005). Biocontrol of *Bacillus subtilis* against *Fusarium verticillioides* in vitro and at the maize root level. *Research in Microbiology*, 156(5–6), 748–754. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2005.03.001>
- Chen, C., Cao, Z., Li, J., Tao, C., Feng, Y., & Han, Y. (2020). A novel endophytic strain of *Lactobacillus plantarum* CM-3 with antagonistic activity against *Botrytis cinerea* on strawberry fruit. *Biological Control*, 148, Article 104306. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104306>
- Davidson, P. M., & Zivanovic, S. (2003). The use of natural antimicrobials. In *Food Preservation Techniques* (pp. 5–30). Woodhead Publishing Ltd.: Cambridge. <https://doi.org/10.1533/9781855737143.1.5>
- Davidson, P. M., Critzer, F. J., & Taylor, T. M. (2013). Naturally occurring antimicrobials for minimally processed foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, 4, 163–190. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030212-182535>
- Feliziani, E., Licher, A., Smilanick, J. L., & Ippolito, A. (2016). Disinfecting agents for controlling fruit and vegetable diseases after harvest. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 53–69. <https://doi.org/10.1016/j.POSTHARVBIO.2016.04.016>
- Finnegan, E., & O'Beirne, D. (2015). Characterising deterioration patterns in fresh-cut fruit using principal component analysis. II: Effects of ripeness stage, seasonality, processing and packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 100, 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.009>
- Forges, M. Vásquez, H., Charles, F., Chabane Sari, D., Urban, L., Lizzi, Y., Bardin, M., & Aarrouf, J. (2018). Impact of UV-C radiation on the sensitivity of three strawberry plant cultivars (*Fragaria x ananassa*) against *Botrytis cinerea*. *Scientia Horticulturae*, 240, 603–613. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.063>
- Gamboa-Gomez, C. I., Simental-Mendia, L. E., Gonzalez-Laredo, R. F., Alcantar-Orozco, E. J., Monserrat-Juarez, V. H., &

- Ramirez-España, J. C. (2017). In vitro and in vivo assessment of anti-hyperglycemic and antioxidant effects of Oak leaves (*Quercus convallata* and *Quercus arizonica*) infusions and fermented beverages. *Food Research International*, 102, 690–699. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.040>
- Gudkovskii, V. A., Kozhina, L. V., Akimov, M. Y., & Zhidkina, T. V. (2020). Innovative storage technology of modern commercial black currant cultivars. *Acta Horticulturae*, 1277, 487–494. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1277.69>
- Haiyan, F., Ru, J., Zhang, Y., Wang, Q., & Li, Y. (2017). Fengycin produced by *Bacillus subtilis* 9407 plays a major role in the biocontrol of apple ring rot disease. *Microbiological Research*, 199, 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.mires.2017.03.004>
- Jovanovic-Malinovska, R., Kuzmanova, S., & Winkelhausen, E. (2014). Oligosaccharide profile in fruits and vegetables as sources of prebiotics and functional foods. *International Journal of Food Properties*, 17(5), 949–965. <https://doi.org/10.1080/10942912.2012.680221>
- Kapp, J. M., & Summer, W. (2019). Kombucha: A systematic review of the empirical evidence of human health benefit. *Annals of Epidemiology*, 30, 66–70. <https://doi.org/10.1016/j.anepidem.2018.11.001>
- Khedher, S. B., Kilani-Feki, O., Dammak, M., Khiareddine, Hayfa J. M., Remadi, D., & Tounsi, S. (2019). Efficacy of *Bacillus subtilis* V26 as a biological control agent against *Rhizoctonia solani* on potato. *Comptes Rendus Biologies*, 338(12), 784–792. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2015.09.005>
- Kim, D. H., Kim, H. B., Chung, H. S., & Moon, K. D. (2018). Browning control of fresh-cut lettuce by phytoncide treatment. *Food Chemistry*, 159, 188–192. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.040>
- Kleter, G. A., & Marvin, H. J. P. (2009). Indicators of emerging hazards and risks to food safety. *Food and Chemical Toxicology*, 47(5), 1022–1039. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.07.028>
- Kusznierewicz, B., Smiechowska, A., Bartoszek A., & Namiesnik, J. (2008). The effect of heating and fermenting on antioxidant properties of white cabbage Barbara. *Food Chemistry*, 108(3), 853–861. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.049>
- Li, X., Jing, T., Zhou, D., Zhang, M., Qi, D., Zang, X., Zhao, Y., Li, K., Tang, W., Chen, Y., Qi, C., Wang, W., & Xie, J. (2021). Biocontrol efficacy and possible mechanism of *Streptomyces* sp. H4 against postharvest anthracnose caused by *Colletotrichum fragariae* on strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 175, Article 111401. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111401>
- Lung, H. M., Cheng, Y.-C., Chang, Y.-H., Huang, H.-W., Yang, B. B., & Wang, C.-Y. (2005). Microbial decontamination of food by electron beam irradiation. *Trends in Food Science & Technology*, 44(1), 66–78. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.03.005>
- Ma, L., Zhang, M., Bhandari, B., & Gao, Z. (2017). Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 64, 23–38. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.005>
- Mantilla, N., Castell-Perez, M. E., Gomes, C., & Moreira, R. G. (2013). Multilayered antimicrobial edible coating and its effect on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *LWT – Food Science and Technology*, 51(1), 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.10.010>
- Jaiswal, A. (Ed.). (2020). *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables*. Elsevier.
- Podsedek, A. (2007). Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT – Food Science and Technology*, 40(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.07.023>
- Punja, Z. K., Rodriguez, G., & Tirajoh A. (2016). Effects of *Bacillus subtilis* strain QST 713 and storage temperatures on post-harvest disease development on greenhouse tomatoes. *Crop Protection*, 84, 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.02.011>
- Rao, S., Kamalnath, M., Umamaheswari, R., Rajinikanth, R., Prabu, P., Priti, K., Grace, G. N., Chaya, M. K., & Gopalakrishnan, C. (2017). *Bacillus subtilis* IIHR BS-2 enriched vermicompost controls root knot nematode and soft rot disease complex in carrot. *Scientia Horticulturae*, 218, 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.051>
- Rico, D., Martín-Diana, A. B., Frías, J. M., Henehan, G. T. M., & Barry-Ryan, C. (2006). Effect of ozone and calcium lactate treatments on browning and texture properties of fresh-cut lettuce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(13), 2179–2188. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2594>
- Sidone, F. dos S., Cardoso, R. de C. V., Borges, I. M. P., Costale Almeida, A., Andrade, E. S., Ferreira, I. O., & Ramos, L. C. (2020). Post-harvest losses of fruits and vegetables in supply centers in Salvador, Brazil: Analysis of determinants, volumes and reduction strategies. *Waste Management*, 101, 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.007>
- Vieira, Y. E. M., Bandeira, R. A. de M., & Júnior, O. S. da S. (2021). Multi-depot vehicle routing problem for large scale disaster relief in drought scenarios: The case of the Brazilian northeast region. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 58, Article 102193. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102193>
- Wang, S.-Y., Shi, X.-C., Liu, F.-Q., & Laborda, P. (2021). Effects of exogenous methyl jasmonate on quality and preservation of postharvest fruits: A review. *Food Chemistry*, 353, Article 129482. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129482>
- Wiczkowski, W., Szawara-Nowak, D., & Topolska, J. (2015). Changes in the content and composition of anthocyanins in red cabbage and its antioxidant capacity during fermentation, storage and stewing. *Food Chemistry*, 167, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.087>
- Zhang, W., Jiang, H., Cao, J., & Jiang, W. (2021). Advances in biochemical mechanisms and control technologies to treat chilling injury in postharvest fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 355–365. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.009>
- Zhang, W., & Jiang, W. (2019). UV treatment improved the quality of postharvest fruits and vegetables by inducing resistance. *Trends in Food Science & Technology*, 92, 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.012>

УДК 664.14:532.59

Создание полуфабрикатов с повышенным содержанием макронутриентов на основе плодовоовощного сырья

Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности - филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

М. А. Пестерев, М. А. Лаврухин

АННОТАЦИЯ

Введение. Широкое применение в кондитерской промышленности находит патока и инвертный сироп, которые входят в состав практически всех рецептур мучных и сахаристых кондитерских изделий в качестве антикристаллизатора для сохранения свежести изделия. Применение инвертного сиропа позволяет повысить технологичность производственного процесса из-за повышенной текучести сиропа и его экономичность из-за возможности исключения стадии темперирования, однако он практически не обладает макроэлементами, необходимыми для жизнедеятельности человека. Тыква является перспективным сырьем для производства кондитерских изделий и полуфабрикатов, являясь источником микро- и макронутриентов, пектина и β -каротина.

Целью настоящей работы является создание технологии полуфабриката на основе плодовоовощного сырья с повышенным количеством нативных макронутриентов (посредством модернизации рецептуры сиропов для создания кондитерских изделий с повышенной пищевой ценностью путем замены водной части на сок тыквы).

Материалы и методы. Объектами исследования являлись сиропы с количеством сухих веществ 80% на основе сока тыквы с различной продолжительностью кавитационной обработки. Кавитационную обработку проводили в условиях акустического кавитационного воздействия при частоте колебаний 24 кГц ультразвукового преобразователя и амплитудой колебаний 10 мкм.

Результаты. При изучении контрольных полуфабрикатов и обработанных при стационарном и при принудительном движении стакана со смесью в горизонтальном положении наблюдалось повышение плотности: классический инвертный сироп 1,230–1,317 г/см³, контроль на соке тыквы – 1,368 г/см³, в стационарном положении – 1,423 г/см³, при принудительном движении – 1,431 г/см³, при нагреве – 1,424 г/см³. Отличительной особенностью сиропов с использованием кавитационной обработки является отсутствие условий для седиментации агрегатов и возникновения броуновского движения, из-за его высокой плотности по сравнению с инвертным сиропом по традиционной технологии.

Выводы. Разработана технология сиропа, который может являться полуфабрикатом для получения различных изделий из плодовоовощного сырья, и может быть использован в качестве самостоятельного продукта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

инвертный сироп на основе плодовоовощного сырья, плодовоовощное сырье, макроэлементный состав инвертного сиропа, кавитационное воздействие



Creation of Semi-finished Products with a High Content of Micronutrients Based on Fruit and Vegetable Raw Materials

All-Russian Scientific Research Institute of the Confectionery Industry, branch of the V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Mikhail A. Lavrukhin

20/3, Elektrozavodskaya st.,
Moscow, 107023, Russian Federation
E-mail: pesterevmisha@yandex.ru

FOR CITATIONS:

Pesterev, M. A., & Lavrukhin, M. A. (2022). Creation of semi-finished products with a high content of micronutrients based on fruit and vegetable raw materials. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 66–73. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.376>

RECEIVED: 07.10.2022

ACCEPTED: 12.10.2022

PUBLISHED: 14.10.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Mikhail A. Pesterev, Mikhail A. Lavrukhin

ABSTRACT

Background. Molasses and invert syrup are widely used in the confectionery industry, which are a part of almost all recipes of flour and sugary confectionery products as an anti-crystallizer to preserve the freshness of the product. The use of invert syrup makes it possible to increase the manufacturability of the production process due to the increased fluidity of the syrup and its cost-effectiveness due to the possibility of eliminating the tempering stage, however, it practically does not possess macronutrients necessary for human life. Pumpkin is a promising raw material for the production of confectionery and semi-finished products, being a source of micro- and macronutrients, pectin and beta-carotene.

The purpose of this work is to create a semi-finished product technology based on fruit and vegetable raw materials with an increased number of native micronutrients (by upgrading the syrup formulation to create confectionery products with increased nutritional value by replacing the water part with pumpkin juice).

Materials and Methods. The objects of the study were syrups with an amount of 80% solids based on pumpkin juice with different duration of cavitation treatment. Cavitation treatment was carried out under conditions of acoustic cavitation at an oscillation frequency of 24 kHz of an ultrasonic transducer and an oscillation amplitude of 10 microns.

Results. When studying control semi-finished products and processed with stationary and forced movement of a glass with a mixture in a horizontal position, an increase in density was observed: classic invert syrup 1,230–1,317 g/cm³, control on pumpkin juice – 1,368 g/cm³, in a stationary position – 1,423 g/cm³, with forced movement – 1,431 g/cm³, when heated – 1,424 g/cm³. A distinctive feature of syrups using cavitation treatment is the absence of conditions for sedimentation of aggregates and the occurrence of Brownian motion, due to its high density compared to invert syrup by traditional technology.

Conclusion. The technology of syrup has been developed, which can be a semi-finished product for obtaining various products from fruit and vegetable raw materials, and can be used as an independent product.

KEYWORDS

invert syrup based on fruit and vegetable raw materials, fruit and vegetable raw materials, macronutrient composition of invert syrup, cavitation effect

ВВЕДЕНИЕ

Кондитерские изделия являются основой для обогащения их повышенным количеством нативных минеральных веществ и пищевых волокон. Рецептура мучных и сахаристых кондитерских изделий включает компоненты, которые можно модернизировать посредством их обогащения нативными макронутриентами. Так, в качестве антикристаллизатора для сохранения свежести изделия при хранении вводится патока, являющаяся продуктом неполного гидролиза крахмала (кукурузного, картофельного или другого) минеральными кислотами или ферментами, содержащий большое количество основных видов сахаров (мальтоза, глюкоза, декстрины) (BeMiller, 2018; Tiefenbacher, 2017). Патока является высоковязким полуфабрикатом (при 20 °C ее вязкость составила 225 Па · с), поэтому требуется обязательное ее темперирование при доставке на производства, хранении и транспортировании по трубопроводам¹. Стабильные качественные показатели патоки обеспечиваются в температурном диапазоне 40–60 °C (Солуянова, 2014). При дальнейшем повышении температуры выше 60 °C наблюдается повышение кислотности в патоке.

Заменителем патоки при изготовлении кондитерских изделий может выступать инвертный сироп с его нейтрализацией дикарбонатом натрия. Инвертный сироп способствует и повышению цветности готовой продукции. Отличительной способностью инвертного сиропа является относительно низкая вязкость порядка 17 Па · с, то есть в 13–14 раз ниже, чем у патоки. Тем самым, обеспечивается быстрое его нагревание до требуемых температур для интенсификации технологического процесса. По классической технологии инвертный сироп готовят в варочных котлах с рубашками с острым паром давлением 2–4 атм. и при достижении в процессе кипения 114–115 °C вводят молочную кислоту для проведения инверсии сахаров. Инверсия сахарозы протекает в короткий промежуток времени не дольше 10 мин. и далее при охлаждении до 80–90 °C инвертный сироп подвергается нейтрализации двууглекислой содой. При получении сиропа по данной технологии часто наблюдалось быстрое изменение его внеш-

него вида до темно-коричного цвета. Это основной показатель наличия оксиметилфурфурола¹. Присутствие оксиметилфурфурола в больших количествах в пищевых продуктах нежелательно, поскольку организм человека не может его метаболизировать, что приводит к нарушению биохимических процессов в организме. К отрицательным показателям так же можно отнести низкую стабильность инвертного сиропа и его быструю кристаллизацию.

С учетом выявления положительных и отрицательных показателей сиропа по приведенной технологии всероссийским научно-исследовательским институтом кондитерской промышленности (ВНИИКП) разработана рациональная технология кислого инвертного сиропа ВНИИКП (Кочетов, 2011). Выявлены преимущества кислой среды за счет повышения скорости инверсии по сравнению с щелочной средой. Создаются благоприятные условия для более полного и глубокого протекания технологического процесса и повышения качественных показателей готовой продукции (Талейник, 2003; Аксенова, 2011; Аксенова, 2013). Однако, несмотря на высокую технологичность инвертного сиропа, он практически не обладает макроэлементами, необходимыми для жизнедеятельности человека.

Овощное сырье позволяет увеличить базу кондитерских изделий с повышенным количеством макроэлементов (Кондратенко, 2021; Лисовицкая, 2015; Черданцева, 2018). Одним из видов растительного сырья, имеющего при достаточно высоком содержании пектиновых веществ и нативных витаминов, минеральных веществ и пищевых волокон, является тыква. Научные разработки в области производства пищевых кондитерских изделий с высоким содержанием растворимой формы пектиновых веществ и витаминов (в частности, каротиноидов) из тыквы малочисленны, в связи с чем технологическое обоснование и разработка кондитерских изделий из тыквы в настоящее время является одной из актуальных задач для пищевой промышленности. Исследования отмечают, что тыква отличается повышенным количеством микро- и макронутриентов, β-каротина и пектина (Кондратенко, 2019).

¹ Журавлева, Е. И. (1966). Справочник кондитера. Ч. 1. Сырье и технология кондитерского производства. М.: Пищевая промышленность.

При переработке овощи подвергаются различным методам воздействий: высушивание, измельчение, консервирование, фракционирование и др. В процессе фракционирования на сок и мякоть сырье переходит из напряженного состояния в условно-свободное. Это обеспечивает возможность в дальнейшем их соединения за счет осмотического давления (Пестерев, 2021).

Представляется перспективной модернизировать рецептуры сиропов для создания кондитерских изделий путем замены водной части инвертного сиропа на сок тыквы, что позволит повысить пищевую ценность готовых кондитерских изделий за счет наличия макроэлементов. Целью настоящего исследования является создание технологии получения сиропа на основе плодовоощного сырья с повышенным количеством нативных микронутриентов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Объектами исследования являлись сиропы с количеством сухих веществ 80 % на основе сока тыквы с различной продолжительностью кавитационной обработки. Было получено 3 образца сиропа на основе тыквы:

- (1) Сироп на основе сока тыквы с кавитационной обработкой при стационарном положении.
- (2) Сироп на основе сока тыквы с кавитационной обработкой, полученный в условиях для повышения равномерности распределения компонентов.
- (3) Сироп на основе сока тыквы, полученный с температурным воздействием.

Методы и инструменты

Кавитационную обработку проводили в условиях акустического кавитационного воздействия при частоте колебаний 24 кГц ультразвукового преобразователя и амплитудой колебаний 10 мкм.

Фракционирование тыквы осуществлялось в вертикальной шнековой соковыжималке с разделением измельченной массы на сок и мякоть.

Содержание макроэлементов (калия, натрия, магния, кальция) определяли методом капиллярного электрофореза по ГОСТ 34414–2018² («Капель-105М», Россия).

Процедура исследования

Сиропы были получены путем растворения сахара в соке тыквы с последующим нагреванием, в процессе которого обеспечивается диспергирование частиц сахара и переход их в раствор, при температуре 60 °С вводился 10 % раствор лимонной кислоты и доведение раствора до 79 % сухих веществ с последующей обработкой кавитационным воздействием. За окончание кавитационной обработки преимущественно была принята дегазация сиропа. Дополнительно был исследован сироп с температурным воздействием соответственно времени кавитационной обработки.

Кавитация — это способ физического воздействия при производстве кондитерских изделий и полуфабрикатов, способствующий повышению сохранности витаминов благодаря уменьшению длительности температурного воздействия и достижении заданных свойств полуфабриката. Акустическая кавитация, возникающая в результате генерируемых колебаний ультразвуковым преобразователем с частотой 18–24 кГц, обеспечивает турбулентное движение твердых частиц дисперсной системы в направлении движения потока.

Модельные образцы сиропов на основе сока тыквы изготавливали в соответствии с разработанной рецептурой, в котором водная часть полностью заменена на сок тыквы (Таблица 1).

² ГОСТ 34414–2018. (2018). *Изделия кондитерские. Методы определения массовой доли фруктового сырья. Часть 2. Определение макроэлементов*. М.: Стандартинформ.

Таблица 1

Рецептура сиропа на основе сока тыквы

Наименование сырья и полуфабрикатов	Содержание сухих веществ, %	Расход сырья на 1 т готовой продукции, кг	
		в натуре	в сухих веществах
Сахар-песок	99,85	764,90	763,76
Сок тыквы	13,00	262,94	34,18
Кислота лимонная	91,20	2,27	2,07
Итого	—	1030,11	800,01
Выход	80,00	1000,00	800,00

Анализ данных

Информационной базой для исследования послужили статистические и аналитические материалы^{3,4}. Статистический анализ данных проведен с помощью Excel 2013. Общепринятые методы определения качественных показателей готовых изделий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведена серия опытов по установлению равномерности распределения компонентов. Для получения первого образца сиропа на основе сока тыквы предварительно приготовили рецептурную смесь из сахара и сока в требуемом соотношении, довели температуру до 90 °С в течении 900 сек. Проводили кавитационную обработку сиропа при стационарном положении волновода. Наглядно наблюдалось турбулентное движение по часовой стрелке, при этом осуществлялось перемешивание массы. Однородность массы была достигнута по исчезновению звука, т.е. при дегазации — спустя 147 сек после начала кавитационной обработки. Продолжали обработку в течение 240 секунд после дегазации, температура образца по окончанию достигала 102 °С.

Приготовление второго образца проводилось при принудительном движении стакана со смесью в горизонтальном положении. Тем самым обеспечивалась обработка по всей массе при 24 кГц. Происходило схлопывание пузырьков воздуха и исчезновение звука, то есть дегазация — спустя 72 сек после начала кавитационной обработки. Процесс происходил более активно при бурном кипении с достижением 106 °С. За счет кипения и испарения воздух уходил с водной оболочкой, содержание сухих веществ повысилось на 1–1,5 %.

В условиях кавитационного воздействия наблюдалось изменение окраски образцов по сравнению с контрольным образцом без кавитационной обработки. В третьем образце с повышением температуры до 100–102 °С при продолжительности кипения 387 сек., т.е. при режиме аналогичном опыту при стационарном положении волновода, наблюдался менее яркий цвет даже по сравнению с контрольным образцом.

Исходя из ранее проведенных исследований, плотность инвертного сиропа, изготовленного по классической рецептуре, находится в диапазоне 1,230–1,317 г/см³ (Карцева, 2010). При изучении представленных в данной работе сиропов с применением сока тыквы наблюдалось повышение их плотности: контроль на соке тыквы — 1,368 г/см³, после кавитационной обработки в стационарном положении — 1,423 г/см³, после кавитацион-

³ Скурихина, И. М., & Тутельян, В. А. (Ред.). (2007). *Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания: Справочник*. М.: Дели Принт.

⁴ FoodData central search results U.S. Department of agriculture agricultural research service. <https://fdc.nal.usda.gov/index.html>

Таблица 2

Макроэлементный состав сиропов

Наименование образца	Калий, мг/100 г	Натрий, мг/100 г	Магний, мг/100 г	Кальций, мг/100 г
Инвертный сироп	2,1	1,0	0,3	3,5
Сироп на соке тыквы контроль	97,0	10,4	12,9	41,8
Сироп на соке тыквы стационарная кавитация 387 сек.	118,0	11,3	11,5	45,1
Сироп на соке тыквы движение 313 сек.	105,6	9,7	10,9	42,4
Сироп на соке тыквы температура 100–102 °С 387 сек.	124,6	11,7	10,6	42,2

ной обработки при принудительном движении — 1,431 г/см³, при нагреве — 1,424 г/см³.

Отличительной особенностью и новизной разработанных сиропов с использованием кавитационной обработки является отсутствие условий для седиментации агрегатов и возникновения броуновского движения, из-за его высокой плотности по сравнению с инвертным сиропом по традиционной технологии.

Исследовали содержание макроэлементов методом капиллярного электрофореза в сиропах на основе сока тыквы приготовленных разными способами для изучения влияния режимов получения образцов (Таблица 2).

Повышение макроэлементов можно объяснить тем, что в сырых овощах накопление витаминов и макроэлементов происходит в вакуолях клеток сока овощей, а кавитационная обработка и температурное воздействие разрушает клеточные стенки. Данное явление позволяет более полным образом высвободить макроэлементы из волокон плодовоощного сырья, что происходит в соответствии с ранее проведенными исследованиями (Смотряева, 2014).

ВЫВОДЫ

Разработана технология сиропа на основе плодовоощного сырья с повышенным количеством нативных микронутриентов, который может являться полуфабрикатом для получения различных изделий из плодовоощного сырья, и может быть использован в качестве самостоятельного продукта.

Применение инвертного сиропа вместо патоки позволяет повысить технологичность производственного процесса из-за повышенной текучести сиропа по сравнению с патокой и его экономичность из-за возможности исключения стадии темперирования патоки, однако он практически не обладает макроэлементами, необходимыми для жизнедеятельности человека.

В соответствии с изначальной гипотезой замена водной части инвертного сиропа на сок из сырья тыквы позволила повысить пищевую ценность за счет наличия макроэлементов.

В настоящее время проводятся исследовательские работы по определению редуцирующих веществ в сиропе в зависимости от продолжительности инверсии сахарозы. Также дальнейшим направлением исследования является изучение влияния температурного воздействия по разработанной технологии на содержание витаминов в полуфабрикатах.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Пестерев М. А.: руководство исследованием, концептуализация, методология, проведение исследования, верификация данных, формальный анализ, создание рукописи и её редактирование, визуализация.

Лаврухин М. А.: проведение исследования, верификация данных, формальный анализ, создание рукописи и её редактирование, визуализация.

ЛИТЕРАТУРА

- Аксенова, Л. М., Талейник, М. А., & Кочетов, В. К. (2011). Принципы управления структурно-механическими характеристиками мучных кондитерских изделий. *Хлебопродукты*, (9), 64–66.
- Аксенова, Л. М., Талейник, М. А., Щербакова, Н. А., Герасимов, Т. В., & Кочетов, В. К. (2013). Технология кислого инвертного сиропа с повышенным содержанием редуцирующих веществ. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, (4), 80–81.
- Кондратенко, В. В., & Кондратенко, Т. Ю. (2019). Особенности формирования сорбционных свойств пектиновых веществ из разных видов тыквы. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Пищевые и биотехнологии*, 7(4), 5–12.
- Кондратенко, В. В., Петров, А. Н., Пацюк, Л. К., Лукьяненко, М. В., & Симоненко, Е. С. (2021). О возможности применения коллапсирующей кавитации при производстве продуктов для детского питания. *Пищевая промышленность*, 6, 33–38. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.6.6.014>
- Кочетов, В. К., Аксенова, Л. М., & Талейник, М. А. (2011). Диагностика существующей и новой технологии заварных ферментативных пряников. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (6), 14–16.
- Лисовицкая, Е. П., Пономаренко, Л. В., & Коваленко, М. П. (2015). Побочные продукты переработки тыквы и моркови как компоненты мясорастительных консервов. *Молодой ученый*, (15), 99–10.
- Пестерев, М. А., Талейник, М. А., Аксенова, Л. М., Руденко, О. С., Кондратьев, Н. Б., Петров, А. Н., & Пацюк, Л. К. (2021). Инновационная технология производства кондитерского полуфабриката из овощного сырья в условиях совмещения двух видов кавитационного воздействия. *Достижения науки и техники АПК*, 35(11), 59–63. https://doi.org/10.53859/02352451_2021_35_11_59
- Солуянова, А. А., Ямашев, Т. А., & Решетник, О. А. (2014). Условия образования меланоидинов при производстве сиропов. *Вестник Казанского технологического университета*, (17), 273–275.
- Талейник, М. А., Скокан, Л. Е., Щербакова, Н. А., Солдатова, Е. А., & Кочетов, В. К. (2003). Влияние инвертного сиропа на срок годности кондитерских изделий. *Кондитерское производство*, (3), 44–45.
- Черданцева, П. А., & Соболева, О. М. (2018). Уникальные особенности химического состава плодов тыквы как основа диетического питания. В *Агропромышленному комплексу — новые идеи и решения: Материалы XVII Внутриузовской научно-практической конференции* (с. 216–220). Кемерово: ФГБОУ ВО Кемеровский ГСХИ. Кемерово.
- BeMiller, J. N. (2018). Carbohydrate and noncarbohydrate sweeteners. In *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists* (pp. 371–399). West Lafayette: Whistler Center for Carbohydrate Research. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812069-9.00019-4>
- Tiefenbacher, K. F. (2017). Technology of main ingredients — water and flours. In K. F. Tiefenbacher (Eds.). *Wafer and Waffle* (pp. 15–121). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809438-9.00002-8>

REFERENCES

- Aksanova, L. M., Taleisnik, M. A., & Kochetov, V. K. (2011). Printsipy upravleniya strukturno-mekhanicheskimi kharakteristikami muchnykh konditerskikh izdelii [Principles of management of structural and mechanical characteristics of flour confectionery products]. *Khleboprodukty [Bread Products]*, (9), 64–66.
- Aksanova, L. M., Taleisnik, M. A., Shcherbakova, N. A., Gerasimov, T. V., & Kochetov, V. K. (2013). Tekhnologiya kislogo invertnogo siropa s povyshennym soderzhaniem reduktivnykh veshchestv [Technology of acidic invert syrup with a high content of reducing substances]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pischchevaya tekhnologiya [News of Higher Educational Institutions. Food Technology]*, (4), 80–81.
- Cherdantseva, P. A., & Soboleva, O. M. (2018). Unikal'nye osobennosti khimicheskogo sostava plodovtykvy kak osnova dieticheskogo pitaniya [Unique features of the chemical composition of the fruit as the basis of dietary nutrition]. In *Agropromyshlennomu kompleksu — novye idei i resheniya: Materialy XVII Vnutrivuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Agro-industrial complex — new ideas and solutions: Materials of the 17th Intra-university scientific and practical conference]* (pp. 216–220). Kemerovo: FGBOU VO Kemerovskii GSKhI. Kemerovo.
- Kochetov, V. K., Aksanova, L. M., & Taleisnik, M. A. (2011). Diagnostika sushchestvuyushchey i novoy tekhnologii zavarnykh fermentativnykh pryanikov [Diagnostics of the existing and new technology of custard enzymatic gingerbread]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and Processing of Farm Products]*, (6), 14–16.
- Kondratenko, V. V., & Kondratenko, T. Yu. (2019). Osobennosti formirovaniya sorbtsionnykh svoistv pektinovykh veshchestv iz raznykh vidov tykvy [Features of the formation of sorption properties of pectin substances from different types of pumpkin]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Pischchevye i biotekhnologii [Bulletin of the South Ural State University. Food and Biotechnology]*, 7(4), 5–12.
- Kondratenko, V. V., Petrov, A. N., Patsyuk, L. K., Luk'yanenko, M. V., & Simonenko, E. S. (2021). O vozmozhnosti primeneniya kollapsiruyushchey kavitsatsii pri proizvodstve produktov dlya detskogo pitaniya [About the possibility of

- using collapsing cavitation in the production of baby food products]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], 6, 33–38. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.6.6.014>
- Lisovitskaya, E. P., Ponomarenko, L. V., & Kovalenko, M. P. (2015). Pobochnye produkty pererabotki tykvy i morkovi kak komponenty myasorastitel'nykh konservov [By-products of pumpkin and carrot processing as components of canned meat]. *Molodoi uchenyi* [Young Scientist], (15), 99–10.
- Pesterev, M. A., Taleisnik, M. A., Aksanova, L. M., Rudenko, O. S., Kondrat'ev, N. B., Petrov, A. N., & Patsyuk, L. K. (2021). Innovatsionnaya tekhnologiya proizvodstva konditer-skogo polufabrikata iz ovoshchnogo syr'ya v usloviyakh sovmeshcheniya dvukh vidov kavitsionnogo vozdeistviya [Innovative technology for the production of semi-finished confectionery from vegetable raw materials in the conditions of combining two types of cavitation effects]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of Agriculture], 35(11), 59–63. https://doi.org/10.53859/02352451_2021_35_11_59
- Soluyanova, A. A., Yamashev, T. A., & Reshetnik, O. A. (2014). Usloviya obrazovaniya melanoidinov pri proizvodstve siropov [Conditions for the formation of melanoidins in the production of syrups]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], (17), 273–275.
- Taleisnik, M. A., Skokan, L. E., Shcherbakova, N. A., Soldatova, E. A., & Kochetov, V. K. (2003). Vliyanie invertnogo siropna srok godnosti konditerskikh izdelii [The effect of invert syrup on the shelf life of confectionery products]. *Konditerskoe proizvodstvo* [Confectionery Production], (3), 44–45.
- BeMiller, J. N. (2018). Carbohydrate and noncarbohydrate sweeteners. In *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists* (pp. 371–399). West Lafayette: Whistler Center for Carbohydrate Research. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812069-9.00019-4>
- Tiefenbacher, K. F. (2017). Technology of main ingredients – water and flours. In K. F. Tiefenbacher (Eds.). *Wafer and Waffle* (pp. 15–121). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809438-9.00002-8>

УДК 577.115

Оптимизация условий выделения IgY из желтка куриных яиц

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, г. Москва, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Юдина Алеся Николаевна
 Адрес: 125480, г. Москва,
 ул. Героев Панфиловцев, д. 20
 E-mail: a.n.yudina@yandex.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:
 данные текущего исследования
 доступны по запросу
 у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
 Красноштанова, А. А., & Юдина, А. Н. (2022). Оптимизация условий выделения IgY из желтка куриных яиц. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 74–84. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.301>

ПОСТУПИЛА: 25.03.2022
ПРИНЯТА: 10.10.2022
ОПУБЛИКОВАНА: 14.10.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
 авторы сообщают об отсутствии
 конфликта интересов.



А. А. Красноштанова, А. Н. Юдина

АННОТАЦИЯ

Введение. Иммуноглобулины Y (IgY), полученные в результате иммунизации сельскохозяйственной птицы против определенного патогена, обладают высокой активностью в отношении данного возбудителя. В настоящее время пассивная иммунизация с использованием IgY является весьма перспективной, благодаря отсутствию реакционной способности IgY в отношении Fc-рецепторов млекопитающих, низкой себестоимости и простоте выделения. Яичный желток является богатым источником IgY, общее содержание которого превышает 100 мг на одно куриное яйцо. Из-за существенных различий между сывороткой крови и яичным желтком, выделение иммуноглобулинов из последнего требует специфической очистки от липидной части желтка. Это достижимо посредством двукратной обработки, включающей процедуру отделения водорастворимой фракции (ВФ) от липидного матрикса при pH 4-5 и выделение IgY из ВФ.

Цель. Целью данной работы является оптимизация условий выделения IgY, которые позволили бы реализовать вариант глубокой переработки яичного желтка.

Материалы и методы. Для достижения данной цели в качестве объекта исследования были взяты куриные яйца, и использованы статистический (РЦКП), аналитический (биуретовый), физико-химические (ДСН-ПААГ, ультрафильтрация) методы.

Результаты. Были подобраны следующие условия выделения IgY: замораживание раствора желтка в смеси натрий-фосфатный буфер: подкисленная до pH 5,0 вода в соотношении 1:6 при температуре -20 °C и декантование от липидных компонентов фильтрованием во время самопроизвольного оттаивания при комнатной температуре. Полученную водорастворимую фракцию далее подвергали преципитации хлоридом натрия в концентрации 10 масс. % и последующему концентрированию на мембране УАМ-10, что позволило достичь содержания основного вещества (IgY) не менее 95 % в расчете на сухое вещество.

Выводы. Установлены условия проведения селективного выделения IgY из яичного желтка путем проведения оптимизации процесса: кратность разведения желточной супензии равная 6 и концентрация добавляемой соли NaCl к водорастворимой фракции 10 масс. %, в результате было получено уравнение регрессии $Y = 8,1834X_1 + 5,5258X_2 + 0,6005X_1^2 + 0,2819X_2^2$, обеспечивающее максимальную степень очистки целевого продукта от балластных белков и примесей, что позволяет получить IgY-содержащую фракцию с содержанием белка, варьирующимся в пределах 11,5–12,1 г/л и чистотой не менее 95 %.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

IgY, яичный желток, комплексная переработка, преципитация, ультрафильтрация

Optimization of Conditions for Isolation of IgY from the Yolk of Chicken Eggs

Mendeleev University of Chemical Technology, Moscow, Russia

CORRESPONDENCE:

Mikhail A. Lavrukhin
20/3, Elektrozavodskaya st.,
Moscow, 107023, Russian Federation
E-mail: pesterevmisha@yandex.ru

FOR CITATIONS:

Krasnoshtanova, A. A., & Yudina, A. N. (2022). Optimization of conditions for isolation of IgY from the yolk of chicken eggs. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 74–84.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.301>

RECEIVED: 25.03.2022

ACCEPTED: 10.10.2022

PUBLISHED: 14.10.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Alla A. Krasnoshtanova, Alesya N. Yudina

ABSTRACT

Background. Immunoglobulins Y (IgY), obtained as a result of immunization of poultry against a specific pathogen, are highly active against this pathogen. Currently, passive immunization using IgY is very promising due to the lack of reactivity of IgY with respect to mammalian Fc receptors, low cost and ease of isolation. Egg yolk is a rich source of IgY, the total content of which exceeds 100 mg per chicken egg. Due to the significant differences between blood serum and egg yolk, the isolation of immunoglobulins from the latter requires specific purification from the lipid part of the yolk. This is achievable through a two-fold treatment, including the procedure for separating the water-soluble fraction (WF) from the lipid matrix at pH 4-5 and isolating IgY from the WF.

Purpose. The purpose of this work is to optimize the conditions for the isolation of IgY, which would allow the implementation of a variant of deep processing of egg yolk.

Materials and Methods. To achieve this goal, chicken eggs were taken as an object of study, and statistical (RCCP), analytical (biuret), physicochemical (SDS-PAGE, ultrafiltration) methods were used.

Results. The following conditions for IgY isolation were selected: freezing of the yolk solution in a mixture of sodium phosphate buffer: water acidified to pH 5.0 in a ratio of 1:6 at a temperature of -20°C and decanting from lipid components by filtration during spontaneous thawing at room temperature. The resulting water-soluble fraction was then subjected to precipitation with sodium chloride at a concentration of 10 wt. % and subsequent concentration on the UAM-10 membrane, which made it possible to achieve the content of the main substance (IgY) of at least 95 % on a dry matter basis.

Conclusion. The conditions for the selective isolation of IgY from egg yolk by optimizing the process were established: the dilution ratio of the yolk suspension is 6 and the concentration of the added NaCl salt to the water-soluble fraction is 10 wt. %; as a result, a regression equation $Y = 8,1834X_1 + 5,5258X_2 + 0,6005X_1^2 + 0,2819X_2^2$, was obtained, which provides the maximum degree of purification of the target product from ballast proteins and impurities, which makes it possible to obtain an IgY-containing fraction with a protein content, varying in the range of 11.5–12.1 g / l and a purity of at least 95 %.

KEYWORDS

IgY, egg yolk, complex processing, precipitation, ultrafiltration

ВВЕДЕНИЕ

Иммуноглобулины (Igs) — гликопротеины, вырабатываемые организмом в ответ на чужеродный антиген и способные целенаправленно атаковать мишени. Наиболее доступным источником антител является кровь млекопитающих. Полученные из крови млекопитающих антитела (IgG) успешно использовались в иммунотерапии и иммунных анализах на протяжении долгих лет (Abbas et al., 2019). Однако их повышенное содержание в крови млекопитающих вовлекает их в ненужное взаимодействие, приводящее к возникновению иммунных опосредованных патологий или к отсутствию иммунного ответа организма, что препятствует их применению в определенных методах иммунного анализа (Thirumalai et al., 2019). Кроме того, нерентабельность производства и трудность достижения высокого и стабильного титра антител препятствуют их использованию в терапевтических целях (Nie et al., 2019; Müller et al., 2015). Более того, процедура выделения антител включает в себя стадии, призывающие боль животным. Именно поэтому использование крови млекопитающих в качестве источника для получения иммуноглобулинов следует подвергнуть сомнению (Zajac, 2018).

IgY-технология является инновационным методом получения антител для терапии и профилактики (Каплин & Каплина, 2016а; Каплин & Каплина, 2016б). Данный подход основан на процессах производства и извлечения специфических IgY антител из яичного желтка. Преимущества IgYs по сравнению с IgGs заключаются в их экономически эффективном извлечении, минимизации вреда и страданий животных, а также снижении их реактивности с факторами млекопитающих (Spillner et al., 2012; Megha & Mohanan, 2021; Karamzadeh-Dehaghani et al., 2021). В составе молекулы IgY имеются 2 легкие (L) и 2 тяжелые (H) цепи, формирующие за счет переплетения дисульфидных связей мономерное звено (H2L2). Их молекулярные массы равны 26 кДа и 67 кДа соответственно (Pereira et. al., 2019). Известно, что вариабельную часть H-цепи кодирует область молекулы ДНК, имеющей следующие генные сегменты: вариабельный (V), соединительный (J) и сегмент разнообразия (D), перестройка которых не способна внести вклад в развитие иммуногенетического разнообразия IgY, что характерно для явления гиперконверсии генов (Parma et. al., 2011; Mwale et al., 2020). В отличие от IgG, IgY име-

ет 4 константных домена CH1–CH4, что утяжеляет молекулярный вес IgY (~170–180 кДа) по сравнению с IgG (~150 кДа) (Polanowski et. al., 2012). Молекула IgY обладает меньшей гибкостью за счет пролиновых и глициновых аминокислотных остатков, локализованных между доменами CH1–CH2 и CH2–CH3, и именно поэтому куриные антитела менее подвержены протеолитической деградации и фрагментации (Каплин & Каплина, 2016а). Достаточно высокое содержание IgY в желтке позволяет получить из одного яйца 50–100 мг общего IgY и до 10 масс. % от этой величины — специфического IgY, что соответствует количеству IgG, полученного из сыворотки 50–100 мышей (Журавлева и соавт., 2015). Процесс иммунизации куриц, используя определенный антиген, позволяет получить специфические антитела, содержащиеся в желтке (Diraviyam et al., 2019). В качестве антигена могут выступать вирусы, бактерии, белки, искусственные генно-инженерные конструкции, грибки, простейшие. Формирование высокого титра иммуноглобулинов зависит от возраста и породы животного, типа и концентрации вводимого антигена, кратности его введения (Chalghoumi et al., 2009). Яичный желток в отличие от крови млекопитающих представляет собой эмульсию на основе жиров и протеинов и поэтому требует более тщательной обработки перед стадией извлечения IgY. Таким образом, процесс выделения желточных антител построен на первоначальном отделении водорастворимой белковой фракции (ВФ) от липидных компонентов желтка и непосредственном выделении IgYs из ВФ (Grando et al., 2017). Для того, чтобы разделить белковую и липидную фракцию, необходимо провести предварительное осаждение липидных агрегатов, которое согласно литературным данным осуществляется с помощью полиэтиленгликоля (ПЭГ 6000), сульфата декстрана, альгината, каприловой кислоты и других органических растворителей или путем замораживания-оттаивания разбавленной желточной супензии. Далее IgY-фракцию осаждают из неочищенного белкового экстракта посредством высаливания сульфатом аммония или хлоридом натрия, а после подвергают очистке хроматографией (эксклюзионной, ионообменной, тиофильной, аффинной) или повторно применяют преципитацию иммуноглобулинов (Amro et al., 2017). В зависимости от используемого способа очистки степень чистоты конечного препарата иммуноглобулинов Y варьирует в диапазоне 85–98 % в расчете на сухой вес (Esmailnejad et al., 2019).

В настоящее время в данной области активно ведутся разработки способов получения специфических IgY против SARS-CoV-2 для диагностики, профилактики и лечения новой короновирусной инфекции. Гипериммунный IgY против консервативного нуклеокапсидного белка (NP) SARS-CoV-2 (N-IgY) в титре 1:50 000 продемонстрировал сильную способность связывания с NP, что заложило основу для применения N-IgY, нацеленного на NP (Lyu et al., 2021; Somasundaram et al., 2020; Lu et al., 2020).

Именно поэтому разработка наилучшего метода выделения IgY из желтка куриных яиц, пригодного для их промышленного получения, является необходимой для обеспечения высокой чистоты получаемой иммуноглобулиновой фракции. Цель данной работы заключается в проведении исследований по оптимизации условий извлечения антител из яичного желтка для разработки простой схемы его выделения, которую можно было бы масштабировать для промышленного использования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты

Экспериментальная работа проводилась над модельными объектами, в качестве которых были выбраны куриные яйца, обладающие соответствующими техническими требованиями ГОСТа 31654–2012¹: влажность – 84 %, содержание жира в желтке – 32,6 %, сырого протеина в белке – 10,6 %, в желтке – 16,6 %, фосфолипидов в желтке – 29,6 %.

Материалы

- фосфатный солевой буфер, pH 7,4;
- соляная кислота, 0,2 н;
- хлорид натрия;
- фильтровальная бумага;
- ацетатцеллюлозная мембрана
- вода дистиллированная.

Оборудование

- конические колбы на 250 мл;
- воронка лабораторная;
- pH-метр; Aquasearcher AB41PH-F, Ohaus, 2020 г.;
- весы лабораторные Scout SJX621/E, Ohaus, 2016 г.;
- спектрофотометр Shimadzu UV-1800, 2016 г.;
- ультрафильтрационная ячейка Stirred Cell, 2018 г.;
- камера для вертикального электрофореза, Wide Mini-Sub Cell GT, Bio-Rad, 2019 г.

Инструменты

Статистическую обработку полученных данных осуществляли в программе MS Excel.

Методы

Содержание белка в растворах определяли биуретовым методом; молекулярную массу цепей, входящих в состав IgY – методом денатурирующего электрофореза в полиакриламидном геле (ДСН-ПААГ).

Методика проведения ультрафильтрации

Ультрафильтрацию белковых растворов проводили на плоских ацетатцеллюлозных мембранах с отсечкой по молекулярной массе 10 кДа (УАМ-10). В пермеате определяли содержание сухих веществ².

В мембранный ячейку 1 на фторопластовую подложку 7 помещают мембрану 8 и уплотняют резиновым кольцом 6 (см. Рисунок 1). После этого, отрегулировав положение магнитной мешалки 7, концентрируемый раствор заливают в ячейку через штуцер 10. Компрессором 3 и вентилем 5 создают давление в ячейке не более 2 атм. Пермеат, проходящий через мембрану, по каналу 6 поступает в отдельную ёмкость.

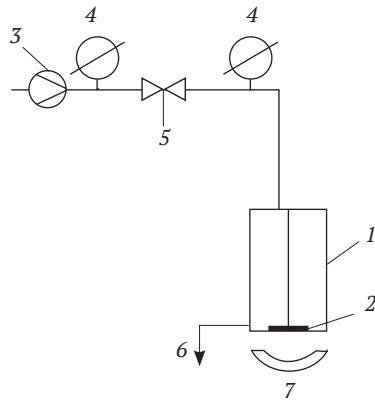
При проведении процесса концентрирования для каждого типа мембраны снимали инте-

¹ ГОСТ 31654–2012. (2012). Межгосударственный стандарт. Яйца куриные пищевые. Технические условия. М.: Стандартинформ.

² Кусакина, М. Г., Суворов, В. И., & Чудинова, Л. А. (2012). Большой практикум «Биохимия». Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет.

Рисунок 1

Схема лабораторной установки для проведения фильтрации



1 – ячейка; 2 – магнитная мешалка; 3 – компрессор; 4 – манометр; 5 – вентиль; 6 – линия пермеата; 7 – привод мешалки

гральную селективность, которую рассчитывали по формуле (1):

$$\varphi = \left(1 - \frac{X_n}{X_{исх}} \right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где φ – интегральная селективность, %; X_n – содержание белковых веществ в пермеате, ед./мл; $X_{исх}$ – содержание белковых веществ в исходном растворе, ед./мл.

Процедура исследования

Над объектами исследования была проведена процедура выделения IgY и дальнейшая оптимизация параметров процесса. Методику выделения IgY из яичного желтка проводили в соответствии с ра-

Таблица 1

Параметры ультрафильтрационных мембран

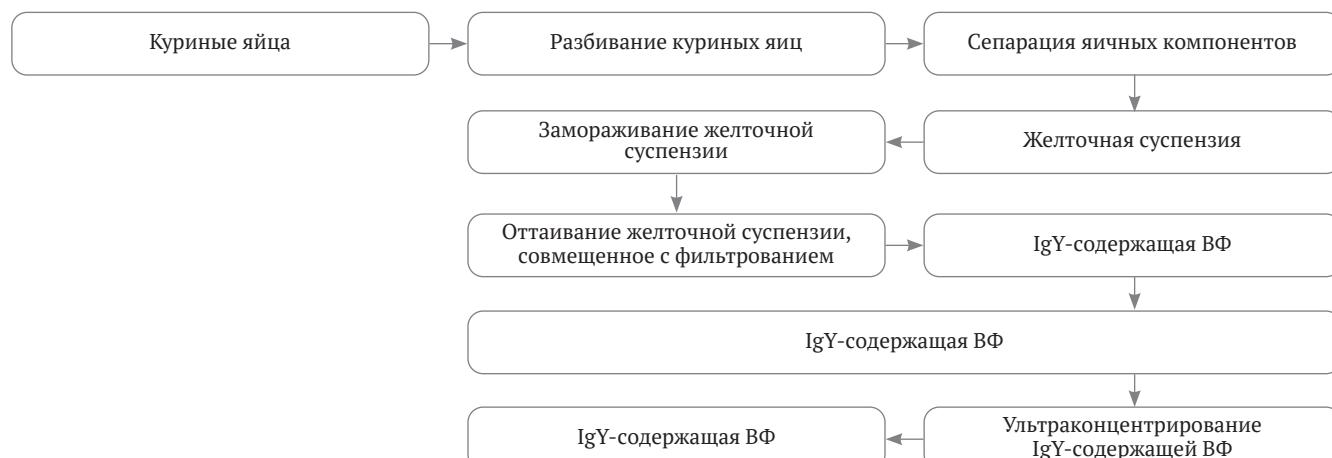
Марка мембраны	10П	100П	500П
Минимальная селективность, %			
по миоглобину (12 700Д)	98,5	95,0	
по альбумину (67 000Д)		97,0	
по γ -глобулину (150 000Д)		98,5	
Рабочий диапазон рН	3÷8 (от 2 до 12 для регенерированной целлюлозы)		
Рабочая температура, °C	5÷50		
Рабочее давление, МПа	0,15	0,15	0,15
Минимальная производительность по дистиллированной воде, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$	15	6	186

нее разработанной схемой выделения (Юдина & Красноштанова, 2020): предварительно очищенную от яичного белка желточную массу смешали с эквивалентным объемом фосфатного буфера (рН 7,4), после чего суспензию разбавили 6-ю объемами подкисленной до рН 5,0 воды; полученную суспензию заморозили при температуре -20°C ; отделение от липидных компонентов желтка осуществляли с помощью фильтрования при самопроизвольном оттаивании при комнатной температуре; к фильтрату, содержащему IgY, добавили NaCl в количестве 10 масс % и сконцентрировали на мемbrane УАМ-10 до содержания основного вещества не менее 95 % в расчете на сухой вес.

Схема получения IgY-содержащей фракции представлена на Рисунке 2.

Рисунок 2

Блок-схема процесса выделения IgY из яичного желтка



Определение оптимальных параметров проведения процесса выделения IgY из яичного желтка с обеспечением максимальной степени очистки целевого продукта от балластных белков и примесей проводили с помощью ротатабельного композиционного планирования. Таким образом, оптимальность режима проведения технологии обуславливается следующими факторами: 1) кратность разведения (X_1); 2) концентрация добавляемой соли, выраженная в % масс. (X_2). Факторы и уровни их варьирования приведены в Таблице 2. В качестве центра плана взяты предварительно апробированные 6-кратное разведение и 10% масс. концентрация добавляемого хлорида натрия. В общей сложности было проведено 13 экспериментов, при этом число экспериментов в центре композиционного плана составило 5.

Таблица 2

Факторы и уровни их варьирования

Факторы	Уровни варьирования			
	-1	0	+1	
Кратность разведения	X_1	5	7	9
Концентрация NaCl, масс. %	X_2	5	10	15

Так, к аликовоте желточной суспензии, смешанной с фосфатным буфером (pH 7,4), добавляли объемы подкисленной до pH 5,0 воды в 4, 6 и 8 раз превышающих объем аликовоты и замораживали при -20°C . По окончании процедуры самопроизвольного оттаивания при комнатной температуре получили водорастворимые фракции, к которым добавили преципитант (NaCl) в концентрациях 5, 10 и 15% от массы раствора. Концентрирование каждого раствора проводили в 2 раза с помощью метода ультрафильтрации на полых ацетатцеллюлозных мембранах с отсечкой по молекулярным массам в 10 кДа. Далее сконцентрированные растворы подвергались очистке методом диафильтрации. По полученным значениям интегральной селективности проводили построение поверхности отклика для установления оптимальных параметров извлечения IgY из желтка яиц сельскохозяйственной птицы. IgY-содержащий ретант, отвечающий установленным условиям процедуры дополнительно исследовали на степень чистоты методом ДСН-ПААГ.

Анализ данных

Планирование экспериментов для получения уравнения регрессии второго порядка осуществляли с помощью ротатабельного центрального композиционного плана (РЦКП), поскольку данный тип планирования позволяет минимизировать ошибки в определении значения параметра Y , вызванные неадекватностью представления результатов исследования процесса имитационной моделью в виде полинома второго порядка. Это возможно благодаря выбору удаленных от центра плана «звездных точек» на осях координат, что позволяет дополнить информацию, равноточную во всех направлениях, и придать непрерывность информационной поверхности.

Планирование и обработку экспериментов проводили в соответствии с учебным пособием (Ахназорова & Кафаров, 1985). Для приведения модели в соответствие с экспериментальными данными был использован множественный регрессионный анализ, представленный в виде полинома второй степени (2):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2, \quad (2)$$

где Y — измеряемый параметр, β_0 — регрессионный коэффициент, β_1 — регрессионный коэффициент для X_1 , β_2 — регрессионный коэффициент для X_2 , X_1 — кратность разведения, X_2 — концентрация NaCl, выраженная в масс %. Уравнение выражает взаимосвязь между прогнозируемым откликом и независимыми переменными. Адекватность полученной модели оценивали с помощью критерия Фишера. Значимость коэффициентов уравнения регрессии оценивали по критерию Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемый метод извлечения IgY из яичного желтка требует доработки с целью получения иммуноглобулиновой фракции высокой степени очистки. Поэтому следующим шагом в исследовательской работе является оптимизация вышеописанного процесса, результаты которого отражены в графиках и таблицах.

Таблица 3

Влияние кратности разбавления желточной массы и концентрации хлорида натрия на эффективность ультрафильтрации

Кратность разведения	Концентрации добавляемой соли (NaCl), %	Концентрация белка после концентрирования, г/л	Интегральная селективность ϕ , %
3	10	10,1	64
4	5	11,5	68
4	15	9,8	64
6	3	8,7	57
6	10	12,0	72
6	10	11,5	70
6	10	12,1	72
6	10	11,8	71
6	10	11,6	71
6	17	9,5	56
8	5	8,4	62
8	15	9,1	65
11	10	8,0	56

В таблице 3 представлена информация о расчетных значениях содержания белка в растворах после УФ и интегральной селективности по белку.

По приведенным данным о селективности (Y) по белку можно судить об эффективности его очистки от примесных компонентов. Из проведенного опыта следует, что наилучшему разведению желточной массы, при котором наблюдается самое высокое значение показателя ϕ , соответствует 6, а концентрация добавляемого реагента (NaCl) – 10 масс.%. Восьмикратное разведение оказалось неудачным из-за наличия сильного опалесцирующего эффекта в водорастворимой фракции, что свидетельствует о неполном разделении белковой и липидной фракций, а четырехкратное – нецелесообразно ввиду низких показателей по значениям интегральной селективности.

По результатам эксперимента была проведена математическая обработка экспериментальных данных методом РЦКП. Было получено следующее уравнение регрессии (3):

$$Y = 8,1834X_1 + 5,5258X_2 + 0,6005X_1^2 + 0,2819X_2^2. \quad (3)$$

Для проверки адекватности полученных уравнений рассчитывали значение интегральной селективности конечной фракции IgY и на основании полученных данных, определив значение критерия Фишера, заключили, что уравнение регрессии адекватно эксперименту.

По полученному уравнению регрессии (3) была построена поверхность отклика, представленная на Рисунке 3.

Исходя из приведенного графика можно сделать вывод о том, что оптимальными условиями для проведения процесса извлечения IgY из яичного желтка, позволяющими достичь значение показателя интегральной селективности не ниже 70%, является кратность разведения желточной суспензии равная 6 и концентрация добавляемой соли NaCl к водорастворимой фракции – 10 масс %, что соотносится с ранее полученными результатами (Юдина & Красноштанова, 2019). Таким образом, метод РЦКП как инструмент математического моделирования позволил определить наиболее точные параметры процесса, а именно кратность разведения суспензии, равную 6, что опровергает результаты, ранее полученные Hodek et. al., которые использовали кратность разведения равную 8. Сокращение объема перерабатываемой желточной массы при промышленном производстве является существенным преимуществом, поскольку позволяет снизить энергозатраты на перекачивание, нагрев и охлаждение технологических потоков. Стоит также отметить, что представленный метод позволяет

Рисунок 3

Поверхность отклика выходного параметра (интегральная селективность, %) при проведении оптимизации процесса выделения IgY из желтка куриных яиц

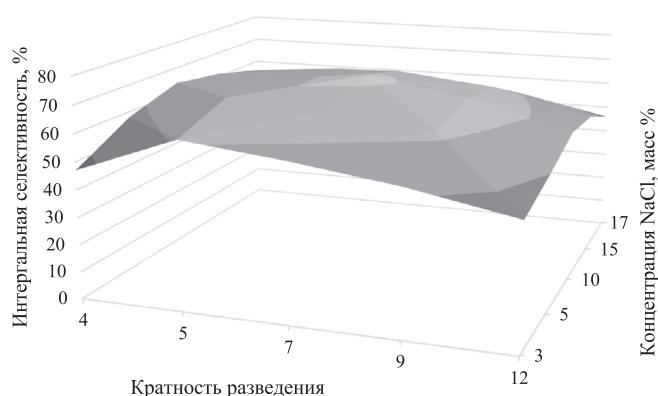
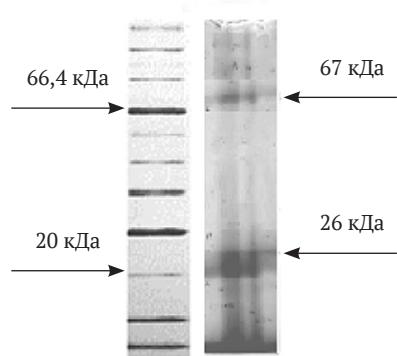


Рисунок 4

Электрофореграмма IgY-содержащего ретанта, полученного в результате шестикратного разбавления желточной супензии и специфической преципитации солями NaCl в концентрации 10 масс %



получить IgY-содержащую фракцию с содержанием белка, варьирующимся в пределах 11,5–12,1 г/л.

Полученную в оптимальных условиях IgY-содержащую фракцию исследовали на степень чистоты с ДСН-ПААГ. Полученные результаты представлены на Рисунке 4.

Из рисунка следует, что две полосы, соответствуют молекулярным массам легкой (26 кДа) и тяжелой (67 кДа) цепям иммуноглобулина класса Y. Таким образом, полученные данные согласуются с данными работ по исследованию молекулярно-массового состава иммуноглобулина IgY, выполненных авторами Hartmann, Wilhelmson, Hodek, Trefil, Simunek, Hudecek, Stiborova (Hartmann & Wilhelmson, 2001), использующих аналогичную методику по извлечению IgY из яичного желтка.

ВЫВОДЫ

Цель данного исследования заключалась в оптимизации условий извлечения антител из яичного желтка для разработки более простой по сравнению с известными схемы его выделения, которую можно было бы масштабировать для промышленного использования.

В результате исследования процесса извлечения IgY из яичного желтка удалось установить оптимальные условия процесса, позволяющие получить

IgY-содержащую фракцию. При кратности разведения желточной супензии, равной 6, и концентрации хлорида натрия 10 масс %, добавляемого к фильтрату, полученному после процесса самопропицвильного оттаивания замороженной супензии при комнатной температуре, далее подвергаемой очистке методом ультра- и диафильтрации, возможно получить ретант с содержанием IgY не ниже 11,5 г/л, что соответствует 95 % основного вещества в расчете на абсолютно сухую массу.

Таким образом, в ходе проведения метода математического планирования были подобраны оптимальные условия извлечения иммуноглобулинов Y из яичного желтка, а применение мембранных технологий в качестве способа его очистки от белластных белков и низкомолекулярных примесей обеспечило высокую степень чистоты целевого продукта (IgY). Представленная схема выделения иммуноглобулинов класса Y включает относительно простые технологические операции с применением дешевых, доступных и малотоксичных реагентов, что способно увеличить экономическую эффективность стадий и снизить затраты себестоимости, а также реализовать производство со сниженной экологической нагрузкой. Полученная субстанция сможет найти применение в пищевой промышленности и фармацевтике. Дальнейшие исследования будут направлены на подбор условий получения сухой субстанции иммуноглобулина Y, а также на оценку ее биологической активности и получение стабилизованных форм препарата.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Красноштанова А. А.: концептуализация, разработка методологии исследования, работа с программным обеспечением, курирование данных, научное руководство исследованием, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Юдина А. Н.: написание — подготовка черновика рукописи, визуализация, проведение исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- Ахназарова, С. Л., & Кафаров, В. В. (1985). *Методы оптимизации эксперимента в химической технологии*. М.: Высшая школа.
- Журавлева, М. В., Фирсова, И. В., & Воробьев, А. А. (2015). Клиническая эффективность метода плазмолифтинг и препарата «траумель с» в лечении заболеваний пародонта на примере собак с хроническим генерализованным пародонтитом. *Современные проблемы науки и образования*, (5), 351.
- Каплин, В. С., & Каплина, О. Н. (2016а). IgY-технологии в медицине. Желточные антитела птиц в иммунотерапии. *Международные обзоры: Клиническая практика и здоровье*, (4), 59–75.
- Каплин, В. С., & Каплина, О. Н. (2016б). IgY-технологии в медицине. Желточные антитела птиц. *Биотехнология*, 33(2), 29–40. <https://doi.org/10.21519/0234-2758-2017-33-2-29-40>
- Юдина, А. Н., & Красноштанова, А. А. (2019). Выбор оптимальной схемы выделения иммуноглобулинов из желтка яиц сельскохозяйственной птицы. В *Современное материооведение: Труды XIX Ежегодной молодежной конференции с международным участием* (с. 247–249). М.: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля Российской академии наук.
- Юдина, А. Н., & Красноштанова, А. А. (2020). Способ селективного выделения и очистки иммуноглобулинов (IgY) из желтка яиц сельскохозяйственной птицы. *Успехи в химии и химической технологии*, (11), 21–23.
- Abbas, A. T., El-Kafrawy, S. A., Sohrab, S. S., & Azhar, E. (2019). IgY antibodies for the immunoprophylaxis and therapy of respiratory infections. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, 15(1), 264–275. <https://doi.org/10.1080/21645515.2018.1514224>
- Amro, W. A., Al-Qaisi, W., & Al-Razem, F. (2017). Production and purification of IgY antibodies from chicken egg yolk. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 16(1), 99–103. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2017.10.003>
- Chalghoumi, R., Beckers, Y., Portetelle, D., & Théwissen, A. (2009). Hen egg yolk antibodies (IgY), production and use for passive immunization against bacterial enteric infections in chicken: A review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 13(2), 295–308.
- Diraviyam, T., Ambi, S.V., Vieira-Pires, R.S., Xiaoying, Z., Sekaran, S., & Krishnan, U. (2019). Chicken egg yolk antibody (IgY) as diagnostics and therapeutics in parasitic infections – A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 136, 755–763. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.118>
- Esmailnejad, A., Abdi-Hachesoo, B., Hosseini, N., Elhamsat, K., & Shakoori, M. (2019). Storage stability of anti-salmonella typhimurium immunoglobulin Y in immunized quail eggs stored at 4°C. *The Indian Journal of Animal Sciences*, 89(12), 1318–1321. <https://doi.org/10.56093/ijans.v89i12.96622>
- Grando, T. H., Baldissera, M. D., de Sá, M. F., do Carmo, G. M., Porto, B., Aguirre, G., Azevedo, M. I., de Jesus, F., Santurio, J. M., Sagrillo, M. R., Stefani, L. M., & Monteiro, S. G. (2017). Avian antibodies (IgY) against *Trypanosoma cruzi*: Purification and characterization studies. *Journal of Immunological Methods*, 449, 56–61. <https://doi.org/10.1016/j.jim.2017.07.002>
- Hartmann, C., & Wilhelmsson, M. (2001). The hen's egg yolk: A source of biologically active substances. *World's Poultry Science Journal*, 57(1), 13–28. <https://doi.org/10.1079/WPS20010003>
- Karamzadeh-Dehaghani, A., Towhidi, A., Zhandi, M., Moghani, N., & Fouladi-Nashta, A. (2021). Combined effect of probiotics and specific immunoglobulin Y directed against *Escherichia coli* on growth performance, diarrhea incidence, and immune system in calves. *Animal: an International Journal of Animal Bioscience*, 15(2), 100–124. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100124>
- Lu, Y., Wang, Y., Zhang, Z., Huang, J., Yao, M., Huang, G., Ge, Y., Zhang, P., Huang, H., Wang, Y., Li, H., & Wang, W. (2020). Generation of Chicken IgY against SARS-CoV-2 Spike Protein and Epitope Mapping. *Journal of Immunology Research*, 2020, Article 9465398. <https://doi.org/10.1155/2020/9465398>
- Lyu, J., Bao, L., Shen, X., Yan, C., Zhang, C., Wei, W., Yang, Y., Li, J., Dong, J., Xiao, L., Zhou, X., & Li, Y. (2021). The preparation of N-IgY targeting SARS-CoV-2 and its immunomodulation to IFN-γ production in vitro. *International Immunopharmacology*, 96, 107797–107797. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2021.107797>
- Megha, K. B., & Mohanan, P. V. (2021). Role of immunoglobulin and antibodies in disease management. *International Journal of Biological Macromolecules*, 169, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.073>
- Müller, S., Schubert, A., Zajac, J., Dyck, T., & Oelkrug, C. (2015). IgY antibodies in human nutrition for disease prevention. *Nutrition Journal*, 14, Article 109. <https://doi.org/10.1186/s12937-015-0067-3>
- Mwale, P. F., Lee, C. H., Lin, L. T., Leu, S. J., Huang, Y. J., Chiang, L. C., Mao, Y. C., & Yang, Y. Y. (2020). Expression, purification, and characterization of anti-Zika virus envelope protein: Polyclonal and chicken-derived single chain variable fragment antibodies. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(2), Article 492. <https://doi.org/10.3390/ijms21020492>
- Nie, W., Zhao, C., Guo, X., Sun, L., Meng, T., Liu, Y., Song, X., Xu, K., Wang, J., & Li, J. (2019). Preparation and identification of chicken egg yolk immunoglobulins against human enterovirus 71 for diagnosis of hand-foot-and-mouth disease. *Analytical Biochemistry*, 573, 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2019.02.029>
- Parma, Y. R., Chacana, P. A., Rogé, A., Kahl, A., Cangelosi, A., Geoghegan, P., Lucchesi, P. M., & Fernández-Miyakawa, M. E. (2011). Antibodies anti-Shiga toxin 2 B subunit from chicken egg yolk: isolation, purification and neutralization efficacy. *Toxicon: Official Journal of the International Society of Toxinology*, 57(3), 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2011.03.011>

- national Society on Toxinology, 58(4), 380–388. https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2011.07.009*
- Pereira, E., van Tilburg, M. F., Florean, E., & Guedes, M. (2019). Egg yolk antibodies (IgY) and their applications in human and veterinary health: A review. *International Immunopharmacology, 73*, 293–303. https://doi.org/10.1016/j.intimp.2019.05.015
- Polanowski, A., Zabłocka, A., Sosnowska, A., Janusz, M., & Trziszka, T. (2012). Immunomodulatory activity accompanying chicken egg yolk immunoglobulin Y. *Poultry Science, 91*(12), 3091–3096. https://doi.org/10.3382/ps.2012-02546
- Somasundaram, R., Choraria, A., & Antonysamy, M. (2020). An approach towards development of monoclonal IgY antibodies against SARS CoV-2 spike protein (S) using phage display method: A review. *International Immunopharmacology, 85*, Article 106654. https://doi.org/10.1016/j.intimp.2020.106654
- Spillner, E., Braren, I., Greunke, K., Seismann, H., Blank, S., & du Plessis, D. (2012). Avian IgY antibodies and their recombinant equivalents in research, diagnostics and therapy. *Biologicals: Journal of the International Association of Biological Standardization, 40*(2), 313–322. https://doi.org/10.1016/j.biologicals.2012.05.003
- Thirumalai, D., Visaga Ambi, S., Vieira-Pires, R. S., Xiaoying, Z., Sekaran, S., & Krishnan, U. (2019). Chicken egg yolk antibody (IgY) as diagnostics and therapeutics in parasitic infections — A review. *International Journal of Biological Macromolecules, 136*, 755–763. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.118
- Zajac, J. D. (2018). *IgY antibodies against bacterial infection*. [Doctoral Dissertation, Leipzig University]. Leipzig, Germany.

REFERENCES

- Akhnazarova, S. L., & Kafarov, V. V. (1985). *Metody optimizatsii eksperimenta v khimicheskoi tekhnologii* [Methods of experiment optimization in chemical technology]. Moscow: Vysshaya shkola.
- Zhuravleva, M. V., Firsova, I. V., & Vorob'ev, A. A. (2015). Klinicheskaya effektivnost' metoda plazmoliftinga i preparata «traumel s» v lechenii zabolеваний пародонта на примере собак с хроническим генерализованным пародонтитом [Clinical efficacy of the plasmolifting method and the drug “traumel c” in the treatment of periodontal diseases on the example of dogs with chronic generalized periodontitis]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], (5), 351.
- Kaplin, V. S., & Kaplina, O. N. (2016a). IgY-tehnologii v meditsine. Zheltochnye antitela ptits v immunoterapii [IgY-technologies in medicine. Yolk antibodies of birds in immunotherapy]. *Mezhdunarodnye obzory: Klinicheskaya praktika i zdorov'e* [International Reviews: Clinical Practice and Health], (4), 59–75.
- Kaplin, V. S., & Kaplina, O. N. (2016b). IgY-tehnologii v meditsine. Zheltochnye antitela ptits [IgY-technologies in medicine. Yolk antibodies of birds]. *Biotehnologiya [Biotechnology], 33*(2), 29–40. https://doi.org/10.21519/0234-2758-2017-33-2-29-40
- Yudina, A. N., & Krasnoshtanova, A. A. (2019). Vybor optimal'noi skhemy vydeleniya immunoglobulinov iz zheltka yaits sel'skokhozyaistvennoi ptitsy [Selection of the optimal scheme for the isolation of immunoglobulins from the yolk of poultry eggs]. In *Sovremennoe materialovedenie: Trudy XIX Ezhegodnoi molodezhnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Modern Materials Science: Proceedings of the 19th Annual Youth Conference with International Participation] (pp. 247–249). Moscow: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe uchrezhdenie nauki institut biokhimicheskoi fiziki im. N. M. Emanuelya Rossiiskoi akademii nauk.
- Yudina, A. N., & Krasnoshtanova, A. A. (2020). Sposob selektivnogo vydeleniya i ochistki immunoglobulinov (IgY) iz zheltka yaits sel'skokhozyaistvennoi ptitsy [A method for selective isolation and purification of immunoglobulins (IgY) from the yolk of poultry eggs]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii* [Advances in Chemistry and Chemical Technology], (11), 21–23.
- Abbas, A. T., El-Kafrawy, S. A., Sohrab, S. S., & Azhar, E. (2019). IgY antibodies for the immunoprophylaxis and therapy of respiratory infections. *Human Vaccines & Immunotherapeutics, 15*(1), 264–275. https://doi.org/10.1080/21645515.2018.1514224
- Amro, W. A., Al-Qaisi, W., & Al-Razem, F. (2017). Production and purification of IgY antibodies from chicken egg yolk. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, 16*(1), 99–103. https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2017.10.003
- Chalghoumi, R., Beckers, Y., Portetelle, D., & Théwissen, A. (2009). Hen egg yolk antibodies (IgY), production and use for passive immunization against bacterial enteric infections in chicken: A review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 13*(2), 295–308.
- Diraviyam, T., Ambi, S.V., Vieira-Pires, R.S., Xiaoying, Z., Sekaran, S., & Krishnan, U. (2019). Chicken egg yolk antibody (IgY) as diagnostics and therapeutics in parasitic infections — A review. *International Journal of Biological Macromolecules, 136*, 755–763. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.118
- Esmailnejad, A., Abdi-Hachesoo, B., Hosseini, N., Elhamasadat, K., & Shakoori, M. (2019). Storage stability of anti-salmonella typhimurium immunoglobulin Y in immunized quail eggs stored at 4°C. *The Indian Journal of Animal Sciences, 89*(12), 1318–1321. https://doi.org/10.56093/ijans.v89i12.96622
- Grando, T. H., Baldissera, M. D., de Sá, M. F., do Carmo, G. M., Porto, B., Aguirre, G., Azevedo, M. I., de Jesus, F., Santurio, J. M., Sagrillo, M. R., Stefani, L. M., & Monteiro, S. G.

- (2017). Avian antibodies (IgY) against *Trypanosoma cruzi*: Purification and characterization studies. *Journal of Immunological Methods*, 449, 56–61. <https://doi.org/10.1016/j.jim.2017.07.002>
- Hartmann, C., & Wilhelmson, M. (2001). The hen's egg yolk: A source of biologically active substances. *World's Poultry Science Journal*, 57(1), 13–28. <https://doi.org/10.1079/WPS20010003>
- Karamzadeh-Dehaghani, A., Towhidi, A., Zhandi, M., Moghani, N., & Fouladi-Nashta, A. (2021). Combined effect of probiotics and specific immunoglobulin Y directed against *Escherichia coli* on growth performance, diarrhea incidence, and immune system in calves. *Animal: an International Journal of Animal Bioscience*, 15(2), 100–124. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100124>
- Lu, Y., Wang, Y., Zhang, Z., Huang, J., Yao, M., Huang, G., Ge, Y., Zhang, P., Huang, H., Wang, Y., Li, H., & Wang, W. (2020). Generation of Chicken IgY against SARS-CoV-2 Spike Protein and Epitope Mapping. *Journal of Immunology Research*, 2020, Article 9465398. <https://doi.org/10.1155/2020/9465398>
- Lyu, J., Bao, L., Shen, X., Yan, C., Zhang, C., Wei, W., Yang, Y., Li, J., Dong, J., Xiao, L., Zhou, X., & Li, Y. (2021). The preparation of N-IgY targeting SARS-CoV-2 and its immunomodulation to IFN- γ production in vitro. *International Immunopharmacology*, 96, 107797–107797. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2021.107797>
- Megha, K. B., & Mohanan, P. V. (2021). Role of immunoglobulin and antibodies in disease management. *International Journal of Biological Macromolecules*, 169, 28–38. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.073>
- Müller, S., Schubert, A., Zajac, J., Dyck, T., & Oelkrug, C. (2015). IgY antibodies in human nutrition for disease prevention. *Nutrition Journal*, 14, Article 109. <https://doi.org/10.1186/s12937-015-0067-3>
- Mwale, P. F., Lee, C. H., Lin, L. T., Leu, S. J., Huang, Y. J., Chiang, L. C., Mao, Y. C., & Yang, Y. Y. (2020). Expression, purification, and characterization of anti-Zika virus envelope protein: Polyclonal and chicken-derived single chain variable fragment antibodies. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(2), Article 492. <https://doi.org/10.3390/ijms21020492>
- Nie, W., Zhao, C., Guo, X., Sun, L., Meng, T., Liu, Y., Song, X., Xu, K., Wang, J., & Li, J. (2019). Preparation and identification of chicken egg yolk immunoglobulins against human enterovirus 71 for diagnosis of hand-foot-and-mouth disease. *Analytical Biochemistry*, 573, 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2019.02.029>
- Parma, Y. R., Chacana, P. A., Rogé, A., Kahl, A., Cangelosi, A., Geoghegan, P., Lucchesi, P. M., & Fernández-Miyakawa, M. E. (2011). Antibodies anti-Shiga toxin 2 B subunit from chicken egg yolk: isolation, purification and neutralization efficacy. *Toxicon: Official Journal of the International Society on Toxicology*, 58(4), 380–388. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2011.07.009>
- Pereira, E., van Tilburg, M. F., Florean, E., & Guedes, M. (2019). Egg yolk antibodies (IgY) and their applications in human and veterinary health: A review. *International Immunopharmacology*, 73, 293–303. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2019.05.015>
- Polanowski, A., Zabłocka, A., Sosnowska, A., Janusz, M., & Trziszka, T. (2012). Immunomodulatory activity accompanying chicken egg yolk immunoglobulin Y. *Poultry Science*, 91(12), 3091–3096. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02546>
- Somasundaram, R., Choraria, A., & Antonysamy, M. (2020). An approach towards development of monoclonal IgY antibodies against SARS CoV-2 spike protein (S) using phage display method: A review. *International Immunopharmacology*, 85, Article 106654. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2020.106654>
- Spillner, E., Braren, I., Greunke, K., Seismann, H., Blank, S., & du Plessis, D. (2012). Avian IgY antibodies and their recombinant equivalents in research, diagnostics and therapy. *Biologics: Journal of the International Association of Biological Standardization*, 40(2), 313–322. <https://doi.org/10.1016/j.biologics.2012.05.003>
- Thirumalai, D., Visaga Ambi, S., Vieira-Pires, R. S., Xiaoying, Z., Sekaran, S., & Krishnan, U. (2019). Chicken egg yolk antibody (IgY) as diagnostics and therapeutics in parasitic infections – A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 136, 755–763. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.118>
- Zajac, J. D. (2018). *IgY antibodies against bacterial infection*. [Doctoral Dissertation, Leipzig University]. Leipzig, Germany.

УДК 577.151.45:57.037:664.868

Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования, филиал Всероссийского научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Кондратенко Владимир Владимирович
Адрес: 142703, Россия, Московская область, Ленинский городской округ, г. Видное, ул. Школьная, д.78
E-mail: nauka@vniitek.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:
данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Кондратенко, В. В., & Кондратенко, Т. Ю. (2022). Методологический подход к определению последовательности ферментов для фрагментации полигликанового комплекса растительной ткани. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 85–101.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.366>

ПОСТУПИЛА: 05.09.2022

ПРИНЯТА: 09.10.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 14.10.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



Методологический подход к определению последовательности ферментов для фрагментации полигликанового комплекса растительной ткани

В. В. Кондратенко, Т. Ю. Кондратенко

АННОТАЦИЯ

Введение. Максимальная ступенчатая ферментативная декомпозиция биополимерного комплекса матрикса клеточных стенок потенциально позволяет получать комплекс компонентов, обладающих ценными физико-химическими свойствами. Оптимальная форма активных агентов – гомоферментный препарат с максимально узким спектром целевых активностей. Однако в большинстве случаев даже гомоферментные препараты обладают побочными активностями. В результате свойства конечных продуктов, получаемых с использованием данных ферментных препаратов могут отличаться от требуемых.

Цель. Целью работы является разработка методологического подхода пассивной инактивации нецелевых активностей ферментных препаратов посредством определения рациональной последовательности их применения.

Материалы и методы. Объектом исследования была совокупность данных о спектре и величине целевых активностей комплексных и гомоферментных препаратов, имеющих потенциал использования для выделения полигликанов из матрикса клеточных стенок при последовательной обработке свекловичного жома. В работе использован исключающий итеративный комбинаторный подход, основанный на комплексном анализе целевых характеристик каждого ферментных препаратов с целью выявления критерии, позволяющих однозначно ранжировать варианты при каждой итерации, исключая при этом те, которые не удовлетворяют заданным условиям.

Результаты. Совокупность ферментных препаратов рассмотрена как абстрактное множество, целевые и паразитные активности которого сгруппированы в соответствии с компонентным составом матрикса клеточных стенок. На основании этого для всего рассматриваемого пула ферментных препаратов сформирована матрица активностей. В качестве критерии определены количество строк с ненулевым значением в пределах каждой целевой активности и количество столбцов с ненулевым значением в пределах каждого элемента множества ферментных препаратов. На основании анализа численных значений критерии в пределах каждой итерации каждому из них присвоен ранг. Заданы граничные условия. Элементы множества, не удовлетворяющие граничным условиям, отсеиваются. Подход апробирован на комплексе ферментных препаратов для декомпозиции жома сахарной свёклы.

Выходы. В результате проведённых исследований были разработаны система критерии, методологический подход и алгоритм определения последовательности применения гомоферментных препаратов для ступенчатого извлечения биологически активных компонентов полигликанового комплекса растительного сырья, основанные на пассивной инактивации нецелевых активностей. Предположительно, разработанные критерии, методологический подход и алгоритм его реализации, универсальны и применимы для анализа комплексов гомоферментных препаратов для их использования с целью глубокой переработки. Разработанный методологический подход является неотъемлемой составляющей дерева принятия решений для разработки технологий промышленного производства растительных полигликанов с гарантированными физико-химическими характеристиками.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

гомоферментный препарат, пул ферментных препаратов, полигликановый комплекс, растительная ткань, последовательность

Methodological Approach to Determine the Sequence of Enzymes for Plant Tissue Polyglycan Complex Fragmentation

All-Russian Research Institute of Canning Technology, branch of the V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Vladimir V. Kondratenko
78, Shkolnaya Str., Vidnoye, Moscow region, 142703, Russian Federation
E-mail: nauka@vniitek.ru

FOR CITATIONS:

Kondratenko, V.V., & Kondratenko, T. Yu. (2022). Methodological approach to determine the sequence of enzymes for plant tissue polyglycan complex fragmentation. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 85–101. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.366>

RECEIVED: 05.09.2022

ACCEPTED: 09.10.2022

PUBLISHED: 14.10.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Vladimir V. Kondratenko, Tatyana Yu. Kondratenko

ABSTRACT

Introduction. Maximum stepwise enzymatic decomposition of cell wall matrix biopolymer complex potentially allows obtaining a complex of components with valuable physicochemical properties which are widely used in food industry and medicine. At the same time, the goal of deep processing and maximum raw material conversion is achieved. Optimal form of active agents is a homoenzyme one with the narrowest possible spectrum of target activities. However, in most cases, even homoenzymes have side effects. As a result, the properties of the final products obtained using these enzymes may differ from those required.

Purpose. The purpose of this work is to develop a methodological approach for the passive inactivation of non-target activities of enzyme preparations by determining the rational sequence of their application.

Materials and Methods. The object of research was a set of data on the spectrum and magnitude of target activities of enzymes which have potential use for polyglycans obtaining from cell wall matrix during sequential processing of sugar beet pulp. In this research it was used an exclusion iterative combinatorial approach based on a comprehensive analysis of the target characteristics for each enzyme in order to identify criteria that allow for the unambiguous ranking of variants within each iteration, at the same time excluding those ones that do not meet the specified conditions.

Results. The pool of enzymes is considered as an abstract set, where target and parasitic activities are grouped according to the component composition within the cell wall matrix. Based on this, an activity matrix was formed for the entire pool of enzymes. The number of rows with a non-zero value within each target activity and the number of columns with a non-zero value within each element of the enzyme set were defined as criteria. Based on the analysis of the numerical values for criteria within each iteration, a rank is assigned to each one. The boundary conditions were set. The elements of the set that do not satisfy the boundary conditions were discarded. The implementation algorithm of the methodological approach has an iterative form using combinatorial methods. The approach was tested on a complex of enzymes for sugar beet pulp polyglycan matrix decomposition.

Conclusion. As a result of this research a system of criteria, methodological approach and algorithm for determining the sequence of homoenzymes application for stepwise obtaining the biologically active components of plant raw material polyglycan complex have been developed. This system was based on passive inactivation of non-target activities. Presumably, the developed criteria, methodological approach and algorithm for its implementation are universal and applicable to the analysis of homoenzyme complexes for its use in deep processing. The developed methodological approach is an integral part of the decision-making tree for development the technologies of industrial production of plant polyglycans with the guaranteed physicochemical characteristics.

KEYWORDS

homoenzyme, enzyme pool, polyglycan complex, plant tissue, sequence

ВВЕДЕНИЕ

Полигликановый комплекс матрикса клеточных стенок растительной ткани включает себя сложную разветвлённую сеть биополимеров (протопектиновой фракции пектиновых веществ, гемицеллюлоз, целлюлозы), соединённых друг с другом посредством нескольких видов химических связей: гликозидными, ионными (посредством «солевых мостиков»), боратными, комбинированными и водородными (Pérez García et al., 2011; Yoo et al., 2012; Held et al., 2014; Voiniciuc et al., 2018; Amos & Mohnen, 2019; Siemińska-Kuczer et al., 2022; Du et al., 2022). Каждый из биополимеров, в силу специфиности и вариативности химического состава, молекулярной структуры и степени полимеризации, нативно обладает некоторым спектром физико-химических свойств (водоудерживающей (Panchev et al., 2010; Venzon et al., 2015; de Moura et al., 2017), сорбционной (Bok-Badura et al., 2018; Wang et al., 2021; Semenycheva et al., 2020), студнеобразующей (Einhorn-Stoll et al., 2012; Yuliarti et al., 2017; Gawkowska et al., 2018; Lee et al., 2021), пенообразующей (Kazantsev et al., 2022) и эмульсиестабилизирующей (Nakauma et al., 2008; Duan et al., 2021; Bindereif et al., 2022) способностью, пре- и пробиотическими (Prandi et al., 2018; Ishisono et al., 2019; Larsen et al., 2019), холестерин стабилизирующими (Sundar Raj et al., 2012; Kumar et al., 2020), противораковыми (Zhang et al., 2015; Delphi & Sepehri, 2016; Wang et al., 2022) свойствами и др.), востребованных в различных отраслях человеческой деятельности. Соответственно, полноценная реализация технологического и биопотенциала компонентов матрикса клеточных стенок возможна только после их дифференцированного извлечения. В результате наших предыдущих исследований (Kondratenko et al., 2020; Kondratenko et al., 2021) был разработан критериальный подход к определению целесообразности и механизма дезинтеграции матрикса клеточных стенок на отдельные целевые компоненты с учётом существующих подходов, основанных на двух принципиально различающихся процессах — неспецифичном гидролизе гликозидных и межмолекулярных связей катионами H^+ , анионами комплексонов, комплексонатов и OH^- (Marry et al., 2000; Yapo et al., 2007; Elizaryev et al., 2020), и узкоспецифичном ферментативном гидролизе гликозидных и эфирных связей (Jung et al., 2012; Dominiak et al., 2014; Marjamaa & Kruus, 2018; Mota et al., 2018; Carpita & McCann, 2020; Abou-Elseoud et al., 2021;

Hennessey-Ramos et al., 2021). В отдельных случаях дискутируется дополнение непосредственного гидролитического процесса сторонними технологическими приёмами, такими, как, например, обработка ультразвуковым излучением (Abou-Elseoud et al., 2021). При этом в отношении определения условий как неспецифичного, так и ферментативного гидролиза имеет место отсутствие унифицированного системного подхода, а выбор агентов и само определение в большинстве случаев осуществляется глубоко эмпирическими методами. При выборе активных агентов наименьшую степень неопределенности следует отметить в отношении ферментативного гидролиза. В настоящее время известно подавляющее большинство ферментов, катализирующих гидролиз гликозидных и эфирных связей основных углеводных компонентов матрикса клеточных стенок растительного сырья (Bonnin et al., 2014; Gudmundsson, 2014; Xia & Li, 2019). Также известны многие производители этих ферментов, как растительной, так и микробиологической природы (Gudmundsson, 2014; Giovannoni et al., 2020). Соответственно, в силу многокомпонентности матрикса клеточных стенок растительной ткани, для эффективной её технологической декомпозиции необходимо формирование некоторого пула ферментных препаратов при условии ступенчатой реализации процесса. В свою очередь, состав данного пула детерминирован пулом целевых биополимеров и существующими представлениями о структуре их химических связей как друг с другом, так и другими компонентами матрикса (Рисунок 1). В силу необходимости гидролитического расщепления некоторой совокупности целевых химических связей, к каждому ферментному препарату пула предъявляются требования к специфичности по отношению к цели воздействия.

Всю совокупность существующих ферментных препаратов, ориентированных на расщепление гликозидных связей между отдельными углеводными звеньями, равно как и гидролизующих эфирные связи, можно условно разделить на две большие группы по специфичности к виду связей:

- (1) гомоферментные препараты, в идеале — ориентированные на расщепление какого-либо одного целевого вида гликозидных связей;
- (2) гетероферментные (комплексные ферментные) препараты, обладающие способностью к расщеплению некоторого спектра гликозидных связей.

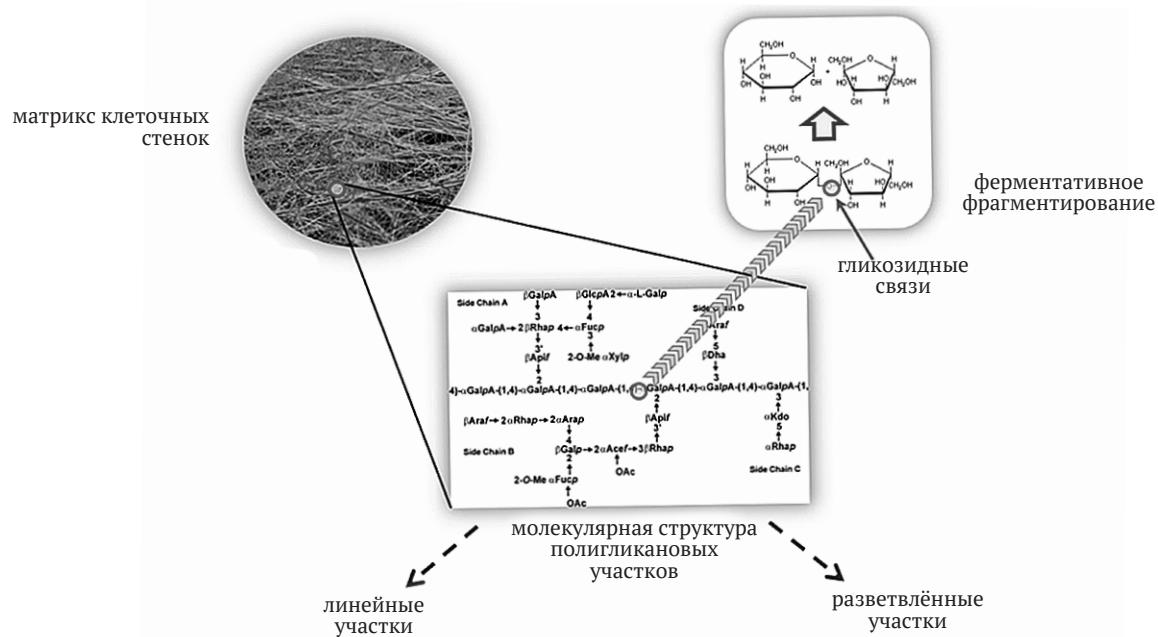


Рисунок 1

Формирование пула целевых компонентов матрикса клеточных стенок (все графические элементы рисунка взяты из открытых источников)

Примечания. Из “Requirement of borate cross-linking of cell wall rhamnogalacturonan II for *arabidopsis* growth”, by M. A. O’Neill, S. Eberhard, P. Albersheim and A. G. Darvill, 2001, *Science*, 294(5543), pp. 846–849 (<https://doi.org/10.1126/science.1062319>). Copyright 2001 by Science.

Соответственно, для эффективной реализации нативного потенциала полигликанового комплекса растительной ткани необходима его последовательная — ступенчатая — ферментативная декомпозиция с использованием системы гомоферментных препаратов и выделением получаемых целевых продуктов ферментолиза — компонентов матрикса клеточных стенок — на каждом этапе. При полной декомпозиции матрикса на целевые компоненты можно говорить о его глубокой переработке.

Однако в большинстве случаев промышленно производимые ферментные препараты характеризуются также наличием некоторого количества нецелевых активностей различной выраженности. В результате применение данных ферментных препаратов может приводить к «паразитному» выделению из матрикса клеточных стенок некоторого количества нецелевых компонентов для данной ступени процесса. В силу проблематичности непосредственного устранения «паразитных» активностей ферментных препаратов, возникает необходимость в их нивелировании. Перспективных подходом к решению данной задачи может быть

определение последовательности применения ферментных препаратов для маскировки нецелевых активностей при полной реализации целевого предназначения каждого из препаратов на своей ступени.

Цель работы — разработать методологический подход к определению необходимой последовательности применения гомоферментных препаратов для эффективной ступенчатой ферментативной декомпозиции нативного полигликанового комплекса растительной ткани. Задачи: (1) сформировать систему критериев оценки ферментных препаратов в их последовательности, (2) разработать алгоритм определения рациональной последовательности применения гомоферментных препаратов для нивелирования их «паразитных» активностей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Совокупность данных о спектре и величине целевых активностей комплексных и гомоферментных препаратов, имеющих потенциал использования для выделения отдельных полигликанов из матрикса клеточных стенок при последовательной обработке немелассированного свекловичного жома.

Методы

В работе использован исключающий итеративный комбинаторный подход, основанный на комплексном анализе целевых характеристик каждого рассматриваемого варианта с целью выявления критериев, позволяющих однозначно ранжировать варианты при каждой итерации, исключая при этом те, которые не удовлетворяют заданным условиям.

Процедура исследования

В комбинаторном подходе рассмотрена совокупность ферментных препаратов как некоторое абстрактное множество, целевые и паразитные активности которого сгруппированы в соответствии с целевых компонентным составом матрикса клеточных стенок. В результате сформирована матрица активностей пула ферментных препаратов. В качестве критериев определены количество строк с ненулевым значением в пределах каждой целевой активности, количество столбцов с ненулевым значением в пределах каждого элемента множества ферментных препаратов. На основании

анализа численных значений критериев и заданных граничных условий в пределах каждой итерации каждому из них присвоен ранг. Элементы множества, не удовлетворяющие граничным условиям, отсеиваются.

Анализ данных

Анализ проводили с использованием системы критериев на основе разработанного алгоритма определения рациональной последовательности использования гомоферментных препаратов в пакете табличного процессора Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Промышленно получаемые комплексные и гомоферментные препараты кроме целевой обладают ещё и некоторым множеством миорных активностей, наличие которых может приводить к частично неизбирательной декомпозиции и, как следствие, к недостижению исходных целей процесса. В этой связи принцип последовательности извлечения целевых продуктов ферментативного гидролиза косвенно предполагает путь решения проблемы: последовательную пассивную инактивацию нецелевых активностей ферментных препаратов следующего этапа посредством исчерпывающего удаления из реакционной среды объектов данных активностей в результате действия другого ферментного препарата на предыдущем этапе. Схематично данный подход представлен в Таблице 1.

Таблица 1

Принцип пассивной инактивации нецелевых активностей ферментных препаратов

Технологический этап	Ферментные препараторы	Целевые активности				
		A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
1	E_1	u_{11}	—	—	—	—
2	E_2	u_{21}^*	u_{22}	—	—	—
3	E_3	u_{31}	u_{32}	u_{33}	—	—
4	E_3	u_{41}	u_{42}	u_{43}	u_{44}	—
5	E_5	u_{51}	u_{52}	u_{53}	u_{54}	u_{55}

Примечание. * Окрашенные ячейки соответствуют пассивно инактивированным целевым активностям.

Как видно из таблицы, критичным является не только состав пула целевых компонентов матрикса, пула ферментных препаратов и пула целевых активностей, но и последовательность применения ферментных препаратов в процессе ступенчатой фрагментации.

Таким образом, задача определения оптимальной последовательности гомоферментных препаратов для направленного ступенчатого фрагментирования нативного полигликанового комплекса растительного сырья может быть решена с использованием комбинаторного подхода.

Пусть на основании пула целевых полигликановых компонентов матрикса клеточных стенок и пула известных целевых гликозидных связей был сформирован некоторый пул гомоферментных препаратов, представляющий некоторое множество E .

Тогда, по определению, каждому элементу этого множества будет соответствовать один или несколько элементов множества целевых активностей A , определяемого совокупностью активностей всего пула ферментных препаратов. Если множество E содержит m элементов, где $m \in \mathbb{N}$, а множество A — n элементов, где $n \in \mathbb{N}$, то вся совокупность данных о ферментных препаратах и их активностях может быть сведена в матрицу целевых активностей (Таблица 2). В отдельных случаях, если видов гликозидных связей, характеризующих целевой компонент, несколько, и/или одна или несколько активностей (назовём их паразитными) фермента может привести к негативной трансформации целевого компонента в процессе фрагментации полигликанового комплекса, то целесообразно формировать детализированную матрицу активностей с подмножествами целевых P и паразитных S активностей (Таблица 3).

Таблица 2

Матрица целевых активностей пула ферментных препаратов

Множество ферментных препаратов E_i	Множество целевых активностей A_j						Количество активностей k_i
	A_1	A_2	A_3	...	A_n		
E_1	u_{11}	u_{12}	u_{13}	...		u_{1n}	k_1
E_2	u_{21}	u_{22}	u_{23}	...		u_{2n}	k_2
E_3	u_{31}	u_{32}	u_{33}	...		u_{3n}	k_3
...
E_m	u_{m1}	u_{m2}	u_{m3}	...		u_{mn}	k_m

Таблица 3

Фрагмент детализированной матрицы целевых активностей пула ферментных препаратов

Множество ферментных препаратов E_i	Множество целевых активностей A_j												...																		
	A_1				A_2				A_n																						
	подмножество целевых активностей P_{a1}			подмножество паразитных активностей S_{b1}			подмножество целевых активностей P_{a2}			подмножество паразитных активностей S_{b2}																					
E_1	P_{11}	P_{21}	...	$P_{q[1]1}$	количество целевых активностей kp_{11}	S_{11}	S_{21}	...	$S_{z[1]1}$	количество паразитных активностей ks_{11}	$u_{11(p11)}$	$u_{11(p21)}$...	$u_{11(pq[1]1)}$	kp_{11}	$u_{11(s11)}$	$u_{11(s21)}$...	$u_{11(sz[1]1)}$	ks_{11}	$u_{11(p12)}$	$u_{11(p22)}$...	$u_{11(pq[2]2)}$	kp_{12}	$u_{11(s12)}$	$u_{11(s22)}$...	$u_{11(sz[2]2)}$	ks_{12}	...
E_2	$u_{21(p11)}$	$u_{21(p21)}$...	$u_{21(pq[1]1)}$	kp_{21}	$u_{21(s11)}$	$u_{21(s21)}$...	$u_{21(sz[1]1)}$	ks_{21}	$u_{21(p12)}$	$u_{21(p22)}$...	$u_{21(pq[2]2)}$	kp_{22}	$u_{22(s12)}$	$u_{21(s21)}$...	$u_{21(sz[2]2)}$	ks_{22}	...										
...		

На следующем этапе необходимо ранжировать множество целевых активностей (а в случае детализированной матрицы — и входящие в них подмножества) по значимости, под которой следует понимать приоритет фрагментации, а в случае наличия паразитных активностей — выраженность влияния на качество извлекаемого компонента. В последнем случае нельзя исключать варианты, когда одно или несколько подмножеств паразитных активностей в свою очередь содержит один или несколько элементов, значимостью которых в первом приближении можно пренебречь — такие элементы необходимо промаркировать.

В итоге основная или детализированная матрица будет содержать требуемый пул гомоферментных препаратов. Если существующий ассортимент ферментных препаратов позволяет сопоставить каждому требуемому препарату — реально существующий в настоящее время, то такой пул является насыщенным. В противном случае требуемый пул может быть либо не полностью насыщен, либо полностью ненасыщен, то есть для любого элемента множества E в настоящее время не существует лабораторно, либо промышленно производимых ферментных препаратов. В случае ненасыщенности пула возникает необходимость формирования технического задания на создание недостающих элементов. При полной ненасыщенности дальнейшие действия по определению последовательности применения гомоферментных препаратов не имеют смысла.

В случае полностью либо частично насыщенного пула элементов множества E в матрицу (основную, либо детализированную) необходимо внести значения активностей u_{ij} , соответствующие существующим элементам.

На этом этапе заканчивается первая часть определения необходимой последовательности применения гомоферментных препаратов, алгоритм которой представлен на Рисунке 2.

Далее, если имеет место детализированная матрица, из неё следует исключить элементы множества E , для которых существуют ненулевые значения активностей, соответствующих немаркированным элементам подмножеств S . Это необходимо для предотвращения получения нецелевых результатов фрагментирования, могущих приводить

к ухудшению количества и качества одного или нескольких конечных продуктов. Маркированные активности в дальнейших преобразованиях не участвуют, но необходимы для внесения в итоговый пул гомоферментных препаратов для учёта при последующей разработке конкретных режимов ферментативной фрагментации.

Полученная матрица (основная или детализированная) включает в себя элементы множества E , каждому из которых соответствует одна или несколько активностей. Если одно или несколько подмножеств P множества A включают элементы, деление на которые практически имеет место, но технологически может быть лишено смысла (например, при рассмотрении арабинанов, галактанов и арабиногалактанов в случае их одновременного присутствия в качестве компонентов нативного полигликанового комплекса растительной ткани), на последующих этапах преобразований их целесообразно суммировать и рассматривать (в рамках каждого из таких подмножеств P) исключительно в контексте единичных элементов множества A .

Тогда каждому элементу множества E в матрице целевых активностей будет соответствовать одна или более значений активностей и, следовательно, — сумма элементов множества A с ненулевыми значениями k_i .

Таким образом необходимо ранжировать элементы множества E по возрастанию значения k_i . При этом появляется граничное условие: должен существовать хотя бы один элемент множества E , для которого $k_i = 1$. При нарушении данного граничного условия дальнейшие преобразования лишены смысла.

Создадим пустую отдельную матрицу целевых активностей, куда из основной матрицы перенесём элементы множества E , значения k_i которых равны единице (Таблица 4).

В то же время из исходной матрицы (основной или детализированной) необходимо удалить перенесённые в отдельную матрицу элементы множества E и соответствующие их активностям элементы множества A . Таким образом, исходная матрица модифицируется в сторону уменьшения количества элементов как множества E , так и мно-

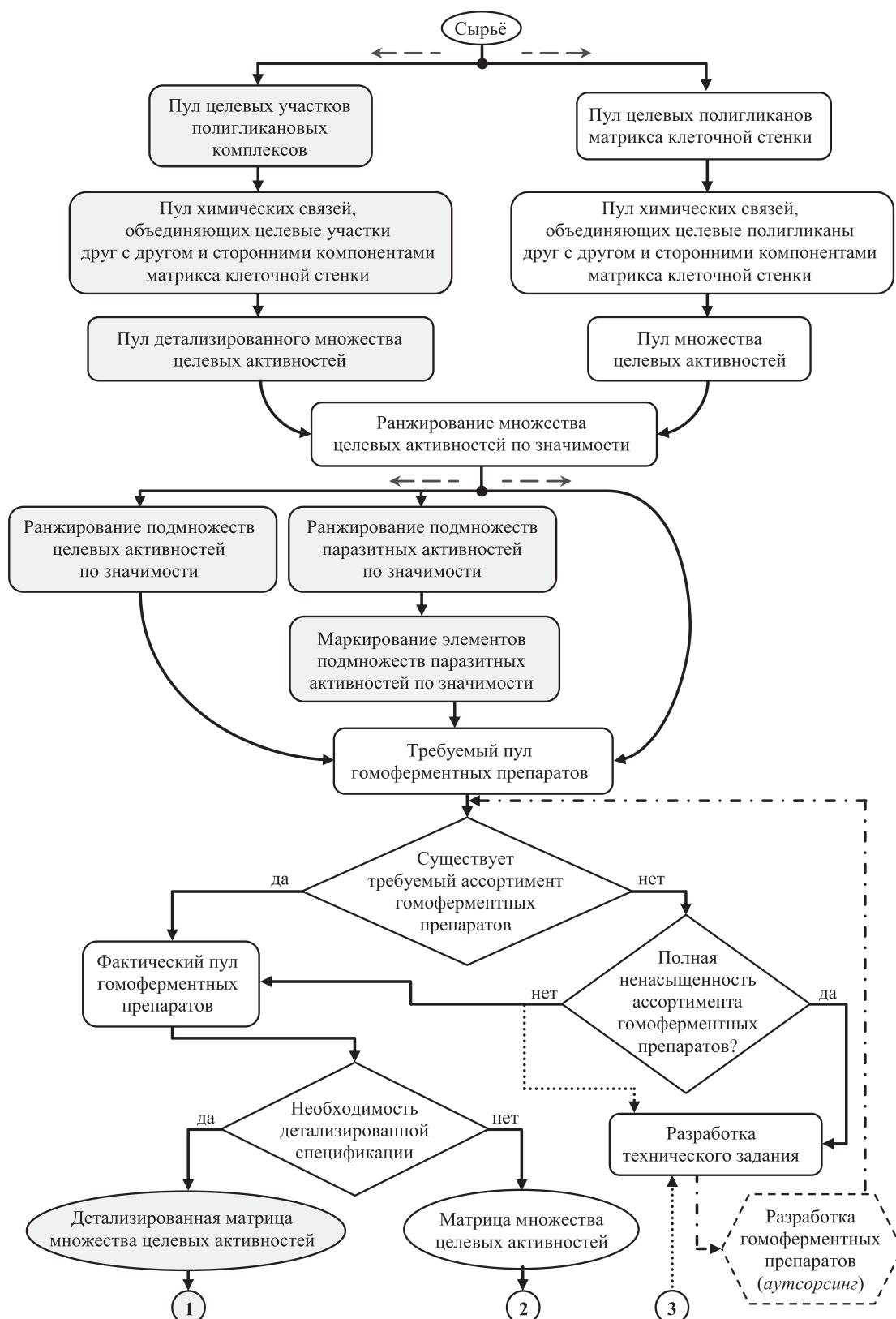


Рисунок 2

Алгоритм определения необходимой последовательности применения гомоферментных препаратов (Часть 1)

Таблица 4

Отдельная матрица целевых активностей пула ферментных препаратов

Множество ферментных препараторов E_i	Множество целевых активностей A_j					Количество активностей k_i
	A_1	A_2	A_3	...	A_n	
E_1	u_{11}	u_{12}	u_{13}	...	u_{1n}	1
E_2	u_{21}	u_{22}	u_{23}	...	u_{2n}	1
E_3	u_{31}	u_{32}	u_{33}	...	u_{3n}	1
...
E_c	u_{c1}	u_{c2}	u_{c3}	...	u_{cn}	1
Количество препаратов w_j	w_1	w_2	w_3	...	w_n	
Ранг целевой активности w_j^*	w_1^*	w_2^*	w_3^*	...	w_n^*	

жества A . Одновременно необходимо сделать пересчёт значений k_i и ранжировать элементы модифицированной исходной матрицы по возрастанию k_i . Модифицированная исходная матрица готова к следующей итерации.

В то же время из исходной матрицы (основной или детализированной) необходимо удалить перенесённые в отдельную матрицу элементы множества E и соответствующие их активностям элементы множества A . Таким образом, исходная матрица модифицируется в сторону уменьшения количества элементов как множества E , так и множества A . Одновременно необходимо сделать пересчёт значений k_i и ранжировать элементы модифицированной исходной матрицы по возрастанию k_i . Модифицированная исходная матрица готова к следующей итерации.

По аналогии с показателем k_i , соответствующем сумме количества активностей для каждого элемента множества E , для каждого элемента множества A отдельной матрицы целевых активностей введём

показатель w_j , соответствующий сумме активностей элемента множества A по всем E_i . Удалим из отдельной матрицы строки, соответствующие элементам множества E , для которых справедливо условие:

$$\begin{cases} w_j > 1, \\ u_{ij} \neq \max. \end{cases} \quad (1)$$

То есть, если несколько гомоферментных препаратов показывают сходную идентичность единичных целевых активностей, необходимо оставить только один, имеющий максимальное значение соответствующей активности.

Пересчитаем значения w_j с учётом удалённых строк. Присвоим столбцам целевых активностей A_i ранги w_i^* , принимающие следующие значения:

$$w_i^* = \begin{cases} 0, w_i = 0, \\ \{w_1 : w_{i-1}\}_{\max} + 1, w_i > 1. \end{cases} \quad (2)$$

На основе отдельной матрицы целевых активностей создадим отдельную матрицу рангов целевых активностей (Таблица 5).

Таблица 5

Отдельная матрица рангов целевых активностей пула ферментных препаратов

Множество ферментных препараторов E_i	Множество рангов целевых активностей A_j					Ранг ферментного препарата k_i^*
	A_1	A_2	A_3	...	A_n	
$E_{i(1)}$	u_{11}^*	u_{12}^*	u_{13}^*	...	u_{1n}^*	1
$E_{i(2)}$	u_{21}^*	u_{22}^*	u_{23}^*	...	u_{2n}^*	2
$E_{i(3)}$	u_{31}^*	u_{32}^*	u_{33}^*	...	u_{3n}^*	3
...
$E_{i(c)}$	u_{c1}^*	u_{c2}^*	u_{c3}^*	...	u_{cn}^*	c
Количество препаратов w_j	w_1	w_2	w_3	...	w_n	–
Ранг целевой активности w_j^*	w_1^*	w_2^*	w_3^*	...	w_n^*	–

Каждому значению целевой активности u_{ij} присвоим ранг u_{ij}^* , соответствующий условию:

$$u_{ij}^* = \begin{cases} 0, & w_i^* = 0; \\ w_i^*, & w_i^* \neq 0. \end{cases} \quad (3)$$

Также, по аналогии с показателем k_i , в отдельной матрице рангов для каждого элемента множества E введём показатель суммы рангов k_i^* :

$$k_i^* := \sum_{j=1}^n u_{ij}^*. \quad (4)$$

Проранжируем элементы множества E в порядке возрастания k_i^* . Таким образом в рамках производимой итерации получаем первую часть искомой последовательности применения гомоферментных препаратов.

Перенесём итоговую последовательность в итоговую матрицу целевых активностей, куда внесём значения всех целевых и паразитных активностей, соответствующих выбранным гомоферментным препаратам.

Повторим всю итерацию с модифицированной исходной (или детализированной) матрицей целевых

активностей, по результатам которой дополним итоговую матрицу целевых активностей.

Весь цикл необходимо повторять до полного вырождения модифицированной исходной матрицы (когда не соблюдается граничное условие по k_i), либо до её истощения (когда $E = \emptyset$).

По окончании итераций итоговая матрица целевых активностей будет содержать полный итоговый фактический пул гомоферментных препаратов, который целесообразно использовать для направленной ступенчатой фрагментации полигликанового комплекса анализируемого растительного материала, с последовательностью элементов, соответствующей оптимальному порядку применения.

Алгоритм данной (второй) части алгоритма определения необходимой последовательности применения гомоферментных препаратов представлен на Рисунке 3.

В качестве примера практической реализации разработанного методологического подхода рассмотрим пул отечественных ферментных препаратов

Таблица 6

Пул ферментных препаратов для ступенчатой ферментативной фрагментации полигликанового комплекса свекловичного жома

Препарат	Активность, ед./г									
	пектин ксиланы	гемицеллюлозы					целлюлоза			
		арабинаны, галактаны, арабино-галактаны	арабино-глактаза	арабино-ксиланаза	арабиназа (равет- вл.)	арабиназа (линейн.)	КМЦ-аза	β-глюканаза	β-глюкозидаза	авицелаза
Пектиназа RCA RGL	190	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Пектиназа PEL	10 500	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Полигалактуроназа <i>Asp. foetidus</i>	—	36 300	—	—	—	—	—	—	—	—
Целлюлаза без пектиназы	—	—	30 644	—	—	—	—	21 054	30 371	—
Ксибетен Ксил.	—	—	5 687	—	—	—	—	1 705	1 399	—
Ксибетен Целлюл.	—	—	629	—	—	—	—	4 568	3 200	—
Эндоглюканаза II	—	—	—	—	—	—	—	40 000	17 000	2 700
Ксиланаза	—	—	2 200	—	—	—	—	—	—	—
Арабиназа	670	12 385	6 693	1 601	52	11 540	481	1 785	102	260

Примечание. * Окрашенные ячейки соответствуют паразитным активностям.

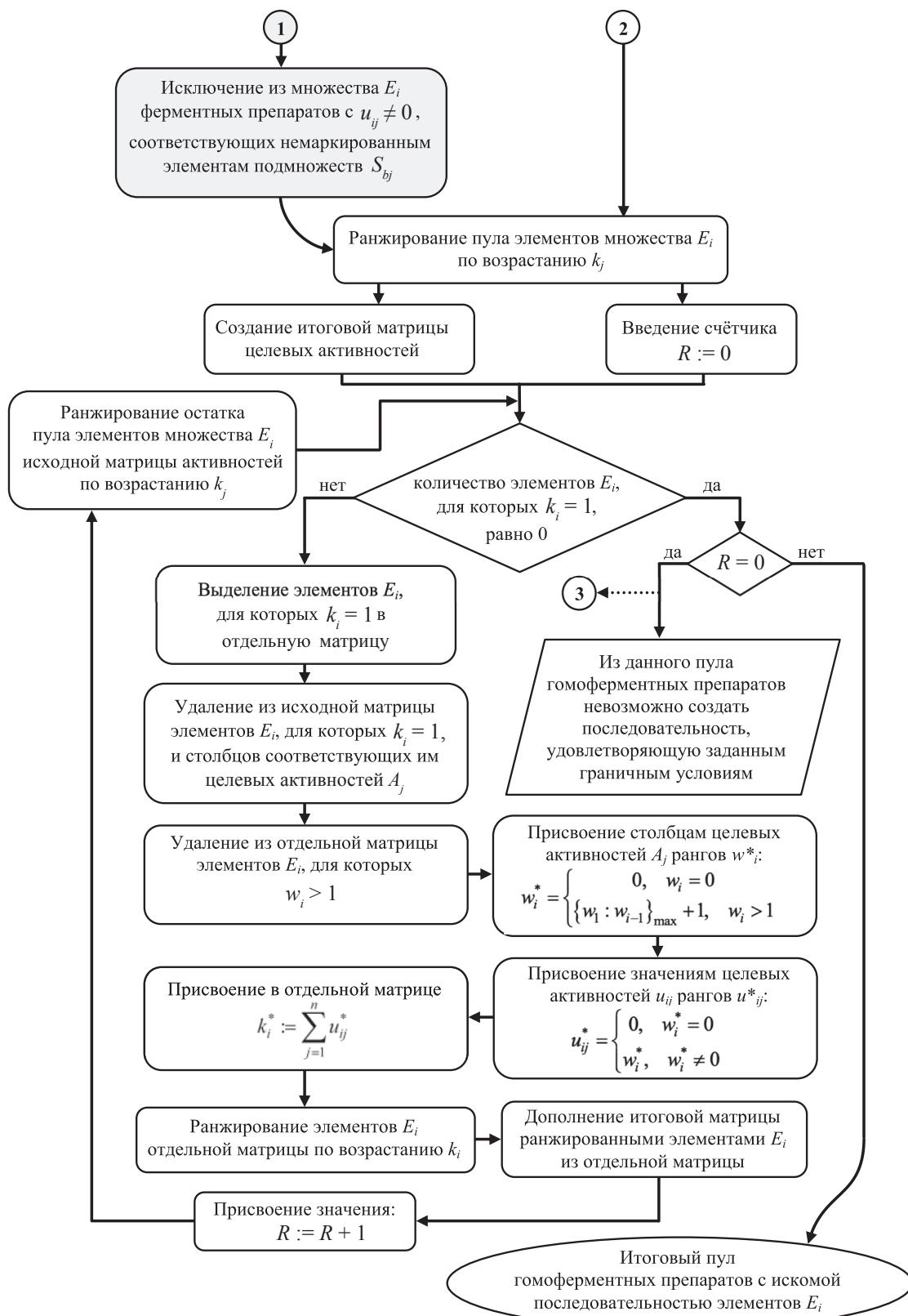


Рисунок 3

Алгоритм определения необходимой последовательности применения гомоферментативных препаратов (Часть 2)

для ступенчатой фрагментации полигликанового комплекса свекловичного жома (Таблица 6).

Всё множество целевых активностей по целевым конечным продуктам можно классифицировать на относящиеся к пектиновым веществам, гемицеллюлозам и целлюлозе. Причём среди множества активностей, относящихся к гемицеллюлозам, можно выделить две группы — относящиеся к ксиланам, а также к арабино-галактанам, арабинанам и галактанам. Последнее подмножество, в силу одновременности присутствия в составе полигликанового комплекса свекловичного жома и удовлетворительного потенциала применения в комплексе, можно рассматривать как единичное подмножество активностей, относящееся к арабино-галактановому комплексу.

Подобный вывод можно сделать и в отношении подмножества активностей, относящихся к олигосахаридам из целлюлоз. В то же время полигалактуроназную, β -глюкозидазную, ацилазную, целобиазную и АФБ- активности следует отнести к категории паразитных.

В результате применения к исходному пулу подхода, основанного на разработанном совокупном алгоритме, включающем в себя обе части, определены финальный пул гомоферментных препаратов и последовательность их применения для фрагмен-

тации полигликанового комплекса свекловичного жома с целью дифференциального извлечения пектиновых веществ, ксиланов, арабино-галактанового комплекса и олигосахаридов с глюкозой в качестве элементарного звена (Таблица 7).

При этом у фермента «Целлюлаза без пектиназы» пассивно инактивирована одна, а у фермента «Арабиназа» — четыре целевых активности. В результате каждый фермент, будучи применён в установленной последовательности, максимально реализует свой потенциал в заданной ему узкой области, а свойства получаемых продуктов определяются исключительно аутентичностью молекулярной структуры, но не суперпозицией свойств, задаваемых одновременно выделяемыми полигликанами других групп.

Разработанные критерии, а также подход и алгоритм его реализации, предположительно, являются универсальными и пригодны для анализа комплексов гомоферментных препаратов, с возможностью включения некоторого (минорного) количества комплексных ферментных препаратов.

Данный подход является неотъемлемой составляющей дерева принятия решений для разработки технологий промышленного производства растительных полигликанов с гарантированными физико-химическими характеристиками.

Таблица 7

Последовательность ферментных препаратов для ступенчатой ферментативной фрагментации свекловичного жома

№ п.п.	Препарат	пектиназа	Активность, ед./г						
			пектин		гемицеллюлозы			целлюлоза	
			ксиланы	арабинаны, галактаны, арабино-галактаны	арабино-ксиланаза	арабинозидаза	арабиназа (раветвл.)	арабиназа (линейн.)	КМЦ-аза
1	Пектиназа PEL	10 500	—	—	—	—	—	—	—
2	Ксиланаза	—	2 200	—	—	—	—	—	—
3	Целлюлаза без пектиназы	—	30 644	—	—	—	—	—	21 054 30 371
4	Арабиназа	670*	6 693	1 601	52	11 540	481	1 785	102 260

Примечание. * Окрашенные ячейки соответствуют пассивно инактивированным целевым активностям.

ВЫВОДЫ

В результате проведённых исследований были разработаны система критериев, методологический подход и алгоритм определения последовательности применения гомоферментных препаратов для ступенчатого извлечения биологически активных компонентов полигликанового комплекса растительного сырья, основанные на пассивной инактивации нецелевых активностей, опирающиеся на существующие представления о структурных особенностях участков биополимерного комплекса клеточных стенок растительной ткани, их практической или потенциальной целевой значимости и особенностях химических связей с остальными компонентами матрикса. В результате каждый фермент, будучи применён в установленной последовательности, максимально реализует свой потенциал в заданной ему узкой области, а свойства получаемых продуктов определяются исключительно аутентичностью молекулярной структуры, но не суперпозицией свойств, задаваемых одновременно выделяемыми полигликанами других групп.

Разработанные критерии, а также методологический подход и алгоритм его реализации, предположительно, являются универсальными и применимы для анализа комплексов гомоферментных препаратов, с возможностью включения некоторого (минорного) количества комплексных ферментных препаратов.

Разработанный методологический подход является неотъемлемой составляющей дерева принятия решений для разработки технологий промышленного производства растительных полигликанов с гаран-

тированными физико-химическими характеристиками, начало формирования которого положено нашими предыдущими исследованиями.

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность зав. научно-исследовательской лабораторией физико-химии ферментативной трансформации полимеров кафедры химической энзимологии химического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, зав. лаборатории биотехнологии ферментов Федерального исследовательского центра «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук, доктору химических наук Синицыну Аркадию Пантелеймоновичу за предоставление информации о спектре активностей комплексных и гомоферментных препаратов.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Кондратенко В. В.: научное руководство исследованием, концептуализация, разработка методологии исследования, написание — рецензирование и редактирование рукописи.

Кондратенко Т. Ю.: проведение исследования, валидизация данных, формальный анализ — применение статистических и математических методов, визуализация, написание — подготовка черновика рукописи, подготовка и создание рукописи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Abou-Elseoud, W. S., Hassan, E. A., & Hassan, M. L. (2021). Extraction of pectin from sugar beet pulp by enzymatic and ultrasound-assisted treatments. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2, Article 100042. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100042>
- Amos, R. A., & Mohnen, D. (2019). Critical review of plant cell wall matrix polysaccharide glycosyltransferase activities verified by heterologous protein expression. *Frontiers in Plant Science*, 10, Article 915. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00915>
- Bindereif, B., Karbstein, H. P., Zahn, K., & van der Schaaf, U. S. (2022). Effect of conformation of sugar beet pectin on the interfacial and emulsifying properties. *Foods*, 11(2), Article 214. <https://doi.org/10.3390/foods11020214>
- Bok-Badura, J., Jakóbik-Kolon, A., Karoń, K., & Mitko, K. (2018). Sorption studies of heavy metal ions on pectin-nano-titanium dioxide composite adsorbent. *Separation Science and Technology*, 53(7), 1034–1044, <https://doi.org/10.1080/01496395.2017.1329840>
- Bonnin, E., Garnier, C., & Ralet, M. C. (2014). Pectin-modifying enzymes and pectin-derived materials: applications and impacts. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98, 519–532. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5388-6>

- Carpita, N. C., & McCann, M. C. (2020). Redesigning plant cell walls for the biomass-based bioeconomy. *Journal of Biological Chemistry*, 295(44), 15144–15157. <https://doi.org/10.1074/jbc.rev120.014561>
- De Moura, F. A., Macagnan, F. T., dos Santos, L. R., Bizzani, M., de Oliveira Petkowicz, C. L., & da Silva, L. P. (2017). Characterization and physicochemical properties of pectins extracted from agroindustrial by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 54(10), 3111–3117. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2747-9>
- Delphi, L., & Sepehri, H. (2016). Apple pectin: A natural source for cancer suppression in 4T1 breast cancer cells in vitro and express p53 in mouse bearing 4T1 cancer tumors, *in vivo*. *Biomedicine Pharmacotherapy*, 84, 637–644. <https://doi.org/10.1016/j.bioph.2016.09.080>
- Dominiak, M., Søndergaard, K. M., Wichmann, J., Vidal-Melgosa, S., Willats, W. G. T., Meyer, A. S., & Mikkelsen, J. D. (2014). Application of enzymes for efficient extraction, modification, and development of functional properties of lime pectin. *Food Hydrocolloids*, 40, 273–282. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.03.009>
- Du, J., Anderson, C. T., & Xiao, C. (2022). Dynamics of pectic homogalacturonan in cellular morphogenesis and adhesion, wall integrity sensing and plant development. *Nature Plants*, 8, Article 332340. <https://doi.org/10.1038/s41477-022-01120-2>
- Duan, X., Yang, Z., Yang, J., Liu, F., Xu, X., & Pan, S. (2021). Structural and emulsifying properties of citric acid extracted satsuma mandarin peel pectin. *Foods*, 10(10), Article 2459. <https://doi.org/10.3390/foods10102459>
- Einhorn-Stoll, U., Kastner, H., & Senge, B. (2012). Comparison of molecular parameters; material properties and gelling behaviour of commercial citrus pectins. In P. A. Williams, G. O. Phillips (Eds.) *Gums and stabilisers for the food industry 16* (pp. 199–206). The Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781849734554-00199>
- Elizaryev, A., Kostryukova, N., Vdovina, I., Riianova, E., Melnikova, A., & Sadykova, A. (2020). Low-waste production of pectin from beet pulp. *Ecological and Biological Well-Being of Flora and Fauna*, 203, Article 04012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020304012>
- Gawkowska, D., Cybulska, J., & Zdunek, A. (2018). Structure-related gelling of pectins and linking with other natural compounds: A review. *Polymers (Basel)*, 10(7), Article 762. <https://doi.org/10.3390/polym10070762>
- Giovannoni, M., & Gramegna, G., Benedetti, M., Mattei B. (2020). Industrial use of cell wall degrading enzymes: The fine line between production strategy and economic feasibility. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, Article 358. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00356>
- Gudmundsson, M. (2014). *Structure and functional studies of plant cell wall degrading enzymes*. [Doctoral Dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences] Uppsala, Sweden.
- Held, M. A., Jiang, N., Basu, D., Showalter, A. M., & Faik, A. (2014). Plant cell wall polysaccharides: Structure and biosynthesis. In K. Ramawat, J. M. Mérillon (Eds.) *Polysaccharides* (pp. 1–47). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-03751-6_73-1
- Hennessey-Ramos, L., Murillo-Arango, W., Vasco-Correa, J., & Paz Astudillo, I. C. (2021). Enzymatic extraction and characterization of pectin from cocoa pod husks (*Theobroma cacao* L.) Using Celluclast 1.5 L. *Molecules*, 26, Article 1473. <https://doi.org/10.3390/molecules26051473>
- Ishisono, K., Mano, T., Yabe, T., & Kitaguchi, K. (2019). Dietary fiber pectin ameliorates experimental colitis in a neutral sugar side chain-dependent manner. *Frontiers in Immunology*, 10, Article 2979. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.02979>
- Jung, S. K., Parisutham, V., Jeong, S. H., & Lee, S. K. (2012). Heterologous expression of plant cell wall degrading enzymes for effective production of cellulosic biofuels. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2012, Article 405842. <https://doi.org/10.1155/2012/405842>
- Kazantsev, E. V., Kondratev, N. B., Rudenko, O. S., Petrova, N. A., & Belova, I. A. (2022). Formation of a foamy structure of confectionery pastille products. *Food Systems*, 5(1), 64–69. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-64-69>
- Kondratenko, V. V., Kondratenko, T. Yu., & Petrov, A. N. (2021). Directed homoenzymatic fragmentation of the plant protopectin complex: Assessment criteria. *Foods and Raw Materials*, 9(2), 254–261. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-254-261>
- Kondratenko, V. V., Kondratenko, T. Yu., Petrov, A. N., & Belozerov, G. A. (2020). Assessing protopectin transformation potential of plant tissue using a zoned criterion space. *Foods and Raw Materials*, 8(2), 348–361. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-348-361>
- Kumar, R. V., Srivastava, D., Singh, V., Kumar, U., Vishvakarma, V. K., Singh, P., Kumar, D., & Kumar, R. (2020). Characterization, biological evaluation and molecular docking of mulberry fruit pectin. *Scientific Reports*, 10, Article 21789. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78086-8>
- Larsen, N., Bussolo de Souza, C., Krych, L., Barbosa Cahú, T., Wiese, M., Kot, W., Hansen, K.M., Blennow, A., Venema, K., & Jespersen, L. (2019). Potential of pectins to beneficially modulate the gut microbiota depends on their structural properties. *Frontiers in Microbiology*, 10, Article 223. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00223>
- Lee, B. H., Jung, H. T., Kim, H. S., & Yoo, S. H. (2021). Structural and gelling properties of very low methoxyl pectin produced by an alkali-treatment. *Korean Society of Food Science and Technology*, 53(2), 121–125. <https://doi.org/10.9721/KJFST.2021.53.2.121>
- Marjamaa, K., & Kruus, K. (2018). Enzyme biotechnology in degradation and modification of plant cell wall polymers. *Physiologia Plantarum*, 164(1), 106–118. <https://doi.org/10.1111/ppl.12800>
- Marry, M., McCann, M. C., Kolpak, F., White, A. R., Stacey, N. J., & Roberts, K. (2000). Extraction of pectic polysaccharides from sugar-beet cell walls. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(1), 17–28. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000101\)80:1<17::AID-JSFA491>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000101)80:1<17::AID-JSFA491>3.0.CO;2-4)

- Mota, Th. R., de Oliveira, D. M., Marchiosi, R., Ferrarese-Filho, O., & dos Santos, W. D. (2018). Plant cell wall composition and enzymatic deconstruction. *AIMS Bioengineering*, 5(1), 63–77. <https://doi.org/10.3934/bioeng.2018.1.63>
- Nakauma, M., Funami, T., Noda, S., Ishihara, S., Al-Assaf, S., Nishinari, K., & Phillips, G. O. (2008). Comparison of sugar beet pectin, soybean soluble polysaccharide, and gum arabic as food emulsifiers. 1. Effect of concentration, pH, and salts on the emulsifying properties. *Food Hydrocolloids*, 22(7), 1254–1267. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.09.004>
- O'Neill, M. A., Eberhard, S., Albersheim, P., & Darvill, A. G. (2001). Requirement of borate cross-linking of cell wall rhamnogalacturonan II for arabidopsis growth. *Science*, 294(5543), 846–849. <https://doi.org/10.1126/science.1062319>
- Panchev, I. N., Slavov, A., Nikolova, K., & Kovacheva, D. (2010). On the water-sorption properties of pectin. *Food Hydrocolloids*, 24(8), Article 763e769. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.04.002>
- Pérez García, M., Zhang, Y., Hayes, J., Salazar, A., Zabotina, O. A., & Hong, M. (2011). Structure and interactions of plant cell-wall polysaccharides by two- and three-dimensional magic-angle-spinning solid-state NMR. *Biochemistry*, 50(6), 989–1000. <https://doi.org/10.1021/bi101795q>
- Prandi, B., Baldassarre, S., Babbar, N., Bancalari, E., Vandezande, P., Hermans, D., Bruggeman, G., Gatti, M., Elst, K., & Sforza, S. (2018). Pectin oligosaccharides from sugar beet pulp: molecular characterization and potential prebiotic activity. *Food & Function journal*, 9, 1557–1569. <https://doi.org/10.1039/C7FO01182B>
- Semenycheva, L. L., Kuleshova, N. V., Mitin, A. V., Belya, T. A., & Mochkina, D. V. (2020). Molecular weight characteristics and sorption properties of pectin extracted from different substrates. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 10(4), 728–737. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-4-728-737>
- Siemińska-Kuczer, A., Szymańska-Chargot, M., & Zdunek, A. (2022). Recent advances in interactions between polyphenols and plant cell wall polysaccharides as studied using an adsorption technique. *Food Chemistry*, 373B, Article 131487. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131487>
- Sundar Raj, A. A., Rubila, S., Jayabalan, R., & Ranganathan, T. V. (2012). A review on pectin: Chemistry due to general properties of pectin and its pharmaceutical uses. *Omics International*, 1(12), 1–4. <https://doi.org/10.4172/scientificreports.550>
- Venzon, S. S., Canteri, M. H., Granato, D., Junior, B. D., Maciel, G. M., Stafussa, A. P., & Haminiuk, C. W. (2015). Physico-chemical properties of modified citrus pectins extracted from orange pomace. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4102–4112. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1419-2>
- Voiniciuc, C., Pauly, M., & Usadel, B. (2018). Monitoring polysaccharide dynamics in the plant cell wall. *Plant Physiology*, 176(4), 2590–2600. <https://doi.org/10.1104%2Fpp.17.01776>
- Wang, L., Zhao, L., Gong, F. I., Sun, C., Du, D., Yang, X., & Guo, X. (2022). Modified citrus pectin inhibits breast cancer development in mice by targeting tumor-associated macrophage survival and polarization in hypoxic microenvironment. *Acta Pharmacologica Sinica*, 43, 1556–1567. <https://doi.org/10.1038/s41401-021-00748-8>
- Wang, R., Li, Y., Shuai, X., Chen, J., Liang, R., & Liu, C. (2021). Development of pectin-based aerogels with several excellent properties for the adsorption of Pb²⁺. *Foods*, 10(12), Article 3127. <https://doi.org/10.3390/foods10123127>
- Xia, J. L., & Li, P. J. (2019). Pectic enzymes. In L. Melton, F. Shahidi, P. Vareliis (Eds.) *Encyclopedia of food chemistry* (pp. 270–276). Academic Press, Oxford, UK. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21645-4>
- Yapo, B. M., Robert, C., Etienne, I., Wathelet, B., & Paquot, M. (2007). Effect of extraction conditions on the yield, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts. *Food Chemistry*, 100(4), 1356–1364. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.012>
- Yoo, H. D., Kim, D., & Paek, S. H. (2012). Plant cell wall polysaccharides as potential resources for the development of novel prebiotics. *Biomolecules & Therapeutics*, 20(4), 371–379. <https://doi.org/10.4062/biomolther.2012.20.4.371>
- Yuliarti, O., Low Sok-Hoon, A., & Yee, S. (2017). Chong influence of pH, pectin and Ca concentration on gelation properties of low-methoxyl pectin extracted from *Cyclea barbata* Miers. *Food Structure*, 11, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2016.10.005>
- Zhang, W., Xu, P., & Zhang, H. (2015). Pectin in cancer therapy: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 44(2), 258–271. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.001>

REFERENCES

- Abou-Elseoud, W. S., Hassan, E. A., & Hassan, M. L. (2021). Extraction of pectin from sugar beet pulp by enzymatic and ultrasound-assisted treatments. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2, Article 100042. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100042>
- Amos, R. A., & Mohnen, D. (2019). Critical review of plant cell wall matrix polysaccharide glycosyltransferase activities verified by heterologous protein expression. *Frontiers in Plant Science*, 10, Article 915. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00915>
- Bindereif, B., Karbstein, H. P., Zahn, K., & van der Schaaf, U. S. (2022). Effect of conformation of sugar beet pectin on the interfacial and emulsifying properties. *Foods*, 11(2), Article 214. <https://doi.org/10.3390/foods11020214>
- Bok-Badura, J., Jakóbik-Kolon, A., Karoń, K., & Mitko, K. (2018). Sorption studies of heavy metal ions on pectin-nano-titanium dioxide composite adsorbent. *Separation Science and Technology*, 53(7), 1034–1044, <https://doi.org/10.1080/01496395.2017.1329840>

- Bonnin, E., Garnier, C., & Ralet, M. C. (2014). Pectin-modifying enzymes and pectin-derived materials: applications and impacts. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98, 519–532. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5388-6>
- Carpita, N. C., & McCann, M. C. (2020). Redesigning plant cell walls for the biomass-based bioeconomy. *Journal of Biological Chemistry*, 295(44), 15144–15157. <https://doi.org/10.1074/jbc.rev120.014561>
- De Moura, F. A., Macagnan, F. T., dos Santos, L. R., Bizzani, M., de Oliveira Petkowicz, C. L., & da Silva, L. P. (2017). Characterization and physicochemical properties of pectins extracted from agroindustrial by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 54(10), 3111–3117. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2747-9>
- Delphi, L., & Sepehri, H. (2016). Apple pectin: A natural source for cancer suppression in 4T1 breast cancer cells in vitro and express p53 in mouse bearing 4T1 cancer tumors, *in vivo*. *Biomedicine Pharmacotherapy*, 84, 637–644. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2016.09.080>
- Dominiak, M., Søndergaard, K. M., Wichmann, J., Vidal-Melgosa, S., Willats, W. G. T., Meyer, A. S., & Mikkelsen, J. D. (2014). Application of enzymes for efficient extraction, modification, and development of functional properties of lime pectin. *Food Hydrocolloids*, 40, 273–282. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.03.009>
- Du, J., Anderson, C. T., & Xiao, C. (2022). Dynamics of pectic homogalacturonan in cellular morphogenesis and adhesion, wall integrity sensing and plant development. *Nature Plants*, 8, Article 332340. <https://doi.org/10.1038/s41477-022-01120-2>
- Duan, X., Yang, Z., Yang, J., Liu, F., Xu, X., & Pan, S. (2021). Structural and emulsifying properties of citric acid extracted satsuma mandarin peel pectin. *Foods*, 10(10), Article 2459. <https://doi.org/10.3390/foods10102459>
- Einhorn-Stoll, U., Kastner, H., & Senge, B. (2012). Comparison of molecular parameters; material properties and gelling behaviour of commercial citrus pectins. In P. A. Williams, G. O. Phillips (Eds.) *Gums and stabilisers for the food industry 16* (pp. 199–206). The Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781849734554-00199>
- Elizaryev, A., Kostryukova, N., Vdovina, I., Riianova, E., Melnikova, A., & Sadykova, A. (2020). Low-waste production of pectin from beet pulp. *Ecological and Biological Well-Being of Flora and Fauna*, 203, Article 04012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020304012>
- Gawkowska, D., Cybulska, J., & Zdunek, A. (2018). Structure-related gelling of pectins and linking with other natural compounds: A review. *Polymers (Basel)*, 10(7), Article 762. <https://doi.org/10.3390/polym10070762>
- Giovannoni, M., & Gramegna, G., Benedetti, M., Mattei B. (2020). Industrial use of cell wall degrading enzymes: The fine line between production strategy and economic feasibility. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, Article 358. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00358>
- Gudmundsson, M. (2014). *Structure and functional studies of plant cell wall degrading enzymes*. [Doctoral Dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences] Uppsala, Sweden.
- Held, M. A., Jiang, N., Basu, D., Showalter, A. M., & Faik, A. (2014). Plant cell wall polysaccharides: Structure and biosynthesis. In K. Ramawat, J. M. Mérillon (Eds.) *Polysaccharides* (pp. 1–47). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-03751-6_73-1
- Hennessey-Ramos, L., Murillo-Arango, W., Vasco-Correa, J., & Paz Astudillo, I. C. (2021). Enzymatic extraction and characterization of pectin from cocoa pod husks (*Theobroma cacao* L.) Using Celluclast 1.5 L. *Molecules*, 26, Article 1473. <https://doi.org/10.3390/molecules26051473>
- Ishisono, K., Mano, T., Yabe, T., & Kitaguchi, K. (2019). Dietary fiber pectin ameliorates experimental colitis in a neutral sugar side chain-dependent manner. *Frontiers in Immunology*, 10, Article 2979. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.02979>
- Jung, S. K., Parisutham, V., Jeong, S. H., & Lee, S. K. (2012). Heterologous expression of plant cell wall degrading enzymes for effective production of cellulosic biofuels. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2012, Article 405842. <https://doi.org/10.1155/2012/405842>
- Kazantsev, E. V., Kondratiev, N. B., Rudenko, O. S., Petrova, N. A., & Belova, I. A. (2022). Formation of a foamy structure of confectionery pastille products. *Food Systems*, 5(1), 64–69. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-64-69>
- Kondratenko, V. V., Kondratenko, T. Yu., & Petrov, A. N. (2021). Directed homoenzymatic fragmentation of the plant protopectin complex: Assessment criteria. *Foods and Raw Materials*, 9(2), 254–261. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-254-261>
- Kondratenko, V. V., Kondratenko, T. Yu., Petrov, A. N., & Belozerov, G. A. (2020). Assessing protopectin transformation potential of plant tissue using a zoned criterion space. *Foods and Raw Materials*, 8(2), 348–361. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-348-361>
- Kumar, R. V., Srivastava, D., Singh, V., Kumar, U., Vishvakarma, V. K., Singh, P., Kumar, D., & Kumar, R. (2020). Characterization, biological evaluation and molecular docking of mulberry fruit pectin. *Scientific Reports*, 10, Article 21789. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78086-8>
- Larsen, N., Bussolo de Souza, C., Krych, L., Barbosa Cahú, T., Wiese, M., Kot, W., Hansen, K.M., Blennow, A., Venema, K., & Jespersen, L. (2019). Potential of pectins to beneficially modulate the gut microbiota depends on their structural properties. *Frontiers in Microbiology*, 10, Article 223. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00223>
- Lee, B. H., Jung, H. T., Kim, H. S., & Yoo, S. H. (2021). Structural and gelling properties of very low methoxyl pectin produced by an alkali-treatment. *Korean Society of Food Science and Technology*, 53(2), 121–125. <https://doi.org/10.9721/KJFST.2021.53.2.121>
- Marjamaa, K., & Kruus, K. (2018). Enzyme biotechnology in degradation and modification of plant cell wall polymers. *Physiologia Plantarum*, 164(1), 106–118. <https://doi.org/10.1111/ppl.12800>
- Marry, M., McCann, M. C., Kolpak, F., White, A. R., Stacey, N. J., & Roberts, K. (2000). Extraction of pectic polysaccharides from sugar-beet cell walls. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(1), 17–28. <https://doi.org/10.1002/>

- (SICI)1097-0010(20000101)80:1<17::AID-JSFA491>3.0.CO;2-4
- Mota, Th. R., de Oliveira, D. M., Marchiosi, R., Ferrarese-Filho, O., & dos Santos, W. D. (2018). Plant cell wall composition and enzymatic deconstruction. *AIMS Bioengineering*, 5(1), 63–77. <https://doi.org/10.3934/bioeng.2018.1.63>
- Nakauma, M., Funami, T., Noda, S., Ishihara, S., Al-Assaf, S., Nishinari, K., & Phillips, G. O. (2008). Comparison of sugar beet pectin, soybean soluble polysaccharide, and gum arabic as food emulsifiers. 1. Effect of concentration, pH, and salts on the emulsifying properties. *Food Hydrocolloids*, 22(7), 1254–1267. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.09.004>
- O'Neill, M. A., Eberhard, S., Albersheim, P., & Darvill, A. G. (2001). Requirement of borate cross-linking of cell wall rhamnogalacturonan II for arabidopsis growth. *Science*, 294(5543), 846–849. <https://doi.org/10.1126/science.1062319>
- Panchev, I. N., Slavov, A., Nikolova, K., & Kovacheva, D. (2010). On the water-sorption properties of pectin. *Food Hydrocolloids*, 24(8), Article 763e769. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.04.002>
- Pérez García, M., Zhang, Y., Hayes, J., Salazar, A., Zabotina, O. A., & Hong, M. (2011). Structure and interactions of plant cell-wall polysaccharides by two- and three-dimensional magic-angle-spinning solid-state NMR. *Biochemistry*, 50(6), 989–1000. <https://doi.org/10.1021/bi101795q>
- Prandi, B., Baldassarre, S., Babbar, N., Bancalari, E., Vandezande, P., Hermans, D., Bruggeman, G., Gatti, M., Elst, K., & Sforza, S. (2018). Pectin oligosaccharides from sugar beet pulp: molecular characterization and potential prebiotic activity. *Food & Function journal*, 9, 1557–1569. <https://doi.org/10.1039/C7FO01182B>
- Semenycheva, L. L., Kuleshova, N. V., Mitin, A. V., Belya, T. A., & Mochkina, D. V. (2020). Molecular weight characteristics and sorption properties of pectin extracted from different substrates. Proceedings of Universities. *Applied Chemistry and Biotechnology*, 10(4), 728–737. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-4-728-737>
- Siemińska-Kuczer, A., Szymańska-Chargot, M., & Zdunek, A. (2022). Recent advances in interactions between polyphenols and plant cell wall polysaccharides as studied using an adsorption technique. *Food Chemistry*, 373B, Article 131487. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131487>
- Sundar Raj, A. A., Rubila, S., Jayabalan, R., & Ranganathan, T. V. (2012). A review on pectin: Chemistry due to general properties of pectin and its pharmaceutical uses. *Omics International*, 1(12), 1–4. <https://doi.org/10.4172/scientificreports.550>
- Venzon, S. S., Canteri, M. H., Granato, D., Junior, B. D., Machiel, G. M., Stafussa, A. P., & Haminiuk, C. W. (2015). Physicochemical properties of modified citrus pectins extracted from orange pomace. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4102–4112. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1419-2>
- Voiniciuc, C., Pauly, M., & Usadel, B. (2018). Monitoring polysaccharide dynamics in the plant cell wall. *Plant Physiology*, 176(4), 2590–2600. <https://doi.org/10.1104%2Fpp.17.01776>
- Wang, L., Zhao, L., Gong, F. I., Sun, C., Du, D., Yang, X., & Guo, X. (2022). Modified citrus pectin inhibits breast cancer development in mice by targeting tumor-associated macrophage survival and polarization in hypoxic microenvironment. *Acta Pharmacologica Sinica*, 43, 1556–1567. <https://doi.org/10.1038/s41401-021-00748-8>
- Wang, R., Li, Y., Shuai, X., Chen, J., Liang, R., & Liu, C. (2021). Development of pectin-based aerogels with several excellent properties for the adsorption of Pb²⁺. *Foods*, 10(12), Article 3127. <https://doi.org/10.3390/foods10123127>
- Xia, J. L., & Li, P. J. (2019). Pectic enzymes. In L. Melton, F. Shahidi, P. Vareliis (Eds.) *Encyclopedia of food chemistry* (pp. 270–276). Academic Press, Oxford, UK. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21645-4>
- Yapo, B. M., Robert, C., Etienne, I., Wathelet, B., & Paquot, M. (2007). Effect of extraction conditions on the yield, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts. *Food Chemistry*, 100(4), 1356–1364. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.012>
- Yoo, H. D., Kim, D., & Paek, S. H. (2012). Plant cell wall polysaccharides as potential resources for the development of novel prebiotics. *Biomolecules & Therapeutics*, 20(4), 371–379. <https://doi.org/10.4062/biomolther.2012.20.4.371>
- Yuliarti, O., Low Sok-Hoon, A., & Yee, S. (2017). Chong influence of pH, pectin and Ca concentration on gelation properties of low-methoxyl pectin extracted from *Cyclea barbata* Miers. *Food Structure*, 11, 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2016.10.005>
- Zhang, W., Xu, P., & Zhang, H. (2015). Pectin in cancer therapy: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 44(2), 258–271. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.001>

УДК 637.146.2:579

Оценка потенциала пропионовокислых бактерий для получения постбиотиков

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, г. Москва, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Бегунова Анна Васильевна
Адрес: 115093, Россия, г. Москва,
ул. Люсиновская 35, корп. 7
E-mail: a_begunova@vnimi.org

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:
данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Бегунова, А. В., & Жижин, Н. А. (2022). Оценка потенциала пропионовокислых бактерий для получения постбиотиков. *Хранение и переработка сельхозсыревья*, (4), 102–112. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.356>

ПОСТУПИЛА: 23.08.2022

ПРИНЯТА: 03.10.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 14.10.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



А. В. Бегунова, Н. А. Жижин

АННОТАЦИЯ

Введение. Многочисленные современные исследования показали, что продукты метаболизма пробиотических культур, как и пробиотические микроорганизмы могут оказывать положительные эффекты на здоровье потребителя. Их использование является профилактической стратегией для укрепления здоровья человека.

Цель. Охарактеризовать потенциал штамма *P. shermanii* Э2 для использования при получении постбиотиков.

Материалы и методы. Штамм *P. shermanii* Э2 культивировали на питательной среде следующего состава: дрожжевой автолизат – 40 см³/дм³, КН₂РО₄ – 4 г/дм³, СоСl₂ – 1 см³/дм³, гидролизованное молоко до 1 дм³. Ферментативную активность штамма определяли с использованием тест-системы API ZYM («BioMerieux», Франция). Протеолитическую активность определяли методом TNBS (2,4,6-тринитробензольсульфоновая кислота) и выражали в ммоль/л-эквивалентов лейцина. Антиоксидантную активность определили методом ORAC. Оценку содержания органических кислот проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), а определение витамина В₁₂ методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектором (ВЭЖХ-МС).

Результаты. Определен профиль ферментативной активности *P. shermanii* Э2, протеолитическая и антиоксидантная активность, кроме того установлено содержание органических кислот и витамина В₁₂ в бесклеточных супернатантах. Установлено, что штамм обладает выраженной аминопептидазной активностью, высокой активностью кислой фосфатазы, α-галактозидазы и β-галактозидазы. Однако активностей трипсина, липазы, β-глюкоридазы, β-глюкозидазы, N-ацетил-β-глюказаминидазы, α-маннозидазы и α-фруктозидазы не наблюдалось. Показано повышение протеолитической и антиоксидантной активности в процессе культивирования *P. shermanii* Э2. Наибольших значений протеолитическая и антиоксидантная активности достигли через 72 ч культивирования *P. shermanii* Э2. Кроме того, в бесклеточных супернатантах, полученных через 72 ч культивирования *P. shermanii* Э2 показано наибольшее содержание пропионовой, уксусной и янтарной кислот – (4858,0 ± 173) мг/дм³, (1542,0 ± 44) мг/дм³, (338,0 ± 11) мг/дм³ соответственно, а количество витамина В₁₂ составило (3,67 ± 0,05) мкг/дм³. Учитывая, что пробиотические свойства штаммов связаны с образованием определенных метаболитов, проведенные исследования позволяют сделать вывод о пробиотическом потенциале штамма *P. shermanii* Э2 и возможности его использования не только в составе заквасок, но и при получении постбиотиков.

Выводы. Применение постбиотиков при производстве продуктов питания в качестве функциональных ингредиентов будет способствовать расширению рынка функциональных продуктов, а определение их биологической активности позволит расширить область применения постбиотиков.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

пропионовокислые бактерии, пробиотический потенциал, постбиотики, метаболиты

Evaluation of the Potential of Propionic Acid Bacteria for Obtaining Postbiotics

All-Russian Dairy Research Institute,
Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Anna V. Begunova
35/7, Lysinovskaya str.,
Moscow, 115093, Russian Federation
E-mail: a_begunova@vnimi.org

FOR CITATIONS:

Begunova, A. V., & Zhizhin, N. A. (2022). Evaluation of the potential of propionic acid bacteria for obtaining postbiotics. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 102–112. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.356>

RECEIVED: 23.08.2022

ACCEPTED: 03.10.2022

PUBLISHED: 14.10.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Anna V. Begunova, Nikolay A. Zhizhin

ABSTRACT

Introduction. Numerous modern studies show that the products of potentially probiotic cultures, like probiotic microorganisms, can cause positive effects on the health of users. Their using is a preventive strategy for approaching human health.

Purpose. To characterize the potential of the *P. shermanii* E2 strain for use for the production of postbiotics.

Materials and Methods. The *P. shermanii* E2 strain was cultivated on a nutrient medium with the following composition: yeast autolysate, 40 cm³/dm³, KH₂PO₄, 4 g/dm³, CoCl₂, 1 cm³/dm³, and hydrolyzed milk up to 1 dm³. The enzymatic activity of the strain was determined by using the API ZYM test system (BioMerieux, France). Proteolytic activity was determined by the TNBS method (2,4,6-trinitrobenzenesulfonic acid) and expressed in mmol/l leucine equivalents. Antioxidant activity was determined by the ORAC method. The content of organic acids was evaluated by high performance liquid chromatography (HPLC), and vitamin B₁₂ was determined by high performance liquid chromatography with a mass spectrometric detector (HPLC-MS).

Results. The profile of the enzymatic activity of *P. shermanii* E2, its proteolytic and antioxidant activity was determined, in addition, the content of organic acids and vitamin B₁₂ in cell-free supernatants was determined. It was found that the strain has a pronounced aminopeptidase activity, high activity of acid phosphatase, α -galactosidase and β -galactosidase. However, the activities of trypsin, lipase, β -glucuronidase, β -glucosidase, N-acetyl- β -glucosaminidase, α -mannosidase and α -fructosidase were not observed. An increase in proteolytic and antioxidant activity during the cultivation of *P. shermanii* E2 was shown. An increase in proteolytic and antioxidant activity during the cultivation of *P. shermanii* E2 was shown. The highest values of proteolytic and antioxidant activity were reached after 72 h of cultivation *P. shermanii* E2. In addition, cell-free supernatants obtained after 72 hours of *P. shermanii* E2 cultivation showed the highest content of propionic, acetic and succinic acids – (4858.0 \pm 173) mg/dm³, (1542.0 \pm 44) mg/dm³, (338.0 \pm 11) mg/dm³, respectively, and the amount of vitamin B₁₂ was (3.67 \pm 0.05) μ g/dm³. Taking into account that the probiotic properties of the strains are associated with the formation of certain metabolites, the conducted studies allow us to conclude that the *P. shermanii* E2 strain has a probiotic potential and the possibility of its use not only as part of starter cultures, but also in the production of postbiotics.

Conclusion. The use of postbiotic in food production as food additives will correspond to the expansion of the market for functional products, and the determination of their biological applicability will expand the field of postbiotics.

KEYWORDS

propionic acid bacteria, probiotic potential, postbiotics, metabolites

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к продуктам питания для укрепления и поддержания здоровья неизменно высок, что является дополнительной мотивацией производителей к увеличению исследований в области разработок инновационных продуктов с функциональными свойствами (Коростелева & Агаркова, 2020; Донская & Дрожжин, 2020; Файзуллина и соавт., 2020). Спектр продуктов питания с добавлением пробиотических культур как функциональных ингредиентов постоянно увеличивается на рынке специализированных продуктов. Микроорганизмы, используемые в качестве заквасочных и пробиотических культур при производстве кисломолочных продуктов с функциональными свойствами могут обеспечить преимущества для здоровья (Rezac et al., 2018). Накоплены многочисленные данные о значительном потенциале пробиотических бактерий в продуктах питания, которые способны модулировать микробиоту желудочно-кишечного тракта, метаболизм и иммунитет за счет биосинтеза ценных метаболитов (Rabah, 2017). Популярность кисломолочных продуктов связана с их безопасностью, питательными, органолептическими и функциональными свойствами, которые обусловлены содержанием биоактивных молекул, витаминов и других компонентов, образуемых в процессе ферментации, а также содержанием жизнеспособных клеток заквасочных культур (Marco et al., 2017; Зобкова & Фурсова, 2020; Зобкова и соавт., 2021). Кроме молочнокислых бактерий при производстве кисломолочных продуктов в качестве пробиотических культур в составе заквасок используются *Bifidobacterium*, *Propionibacterium*. При этом все большее внимание привлекают *Propionibacterium freudenreichii*. Эти микроорганизмы являются членами семейства *Propionibacteriaceae*, а вид *Propionibacterium freudenreichii* признан безопасным, т.е. имеет статус GRAS (EFSA, 2013) и широко известен своим пробиотическим потенциалом (Rabah, 2017). Ряд исследований показал, что пропионовокислые бактерии обладают бифидогенными, антиоксидантными, antimутагенными, иммуномодулирующими и др. свойствами (Cousin et al., 2011). Кроме того, пропионовокислые бактерии синтезируют витамин B_{12} , который необходим для многих функций организма человека, так как участвует в регуляции основных процессов обмена веществ в организме, активизируя белковый, углеводный и жировой обмен,

способствует повышению иммунитета (Hugenholtz et al., 2002). *P. freudenreichii* subsp. *shermanii* обладают ценными технологическими свойствами, такими как использование лактозы и лактатов в качестве источника углерода, синтез внутриклеточных пептидаз и протеаз, а также синтез соединений, обладающих консервирующими свойствами (бактериоцины, пропионовая и уксусная кислоты). Они также обладают способностью вырабатывать витамин B_{12} (Hugenholtz et al., 2002), который является незаменимым витамином и необходим для поддержания здоровья (Zárate, 2012), он относится к кобаламинам, и включает цианокобаламин, гидроксокобаламин, метилкобаламин, дезоксиаденозилкобаламин. Оптимальная суточная доза витамина B_{12} для людей старше 14 лет составляет 2,4 мкг (Piwowarek et al., 2018). Пропионовая кислота относится к группе карбоновых кислот, является основной антимикробной молекулой, вырабатываемой *P. freudenreichii* и используется как консервант для подавления роста дрожжей и плесневых грибов в пищевой промышленности и в производстве кормов для животных.

В настоящее время ученые во всем мире занимаются поиском штаммов, которые можно использовать в составе заквасок для обогащения продуктов биоактивными метаболитами, либо использовать отдельно для получения постбиотиков (Raveschot et al., 2018; Tagliazucchi et al., 2019). В связи с этим появляются новые перспективы в использовании компонентов пробиотических культур, а не жизнеспособных клеток, которые сегодня известны как постбиотики (метаболиты и клеточные компоненты), приносящие пользу для здоровья (Todorov et al., 2021; Salminen et al., 2021). Внеклеточные метаболиты пробиотических микроорганизмов могут свободно попадать в кровоток, а также ткани и органы человека, что является еще одной интересной областью исследований (Molina-Tijeras et al., 2019; Nishiyama et al., 2020). Постбиотики – многообещающая область исследований для функциональных пищевых продуктов, обладающих полезными эффектами, а также новых фармацевтических препаратов (Poluektova et al., 2021).

Пропионовокислые бактерии и их метаболиты широко используются в косметической, фармацевтической и пищевой промышленности (Piwowarek et al., 2018), так как обладают спектром физиолого-биохимических свойств (Vorobjeva et al., 2008),

которые зависят от штамма, однако потенциал пропионовокислых бактерий как постбиотиков недооценен. Отсюда, целью исследований являлось определение *in vitro* пробиотического потенциала штамма *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* Э2 из коллекции ФГАНУ «ВНИМИ» для использования при разработке постбиотиков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект

В работе использовали культуру *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* Э2 из коллекции Центральной лаборатории микробиологии Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности (ФГАНУ «ВНИМИ»).

Методы

Культивирование штамма и получение бесклеточных супернатантов

Штамм *P. shermanii* Э2 культивировали на питательной среде следующего состава: дрожжевой автолизат – 40 см³/дм³, КН₂РО₄ – 4 г/дм³, CoCl₂ – 1 см³/дм³, гидролизованное молоко до 1 дм³. Для определения *in vitro* протеолитической и антиоксидантной активности, а также содержания пропионовой, уксусной, янтарной кислот и витамина В₁₂ инокулят вносили в количестве 3% в 100 см³ питательной среды, состав которой указан выше и культивировали при температуре (30 ± 1)°С. Отбор проб проводили через 24, 48 и 72 ч культивирования. Для получения бесклеточных фракций образцы центрифугировали при температуре 4°C в течение 30 мин при 10 000 g на центрифуге Rotanta, (Германия).

Ферментативный профиль

Ферментативную активность штамма определяли с использованием тест-системы API ZYM («BioMerieux», Франция), в которую входит стрип с лунками, содержащими хромогенный субстрат. Суспензию клеток вносили в лунки стрипа, после чего проводили инкубирование в течение 4,0–4,5 ч при температуре (37 ± 1)°С. Затем в каждую лунку стрипа вносили реагент ZYM A и реагент ZYM B. Че-

рез 5–10 минут проводили визуальную оценку изменения цвета субстрата в лунке.

Протеолитическая и антиоксидантная активность

Полученные бесклеточные супернатанты фильтровали через складчатый бумажный фильтр (MN 640W, «Macherey-Nagel», Германия), затем устанавливали активную кислотность (рН) – 4,6 добавлением 0,1 М раствора NaOH, повторно центрифугировали как указано выше и пропускали через фильтры с диаметром пор 0,45 мкм («Sartorius», Германия).

Протеолитическую активность определяли методом TNBS (2,4,6-тринитробензолсульфоновая кислота) (Adler-Nissen, 1979). Оптическую плотность растворов измеряли на микропланшетном фотометре-флуориметре Synergy2 («BioTek», США) при длине волны 340 нм. В качестве стандарта использовали L-лейцин («Sigma-Aldrich», США). Результаты измерений выражали в ммол/л-эквивалентов лейцина.

Антиоксидантную активность определи методом ORAC с помощью микропланшетного фотометра-флуориметра Synergy 2 («BioTek», США). В качестве стандарта использовали тролокс («Sigma-Aldrich», США). Величину антиоксидантной активности образцов рассчитывали в ммол эквивалентов тролокса (ТЭ).

Определение содержания органических кислот

Оценку содержания пропионовой, уксусной и янтарной кислот проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на приборе «Маэстро» (Россия) оснащенного одноМатричным детектором. Для разделения органических кислот была использована хроматографическая колонка NanoSpher OrgAcids 500*4,6. Для количественной оценки каждого анализа были использованы аналитические стандарты органических кислот («ACROS», Бельгия).

Определение витамина В₁₂

Содержание витамина В₁₂ оценивали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектором (ВЭЖХ-МС) с использованием хроматографической системы

Agilent 1260 (Сингапур), оснащённой детектором triple quad Agilent 6465. Для хроматографического разделения применяли колонку Agilent InfinityLab 120 Poroshell 120 Phenyl-Hexyl, 3.0×100 mm, 2.7 μ m.

Анализ данных

Все исследования были проведены в трех повторностях, дисперсионный анализ (ANOVA) данных проводили с использованием пакета Statistica 10.0. Значимыми считались различия при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Определение ферментативного профиля

Данные по определению ферментативного профиля *P. shermanii* Э2 представлены на Рисунке 1.

В результате проведенных исследований у штамма *P. shermanii* Э2 выявлена умеренная активность эстеразы (C4) и эстераз-липазы (C8), выраженная аминопептидазная активность (лейцин ариламида, ва-

лин ариламида и цистин ариламида), выявлена активность протеиназы (α -химотрипсина), однако отсутствовала активность трипсина. Штамм показал достаточно высокую активность кислой фосфатазы, α -галактозидазы и β -галактозидазы и слабую нафтол-AS-BI-фосфогидролазную и α -глюкозидазную активность. Активность липазы, β -глюкорнидазы, β -глюкозидазы, N-ацетил- β -глюказаминидазы, α -маннозидазы и α -фруктозидазы не наблюдалось.

Протеолитическая и антиоксидантная активность

Данные по изменению протеолитической и антиоксидантной активности в процессе накопления метаболитов *P. shermanii* Э2 представлены в Таблице 1.

Установлено, что в образцах, полученных через 24 ч культивирования *P. shermanii* Э2 происходит незначительное повышение антиоксидантной активности ($256,31 \pm 22$ мкмоль ТЭ и количества эквивалентов L-лейцина ($3,29 \pm 0,24$) по сравнению с контролем. Это обусловлено достаточно низкой протеолитической активностью штамма *P. shermanii*

Рисунок 1

Профиль ферментативной активности (API ZYM) штамма *P. shermanii* Э2

Фермент	Активность фермента, у. ед.	Фермент	Активность фермента, у. ед.
Контроль	0	Кислая фосфатаза	2,0
Щелочная фосфатаза	$\leq 0,5$	Нафтол-AS-BI-фосфогидролаза	0,5
Эстераза (C4)	1,5	α -галактозидаза	$\leq 5,0$
Эстераза-липаза (C8)	1,0	β -галактозидаза	$\leq 5,0$
Липаза	$\leq 0,5$	β -глюкорнидаза	0
Лейцин ариламида	4,0	α -глюкозидаза	0,5
Валин ариламида	3,5	β -глюкозидаза	0
Цистин ариламида	3,0	N-ацетил- β -глюказаминидаза	0
Трипсин	0	α -маннозидаза	0
α -химотрипсин	4,0	α -фруктозидаза	0

Таблица 1

Протеолитическая и антиоксидантная активность *P. shermanii* Э2

Продолжительность, ч	Активная кислотность, ед. pH	Протеолитическая активность, (Эквиваленты L-лейцина, ммоль/мл)	Антиоксидантная активность (ORAC), мкмоль ТЭ/мл
0	6,40 ± 0,12	2,72 ± 0,21	217,17 ± 16
24	5,37 ± 0,15	3,29 ± 0,24	256,31 ± 22
48	4,13 ± 0,10	7,57 ± 0,38	598,48 ± 21
72	3,87 ± 0,11	9,86 ± 0,25	746,21 ± 26

Э2. В последующие 24 часа наблюдается статистически значимое увеличение антиоксидантной активности ($598,48 \pm 21$) на фоне повышения количества эквивалентов L-лейцина ($7,57 \pm 0,38$). Бесклеточные фракции, полученные через 72 ч культивирования *P. shermanii* Э2 обладали наибольшей антиоксидантной активностью, которая составила ($746,21 \pm 26$) мкмоль ТЭ. Протеолитическая активность также увеличилась и составила ($9,86 \pm 0,25$) ммоль L-лейциновых эквивалентов.

Содержание органических кислот

Данные по содержанию пропионовой, уксусной и янтарной кислот представлены в Таблице 2.

Показано, что в бесклеточном супернатанте *P. shermanii* Э2 содержание органических кислот увеличивается в процессе культивирования штамма. Так, через 24 ч содержание пропионовой кислоты

Таблица 2

Содержание органических кислот в бесклеточном супернатанте в зависимости от продолжительности накопления метаболитов штаммом *P. shermanii* Э2

Продолжительность, ч	Содержание органических кислот, мг/дм ³		
	Пропионовая	Уксусная	Янтарная
0	<0,1	105,0 ± 8	<0,1
24	1465,0 ± 57	434,0 ± 16	120,0 ± 8
48	3940,0 ± 138	1051,0 ± 31	190,0 ± 8
72	4858,0 ± 173	1542,0 ± 44	338,0 ± 11

(пропионатов) в бесклеточном супернатанте составило ($1465,0 \pm 57$) мг/дм³, а уксусной (ацетатов) — ($434,0 \pm 16$) мг/дм³. При дальнейшем культивировании их содержание увеличивалось и через 72 ч составило ($4858,0 \pm 173$) мг/дм³ и ($1542,0 \pm 44$) мг/дм³ соответственно.

Установлено, что кроме пропионовой и уксусной кислоты, обладающих антимикробными свойствами, в бесклеточном супернатанте присутствует янтарная кислота, содержание которой через 72 ч культивирования штамма составляет ($338,0 \pm 11$) мг/дм³.

Определение содержания витамина В₁₂

Данные по определению содержания витамина В₁₂ в бесклеточных супернатантах в зависимости от продолжительности культивирования *P. shermanii* Э2 представлены в Таблице 3.

Таблица 3

Содержание витамина В₁₂ в бесклеточном супернатанте

Продолжительность, ч	Содержание витамина В ₁₂ , мкг/дм ³
0	<0,01
24	2,30 ± 0,03
48	2,54 ± 0,03
72	3,67 ± 0,05

В бесклеточном супернатанте *P. shermanii* Э2 определено наличие витамина В₁₂, содержание которого зависит от продолжительности культивирования штамма. Так, в полученных супернатантах через 24 ч и 48 ч культивирования *P. shermanii* Э2 содержание витамина В₁₂ различается незначительно и составляет (2,30–2,54) мкг/дм³. В бесклеточном супернатанте, полученном через 72 ч культивирования *P. shermanii* Э2 содержание витамина В₁₂ составляет ($3,67 \pm 0,05$) мкг/дм³.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Способность микроорганизмов высвобождать функциональные ферменты проявляется штаммозависимым образом, и имеет важное значение в оздоравливающем действии на организм (Indira et al., 2019). Активность ферментов у микроорга-

низмов играет значительную роль. Так, протеазная активность приводит к производству различных биологически активных пептидов, а гликозилгидролазная активность способствует повышению биодоступности растительных полисахаридов и т.д. (Begunova et al., 2021). Полученные в этом исследовании результаты показывают, что штамм *P. shermanii* Э2 обладает выраженной и разнообразной гликозилгидролазной активностью. Известно, что гликозилгидролазная активность повышает доступность растительных полисахаридов (Cockburn & Koropatkin, 2016), а активность протеаз и пептидаз приводит к образованию биологически активных пептидов (Korhonen, 2009). Учитывая то, что гликозил-гидролазы отсутствуют или недостаточно активны у человека, данный штамм может быть использован в составе заквасок для кисломолочных продуктов и для получения постбиотиков.

Протеолитическая активность бактерий проявляется в зависимости от содержания протеиназ, а антиоксидантные свойства связаны с синтезом биоактивных пептидов в процессе культивирования штамма. Эти активности являются штаммоспецифичными свойствами (Raveschot et al., 2018). Текущее исследование показывает положительную динамику увеличения протеолитической и антиоксидантной активностей. Увеличение антиоксидантной активности соответствовало изменению степени протеолиза, что свидетельствует о продукции пептидов ферментами *P. shermanii* Э2. Поскольку у штамма *P. shermanii* Э2 не обнаружено активности трипсина в профиле ферментативной активности, наблюдаемое повышение протеолитической активности можно частично обосновать кислотным гидролизом белков и возможным действием некоторых внутриклеточных аминопептидаз, которые высвобождаются при лизисе клеток, что подтверждается исследованиями (Zhang et al., 2020). Полученные результаты по протеолитической и антиоксидантной активности постбиотиков на основе *P. shermanii* Э2 сопоставимы с данными для пробиотических штаммов *Lactobacillus* (Izuddin et al., 2020).

Важным фактором, определяющим пробиотический потенциал штаммов, является их антимикробная активность, которая связана с производством определенных метаболитов. В ранее проведенных исследованиях продемонстрировано,

что *P. shermanii* Э2 обладает антагонистической активностью по отношению к *E. coli* B-125 и *S. aureus* ATCC 6538 (Бегунова & Рожкова, 2021). Текущее исследование подтверждает, что бесклеточный супернатант содержит органические кислоты — пропионовую, уксусную и янтарную, которые могут ингибировать рост условно-патогенных и патогенных микроорганизмов. Антибактериальные свойства этих органических кислот подтверждается в исследованиях Wang et al. (Wang et al., 2020). В опубликованных исследованиях показано, что пропионат обладает не только антибактериальными эффектами, но и иммуномодулирующими (Arpaia et al. 2013), противоопухолевыми (Cousin et al., 2012), антиатеросклеротическими эффектами (Bush & Milligan, 1971). Обнаруженная в этом исследовании янтарная кислота, образует производные с антиоксидантным действием (Nowak et al., 2008). Также сообщалось, что янтарная кислота обладает кардиоопротекторным, антитромботическим, противовоспалительным и антибактериальным эффектом (Wang et al., 2020).

Известно, что источниками витамина В₁₂ в рационе человека являются молоко и молочные продукты, яйца, мясо, птица, рыба, ракообразные и мясные субпродукты (Piwowarek et al., 2018). Витамин В₁₂ может синтезироваться бактериальными клетками, в том числе микроорганизмами пищеварительного тракта человека. *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermani* является единственным производителем витамина В₁₂, который имеет статус GRAS (EFSA, 2013, р. 3449) и синтезируется как кофактор ферментации пропионовой кислоты. Данные полученные в нашем исследовании по содержанию витамина В₁₂ сопоставимы с результатами Gardner (Gardner & Champagne, 2005). Представленные в научной литературе данные показывают, что увеличить биосинтез витамина В₁₂ можно оптимизировав состав среды культивирования пропионовокислых бактерий, в частности, обогатив её предшественником витамина В₁₂ (Murooka et al., 2005).

Полученные данные о пробиотических свойствах бесклеточных супернатантов *P. shermanii* Э2 имеют большое значение с точки зрения использования данного штамма для получения постбиотиков.

ВЫВОДЫ

В настоящей работе проведена систематическая оценка *in vitro* потенциала *P. shermanii* Э2 для использования при получении постбиотиков. Результаты определения ферментативной, протеолитической и антиоксидантной активностей, содержания органических кислот и витамина B_{12} в бесклеточных супернатантах, полученных при культивировании *P. shermanii* Э2 подтверждают наличие пробиотического потенциала у данного штамма. Установлено, что штамм обладает выраженной аминопептидазной активностью, высокой активностью кислой фосфатазы, α -галактозидазы и β -галактозидазы. Показана положительная динамика изменения протеолитической и антиоксидантной активностей бесклеточных супернатантов, полученных в процессе культивирования *P. shermanii* Э2. Бесклеточные супернатанты, полученные через 72 ч культивирования *P. shermanii* Э2 обладали наибольшей антиоксидантной активностью, которая составила $(746,21 \pm 26)$ мкмоль ТЭ. Выявлено наличие пропионовой, уксусной и янтарной кислот в бесклеточных супернатантах, содержание которых через 72 ч составило $(4858,0 \pm 173)$ мг/дм³, $(1542,0 \pm 44)$ мг/дм³ и $(338,0 \pm 11)$ мг/дм³ соответственно. Наиболь-

шее содержание витамина B_{12} определено в бесклеточном супернатанте, полученном через 72 ч культивирования *P. shermanii* Э2 и составило $(3,67 \pm 0,05)$ мкг/дм³. Пробиотические свойства связаны с образованием полезных метаболитов, поэтому проведенные исследования позволяют сделать вывод, что штамм *P. shermanii* Э2 обладает пробиотическим потенциалом для использования при получении постбиотиков. Применение постбиотиков при производстве продуктов питания в качестве функциональных ингредиентов будет способствовать появлению новых специализированных продуктов для различных групп населения и расширению рынка функциональных продуктов.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Бегунова А. В.: Концептуализация, разработка методологии исследования, проведение исследования, визуализация данных, написание и редактирование рукописи.

Жижин Н. А.: Разработка методологии исследования, проведение исследования, валидация данных, написание.

ЛИТЕРАТУРА

- Бегунова, А. В., & Рожкова, И. В. (2021). Оценка антагонистической активности пропионовокислых бактерий и ассоциаций с их использованием. В *Актуальные направления научных исследований: Технологии, качество и безопасность: Сборник материалов II Национальной (Всероссийской) конференции ученых в рамках III международного симпозиума «Иновации в пищевой биотехнологии»* (с. 28–30). Кемерово: Кемеровский государственный университет.
- Донская, Г. А., & Дрожжин, В. М. (2020). Биологически активные ингредиенты в кисломолочных продуктах. *Переработка молока*, (7), 20–23. <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2020-07-20-23>
- Зобкова, З. С., & Фурсова, Т. П. (2020). Разработка инновационных технологий кисломолочных продуктов адаптационной направленности. *Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством*, 1(1), 205–214. <https://doi.org/10.37442/978-5-6045854-1-8-2020-1-205-214>
- Зобкова, З. С., Лазарева, Е. Г., & Шелагинова, И. Р. (2021). Выбор ингредиентов с антиоксидантными свойствами для функциональных кисломолочных продуктов. *Молочная промышленность*, (6), 48–49. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-06-48-49>
- Коростелева, М. М., & Агаркова, Е. Ю. (2020). Принципы обогащения пищевых продуктов функциональными ингредиентами. *Молочная промышленность*, 11, 6–8. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-11-6-8>
- Файзуллина, Р. А., Самороднова, Е. А., & Федотова, О. Б. (2019). Кисломолочные продукты в питании детей раннего возраста: эволюция от традиционных к функциональным. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*, 64(4), 133–140. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2019-64-4-133-140>
- Adler-Nissen, J. (1979). Determination of the degree of hydrolysis of food protein hydrolysates by trinitrobenzenesulfonic acid. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 27(6), 1256–1262. <https://doi.org/10.1021/jf60226a042>
- Arpaia, N., Campbell, C., Fan, X., Dikiy, S., van der Veeken, J., deRoos, P., Pfeffer, K., Coffer, P. J., & Rudensky, A. Y. (2013). Metabolites produced by commensal bacteria promote peripheral regulatory T-cell generation. *Nature*, 504, 451–455. <https://doi.org/10.1038/nature12726>
- Begunova, A. V., Rozhkova, I. V., Glazunova, O. A., Moiseenko, K. V., Savinova, O. S., & Fedorova, T. V. (2021). Fermentation Profile and Probiotic-Related Characteristics of *Bifidobacterium longum* MC-42. *Fermentation*, 7(3), 101. <https://doi.org/10.3390/fermentation7030101>

- Bush, R. S., & Milligan, L. P. (1971). Study of the mechanism of inhibition of ketogenesis by propionate in bovine liver. *Canadian Journal of Animal Science*, 51(1), 121–127. <https://doi.org/10.4141/cjas71-016>
- Cockburn, D. W., & Koropatkin, N. M. (2016). Polysaccharide degradation by the intestinal microbiota and its influence on human health and disease. *Journal of Molecular Biology*, 428(16), 3230–3252. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2016.06.021>
- Cousin, F. J., Jouan-Lanhuet, S., Dimanche-Boitrel, M. T., Corcos, L., & Jan, G. (2012). Milk fermented by *Propionibacterium freudenreichii* induces apoptosis of HGT-1 human gastric cancer cells. *PLoS One*, 7(3), Article e31892. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031892>
- Cousin, F. J., Mater, D. D., Foligné, B., & Jan, G. (2011). Dairy propionibacteria as human probiotics: a review of recent evidence. *Dairy Science & Technology*, 91(1), 1–26. <https://doi.org/10.1051/dst/2010032>
- EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ). (2013). Scientific Opinion on the maintenance of the list of QPS biological agents intentionally added to food and feed (2013 update). *EFSA Journal*, 11(11), Article 3449. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3449>
- Gardner, N., & Champagne, C. P. (2005). Production of *Propionibacterium shermanii* biomass and vitamin B12 on spent media. *Journal of Applied Microbiology*, 99(5), 1236–1245. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02696.x>
- Hugenholz, J., Hunik, J., Santos, H., & Smid, E. (2002). Nutraceutical production by propionibacteria. *Le Lait*, 82(1), 103–112. <https://doi.org/10.1051/LAIT:2001009>
- Indira, M., Venkateswarulu, T. C., Abraham Peele, K., Bobby, N., & Krupanidhi, S. (2019). Bioactive molecules of probiotic bacteria and their mechanism of action: A review. *Biotech*, 9(8), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1841-2>
- Izuddin, W. I., Humam, A. M., Loh, T. C., Foo, H. L., & Sam-sudin, A. A. (2020). Dietary postbiotic *Lactobacillus plantarum* improves serum and ruminal antioxidant activity and upregulates hepatic antioxidant enzymes and ruminal barrier function in post-weaning lambs. *Antioxidants*, 9(3), 250. <https://doi.org/10.3390/antiox9030250>
- Korhonen, H. (2009). Milk-derived bioactive peptides: From science to applications. *Journal of Functional Foods*, 1(2), 177–187. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2009.01.007>
- Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., & Hutkins, R. (2017). Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>
- Molina-Tijeras, J. A., Gálvez, J., & Rodríguez-Cabezas, M. E. (2019). The immunomodulatory properties of extracellular vesicles derived from probiotics: a novel approach for the management of gastrointestinal diseases. *Nutrients*, 11(5), 1038. <https://doi.org/10.3390/nu11051038>
- Murooka, Y., Piao, Y., Kiatpapan, P., & Yamashita, M. (2005). Production of tetrapyrrole compounds and vitamin B12 using genetically engineering of *Propionibacterium freudenreichii*. An overview. *Le Lait*, 85(1–2), 9–22. <https://doi.org/10.1051/LAIT:2004035>
- Nishiyama, K., Takaki, T., Sugiyama, M., Fukuda, I., Aiso, M., Mukai, T., Odamaki, T., Xiao, J.-Z., Osawa, R., & Okada, N. (2020). Extracellular vesicles produced by *Bifidobacterium longum* export mucin-binding proteins. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(19), Article e01464–20. <https://doi.org/10.1128/AEM.01464-20>
- Nowak, G., Clifton, G. L., & Bakajsova, D. (2008). Succinate ameliorates energy deficits and prevents dysfunction of complex I in injured renal proximal tubular cells. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 324(3), 1155–1162. <https://doi.org/10.1124/jpet.107.130872>
- Piwowarek, K., Lipińska, E., Hać-Szymańczuk, E., Kieliszek, M., & Ścibisz, I. (2018). *Propionibacterium* spp. — source of propionic acid, vitamin B12, and other metabolites important for the industry. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(2), 515–538. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8616-7>
- Poluektova, E., Yunes, R., & Danilenko, V. (2021). The putative antidepressant mechanisms of probiotic bacteria: relevant genes and proteins. *Nutrients*, 13(5), 1591. <https://doi.org/10.3390/nu13051591>
- Rabah, H. (2017). Luiz Rosa do Carmo F. Jan G. Dairy Propionibacteria: Versatile Probiotics. *Microorganisms*, 5, 24. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5020024>
- Raveschot, C., Cudennec, B., Coutte, F., Flahaut, C., Fremont, M., Drider, D., & Dhulster, P. (2018). Production of bioactive peptides by *Lactobacillus* species: from gene to application. *Frontiers in Microbiology*, 9, 2354. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02354>
- Rezac, S., Kok, C. R., Heermann, M., & Hutkins, R. (2018). Fermented foods as a dietary source of live organisms. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1785. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01785>
- Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M., Sanders, M. E., Shamir, R., Swann, J. R., Szajewska, H., & Vinderola, G. (2021). The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18(9), 649–667. <https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6>
- Tagliazucchi, D., Martini, S., & Solieri, L. (2019). Bioprospecting for bioactive peptide production by lactic acid bacteria isolated from fermented dairy food. *Fermentation*, 5(4), 96. <https://doi.org/10.3390/fermentation5040096>
- Todorov, S. D., Tagg, J. R., & Ivanova, I. V. (2021). Could Probiotics and Postbiotics Function as “Silver Bullet” in the Post-COVID-19 Era? *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 13(6), 1499–1507. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09833-0>
- Vorobjeva, L. I., Khodjaev, E. Y., & Vorobjeva, N. V. (2008). Propionic acid bacteria as probiotics. *Microbial Ecology in Health and Disease*, 20(2), 109–112. <https://doi.org/10.1080/08910600801994954>
- Wang, H., Xia, B., Lin, M., Wang, Y., Sun, B., & Li, Y. (2020). Succinic acid inhibits the activity of cytochrome P450

- (CYP450) enzymes. *Pharmaceutical Biology*, 58(1), 1159–1164. <https://doi.org/10.1080/13880209.2020.1839110>
- Zárate, G. (2012). Dairy Propionibacteria: Less conventional probiotics to improve human and animal health. In E. Rigobelo (Ed.). *Probiotics in Animals* (pp. 153–202). In-techOpen. <https://doi.org/10.5772/50320>

- Zhang, C., Zhang, Y., Li, H., & Liu, X. (2020). The potential of proteins, hydrolysates and peptides as growth factors for Lactobacillus and Bifidobacterium: Current research and future perspectives. *Food & Function*, 11(3), 1946–1957. <https://doi.org/10.1039/c9fo02961c>

REFERENCES

- Begunova, A. V., & Rozhkova, I. V. (2021). Otsenka antagonistskoi aktivnosti propionovokislykh bakterii i assotsiatii s ikh ispol'zovaniem [Evaluation of the antagonistic activity of propionic acid bacteria and associations with their use]. In *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovanii: Tekhnologii, kachestvo i bezopasnost': Sbornik materialov II Natsional'noi (Vserossiiskoi) konferentsii uchenykh v ramkakh III mezhdunarodnogo simpoziuma "Innovatsii v pishchevoi biotekhnologii"* [Actual directions of scientific research: Technology, quality and safety: Collection of materials of the 2nd National (All-Russian) conference of scientists in the framework of the 3rd international symposium "Innovations in food biotechnology"] (pp. 28–30). Kemerovo: Kemerovskii gosudarstvennyi universitet.
- Donskaya, G. A., & Drozhzhin, V. M. (2020). Biologicheski aktivnye ingredienty v kislomolochnykh produktakh [Biologically active ingredients in dairy products]. *Pererabotka moloka [Milk Processing]*, (7), 20–23. <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2020-07-20-23>
- Faizullina, R. A., Samorodnova, E. A., & Fedotova, O. B. (2019). Kislomolochnye produkty v pitanii detei rannego vozrasta: evolyutsiya ot traditsionnykh k funktsional'nym [Fermented milk products in the nutrition of young children: evolution from traditional to functional]. *Rossiiskii vestnik perinatologii i pediatrii [Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics]*, 64(4), 133–140. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2019-64-4-133-140>
- Korosteleva, M. M., & Agarkova, E. Yu. (2020). Printsipy obogashcheniya pishchevykh produktov funktsional'nyimi ingredientami [Principles of Food Fortification with Functional Ingredients]. *Molochnaya promyshlennost' [Dairy Industry]*, 11, 6–8. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-11-6-8>
- Zobkova, Z. S., & Fursova, T. P. (2020). Razrabotka innovatsionnykh tekhnologii kislomolochnykh produktov adaptogennoi napravленности [Development of innovative technologies for fermented milk products of adaptogenic orientation]. *Aktual'nye voprosy molochnoi promyshlennosti, mezhotraslevye tekhnologii i sistemy upravleniya kachestvom* [Actual issues of the dairy industry, cross-industry technologies and quality management systems], 1(1), 205–214. <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-205-214>
- Zobkova, Z. S., Lazareva, E. G., & Shelaginova, I. R. (2021). Vybor ingredientov s antioksidantnymi svoistvami dlya funktsional'nykh kislomolochnykh produktov [The choice of ingredients with antioxidant properties for functional fermented milk products]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy Industry], (6), 48–49. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-06-48-49>
- Adler-Nissen, J. (1979). Determination of the degree of hydrolysis of food protein hydrolysates by trinitrobenzenesulfonic acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 27(6), 1256–1262. <https://doi.org/10.1021/jf60226a042>
- Arpaia, N., Campbell, C., Fan, X., Dikiy, S., van der Veeken, J., deRoos, P., Pfeffer, K., Coffer, P. J., & Rudensky, A. Y. (2013). Metabolites produced by commensal bacteria promote peripheral regulatory T-cell generation. *Nature*, 504, 451–455. <https://doi.org/10.1038/nature12726>
- Begunova, A. V., Rozhkova, I. V., Glazunova, O. A., Moiseenko, K. V., Savinova, O. S., & Fedorova, T. V. (2021). Fermentation Profile and Probiotic-Related Characteristics of Bifidobacterium longum MC-42. *Fermentation*, 7(3), 101. <https://doi.org/10.3390/fermentation7030101>
- Bush, R. S., & Milligan, L. P. (1971). Study of the mechanism of inhibition of ketogenesis by propionate in bovine liver. *Canadian Journal of Animal Science*, 51(1), 121–127. <https://doi.org/10.4141/cjas71-016>
- Cockburn, D. W., & Koropatkin, N. M. (2016). Polysaccharide degradation by the intestinal microbiota and its influence on human health and disease. *Journal of Molecular Biology*, 428(16), 3230–3252. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2016.06.021>
- Cousin, F. J., Mater, D. D., Foligné, B., & Jan, G. (2011). Dairy propionibacteria as human probiotics: a review of recent evidence. *Dairy Science & Technology*, 91(1), 1–26. <https://doi.org/10.1051/dst/2010032>
- Cousin, F. J., Jouan-Lanhouet, S., Dimanche-Boitrel, M. T., Corcos, L., & Jan, G. (2012). Milk fermented by Propionibacterium freudenreichii induces apoptosis of HGT-1 human gastric cancer cells. *PloS One*, 7(3), Article e31892. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031892>
- EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ). (2013). Scientific Opinion on the maintenance of the list of QPS biological agents intentionally added to food and feed (2013 update). *EFSA Journal*, 11(11), Article 3449. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3449>
- Gardner, N., & Champagne, C. P. (2005). Production of Propionibacterium shermanii biomass and vitamin B12 on spent media. *Journal of Applied Microbiology*, 99(5), 1236–1245. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02696.x>
- Hugenholtz, J., Hunik, J., Santos, H., & Smid, E. (2002). Nutraceutical production by propionibacteria. *Le Lait*, 82(1), 103–112. <https://doi.org/10.1051/LAIT:2001009>

- Indira, M., Venkateswarulu, T. C., Abraham Peele, K., Bobby, N., & Krupanidhi, S. (2019). Bioactive molecules of probiotic bacteria and their mechanism of action: A review. *Biotech*, 9(8), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1841-2>
- Izuddin, W. I., Humam, A. M., Loh, T. C., Foo, H. L., & Sam-sudin, A. A. (2020). Dietary postbiotic *Lactobacillus plantarum* improves serum and ruminal antioxidant activity and upregulates hepatic antioxidant enzymes and ruminal barrier function in post-weaning lambs. *Antioxidants*, 9(3), 250. <https://doi.org/10.3390/antiox9030250>
- Korhonen, H. (2009). Milk-derived bioactive peptides: From science to applications. *Journal of Functional Foods*, 1(2), 177–187. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2009.01.007>
- Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., & Hutkins, R. (2017). Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>
- Molina-Tijeras, J. A., Gálvez, J., & Rodríguez-Cabezas, M. E. (2019). The immunomodulatory properties of extracellular vesicles derived from probiotics: a novel approach for the management of gastrointestinal diseases. *Nutrients*, 11(5), 1038. <https://doi.org/10.3390/nu11051038>
- Murooka, Y., Piao, Y., Kiatpapan, P., & Yamashita, M. (2005). Production of tetrapyrrole compounds and vitamin B12 using genetically engineering of *Propionibacterium freudenreichii*. An overview. *Le Lait*, 85(1–2), 9–22. <https://doi.org/10.1051/LAIT:2004035>
- Nishiyama, K., Takaki, T., Sugiyama, M., Fukuda, I., Aiso, M., Mukai, T., Odamaki, T., Xiao, J.-Z., Osawa, R., & Okada, N. (2020). Extracellular vesicles produced by *Bifidobacterium longum* export mucin-binding proteins. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(19), Article e01464–20. <https://doi.org/10.1128/AEM.01464-20>
- Nowak, G., Clifton, G. L., & Bakajsova, D. (2008). Succinate ameliorates energy deficits and prevents dysfunction of complex I in injured renal proximal tubular cells. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 324(3), 1155–1162. <https://doi.org/10.1124/jpet.107.130872>
- Piwowarek, K., Lipińska, E., Hać-Szymańczuk, E., Kieliszek, M., & Ścibisz, I. (2018). *Propionibacterium* spp. — source of propionic acid, vitamin B12, and other metabolites important for the industry. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(2), 515–538. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8616-7>
- Poluektova, E., Yunes, R., & Danilenko, V. (2021). The putative antidepressant mechanisms of probiotic bacteria: relevant genes and proteins. *Nutrients*, 13(5), 1591. <https://doi.org/10.3390/nu13051591>
- Rabah, H. (2017). Luiz Rosa do Carmo F. Jan G. Dairy Propionibacteria: Versatile Probiotics. *Microorganisms*, 5, 24. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5020024>
- Raveschot, C., Cudennec, B., Coutte, F., Flahaut, C., Fremont, M., Drider, D., & Dhulster, P. (2018). Production of bioactive peptides by *Lactobacillus* species: from gene to application. *Frontiers in Microbiology*, 9, 2354. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02354>
- Rezac, S., Kok, C. R., Heermann, M., & Hutkins, R. (2018). Fermented foods as a dietary source of live organisms. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1785. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01785>
- Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M., Sanders, M. E., Shamir, R., Swann, J. R., Szajewska, H., & Vinderola, G. (2021). The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18(9), 649–667. <https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6>
- Tagliazucchi, D., Martini, S., & Solieri, L. (2019). Bioprospecting for bioactive peptide production by lactic acid bacteria isolated from fermented dairy food. *Fermentation*, 5(4), 96. <https://doi.org/10.3390/fermentation5040096>
- Todorov, S. D., Tagg, J. R., & Ivanova, I. V. (2021). Could Probiotics and Postbiotics Function as “Silver Bullet” in the Post-COVID-19 Era? *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 13(6), 1499–1507. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09833-0>
- Vorobjeva, L. I., Khodjaev, E. Y., & Vorobjeva, N. V. (2008). Propionic acid bacteria as probiotics. *Microbial Ecology in Health and Disease*, 20(2), 109–112. <https://doi.org/10.1080/08910600801994954>
- Wang, H., Xia, B., Lin, M., Wang, Y., Sun, B., & Li, Y. (2020). Succinic acid inhibits the activity of cytochrome P450 (CYP450) enzymes. *Pharmaceutical Biology*, 58(1), 1159–1164. <https://doi.org/10.1080/13880209.2020.1839110>
- Zárate, G. (2012). Dairy Propionibacteria: Less conventional probiotics to improve human and animal health. In E. Rigobelo (Ed.). *Probiotics in Animals* (pp. 153–202). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/50320>
- Zhang, C., Zhang, Y., Li, H., & Liu, X. (2020). The potential of proteins, hydrolysates and peptides as growth factors for *Lactobacillus* and *Bifidobacterium*: Current research and future perspectives. *Food & Function*, 11(3), 1946–1957. <https://doi.org/10.1039/c9fo02961c>

УДК 579.2: 606: 573.6: 575

- ¹ Московский государственный университет пищевых производств, г. Москва, Российская Федерация
² Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова, г. Москва, Российская Федерация
³ Московский государственный университет технологий и управления, г. Москва, Российская Федерация им. К.Г. Разумовского»

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Машенцева Наталья Геннадьевна
 Адрес: 125080, г. Москва,
 Волоколамское шоссе, д.11
 Email: natali-mng@yandex.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:
 данные текущего исследования
 доступны по запросу
 у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
 Коврижных, А. В., Афанасьев, Д. А.,
 Ахангаран, М., Гаравари, М., Чернуху, И. М., Машенцева, Н. Г., & Василиевич, Н. В. (2022). Определение протеолитической активности молочнокислых бактерий и выявление генов протеиназ. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 113–127. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.341>

ПОСТУПИЛА: 23.08.2022

ПРИНЯТА: 03.10.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 14.10.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
 авторы сообщают об отсутствии
 конфликта интересов.



Определение протеолитической активности молочнокислых бактерий и выявление генов протеиназ

А. В. Коврижных¹, Д. А. Афанасьев², М. Ахангаран¹, М. Гаравари¹,
 М. Чернуха², Н. Г. Машенцева¹, Н. В. Василиевич³

АННОТАЦИЯ

Введение. Биоактивные пептиды описываются как аминокислотные последовательности белков, оказывающие положительное влияние на биологические процессы и/или здоровье человека в целом. Они могут образовываться в высокобелковом животном и растительном сырье под действием ферментов стартовых и заквасочных культур *in situ*. Данные ферменты представляют собой протеиназы с молекулярной массой около 200 кДа, относящиеся к семейству PrtP.

Цель. Целью исследования являлось определение генов протеиназ у молочнокислых и денитрифицирующих микроорганизмов, оценка их протеолитической активности и определение взаимосвязи между протеолитической активностью и генетическими детерминантами.

Материалы и методы. Был оценен протеолитический потенциал микроорганизмов родов *Latilactobacillus* и *Pediococcus*, а также рода *Staphylococcus* из коллекции университета. Метод ТНБС использовался для измерения высвобождаемых аминогрупп. На агаровой среде с обезжиренным молоком были определены размеры зон просветления вокруг колоний микроорганизмов. Для определения наличия генов PRTP, PRTM, PRTB, PRTH и PRTR, отвечающих за протеолитическую активность, использовали 5 пар праймеров геномной ДНК (PrtP700/PrtM700; P15C/P06C; PRTB10/PRTB20; Jp23/Jp25; prti2/IP6Xba).

Результаты. На молочном агаре все исследуемые микроорганизмы образовывали зоны просветления вокруг колоний, что указывает на их протеолитическую активность. Самые большие зоны задержки роста были вокруг колоний штамма *Latilactobacillus curvatus* 2, а также *Pediococcus acidilactici* 28 и *Pediococcus acidilactici* 38. По данным метода ТНБС, *Latilactobacillus curvatus* 1 и *Staphylococcus carnosus* 108 оказались наименее продуктивными по накоплению аминного азота. Результаты ПЦР показали, что максимальное количество генов протеиназ присутствует у штамма *L. sakei* 105. Но данный штамм не проявил высокой протеолитической активности на среде качественным и количественным методами. Поэтому для отбора штаммов с высокой протеолитической активностью нужен комплексный подход.

Выводы. С помощью комплексного подхода были отобраны штаммы с высокой протеолитической активностью, потенциально способные к образованию биоактивных пептидов в ферментированных пищевых продуктах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

биоактивные пептиды, нутовое молоко, молочнокислые бактерии, протеолитическая активность, гены протеиназ

Determination of the Proteolytic Activity of Lactic Acid Bacteria and Identification of Proteinase Genes

¹ Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation

² Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russian Federation

³ K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management, Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Natalya G. Mashentseva

11 Volokolamskoe highway,
Moscow, 125080, Russian Federation
Email: natali-mng@yandex.ru

FOR CITATIONS:

Kovrijhnykh, A. V., Afanasyev, D. A., Ahangaran, M., Gharaviri, M., Chernukha, I. M., Mashentseva, N. G., & Vasilievich N. V. Determination of the proteolytic activity of lactic acid bacteria and identification of proteinase genes. *Storage and processing of Farm Products*, (4), 113–127 <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.341>

RECEIVED: 23.08.2022

ACCEPTED: 03.10.2022

PUBLISHED: 14.10.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction. Bioactive peptides are described as amino acid sequences of proteins that have a positive effect on biological processes and/or human health in general. They can be formed in high-protein animal and vegetable raw materials under the action of enzymes of starter and starter cultures *in situ*. These enzymes are proteinases with a molecular weight of about 200 kDa belonging to the PrtP family.

Purpose. The aim of the study was to determine the genes of proteinases in lactic acid and denitrifying microorganisms, to evaluate their proteolytic activity and to determine the relationship between proteolytic activity and genetic determinants.

Materials and Methods. The proteolytic potential of microorganisms of the genera *Latilactobacillus* and *Pediococcus*, as well as the genus *Staphylococcus* from the university collection was evaluated. The TNBS method was used to measure the released amino groups. The sizes of the enlightenment zones around the colonies of microorganisms were determined by the cup method on milk agar. 5 pairs of genomic DNA primers (PrtP700/PrtM700; P15C/P06C; PRTB10/PRTB20; Jp23/Jp25; prti2/IP6Xba) were used to determine the presence of PRTP, PRTM, PRTB, PRTH and PRTR genes responsible for proteolytic activity.

Results. On milk agar, all the studied microorganisms formed zones of enlightenment around the colonies, which indicates their proteolytic activity. The largest growth retardation zones were around colonies of the strain *Latilactobacillus curvatus* 2, as well as *Pediococcus acidilactici* 28 and *Pediococcus acidilactici* 38. According to the TNBS method, *Latilactobacillus curvatus* 1 and *Staphylococcus carnosus* 108 were the least productive in amine nitrogen accumulation. PCR results showed that the maximum number of proteinase genes is present in the strain *L. sakei* 105. But this strain did not show high proteolytic activity on the medium by qualitative and quantitative methods. Therefore, an integrated approach is needed to select strains with high proteolytic activity.

Conclusion. Using an integrated approach, strains with high proteolytic activity, potentially capable of forming bioactive peptides in fermented foods, were selected.

KEYWORDS

bioactive peptides, chickpea milk, lactic acid bacteria, proteolytic activity, proteolytic genes

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время пользуются спросом функциональные пищевые продукты, которые предназначены для потребления всеми возрастными группами. Продукты функционального назначения способны снизить риск возникновения различных заболеваний, связанных с питанием, и улучшить состояние здоровья людей за счет наличия в их составе физиологически активных компонентов (Li-Chan, 2015).

В последние годы возрос интерес к биоактивным пептидам, обладающим противомикробной, антигипертензивной, антиоксидантной, противораковой, иммуномодулирующей и противовоспалительной активностями (Ахангаран и соавт., 2022; Tonolo et al., 2019).

Среди прочих методов выделения биологически активных пептидов, особое внимание уделяют применению микроорганизмов, позволяющих использовать различные белоксодержащие субстраты в качестве источников таких пептидов. Большим потенциалом обладают молочнокислые бактерии (МКБ), т.к. ключевую роль в ферментации пищевых продуктов играет их протеолитическая система (Savijoki et al., 2006; Venegas-Ortega, 2019).

Однако, механизм образования биологически активных пептидов в пищевом сырье под действием МКБ на молекулярном уровне изучен недостаточно. Целью данного исследования явилось определение уровня протеолитической активности молочнокислых бактерий видов *Latilactobacillus curvatus*, *Latilactobacillus sakei*, *Pediococcus acidilactici* и денитрифицирующего стафилококка вида *Staphylococcus carnosus*, установление взаимосвязи протеолитической активности с их генетическими детерминантами.

Задачи исследования: (1) оценить протеолитическую активности исследуемых микроорганизмов биохимическим методом (чашечный метод с применением молочного агара); (2) определить гены протеиназ молекулярно-генетическим методом – полимеразной цепной реакцией и ДНК-электрофорезом; (3) определить протеолитическую активность исследуемых микроорганизмов методом ТНБС.

Теоретическое обоснование

Высвобождение биологически активных пептидов из продуктов может быть осуществлено несколькими путями (Korhonen & Pihlanto, 2003):

- (1) ферментативным гидролизом пищеварительными ферментами, такими как пепсин, трипсин, химотрипсин;
- (2) ферментативным гидролизом ферментами растительного происхождения, такими как папаин, бромелайн и фицин;
- (3) путем ферментации ферментами микробного происхождения.

В настоящее время широко применяются ферментация МКБ, которые используются в различных отраслях пищевой промышленности и сельском хозяйстве. В мясомолочной промышленности они применяются в качестве заквасок при производстве кисломолочных продуктов или в качестве стартовых культур при производстве ферментированных мясных продуктов. Помимо этого, МКБ способствуют увеличению сроков годности готовой продукции и улучшению ее вкусовых характеристик.

Жизнеспособность МКБ зависит от эффективности их протеолитической системы. В состав клеточной стенки входят протеиназы, которые играют важную роль в гидролизе олигопептидов в той питательной среде, в которой растут МКБ. Данные соединения транспортируются в бактериальную клетку с помощью специфической транспортной системы и распадаются до свободных аминокислот с помощью ряда пептидаз (Savijoki et al., 2006; Venegas-Ortega et al., 2019).

Например, первой ступенью гидролиза казеина является использование протеиназ клеточной стенки, которые катализируют расщепление пептидных связей. Эти протеиназы синтезируются в виде предшественников белков и содержат примерно 2000 а.о. (Chen et al., 2017). Из МКБ были клонированы и охарактеризованы различные протеиназы, включая PrtP из *Lactococcus lactis* и *Latilactobacillus paracasei*, PrtH из *L. helveticus*, PrtR из *Latilactobacillus rhamnosus* и PrtB из *L. bulgaricus* (Paštar, 2006; Guo, 2016).

Второй этап гидролиза казеина включает в себя транспортировку пептидов, генерируемых протеиназами клеточной стенки, с помощью Opp системы.

Белки данной системы относятся к суперсемейству АТФ-связывающих транспортеров, которые катализируют расщепление производных казеина. У лактококков, например, данная система находится в опероне, в котором присутствуют гены OppA (кодирует олигопептид-связывающий белок), OppB и OppC (субъединицы цитоплазматической мембранны), OppD и OppF (белки, связывающие нуклеотиды). После поглощения клеткой МКБ пептидов происходит их разрушение под действием пептидаз с различной и частично перекрывающейся специфичностью (Savijoki et al., 2006).

Другими пептидазами, способными действовать на олигопептиды, являются металло-пептидаза с широкой специфичностью PepN и цистеинпептидазные белки PepC, которые были выделены из различных штаммов молочнокислых бактерий. Данные ферменты способны отщеплять аминокислоты с N-конца, их специфичность зависит от длины пептида и природы N-концевого аминокислотного остатка. Существуют и более субстрат-специфичные пептидазы. Так, например, пептидаза PepA высвобождает N-концевые аминокислотные остатки из пептидов, состоящих из 3–9 остатков. Пептидаза PepP действует на трипептиды, содержащие пролин в среднем положении, а пептидаза PepQ способствует расщеплению дипептидов, содержащих пролин во втором положении. Пептидаза PepS в основном влияет на пептиды, состоящие из 2–5 аминокислотных остатков и содержащие остатки аргинина или ароматических аминокислот в N-концевом положении (Tuler et al., 2002).

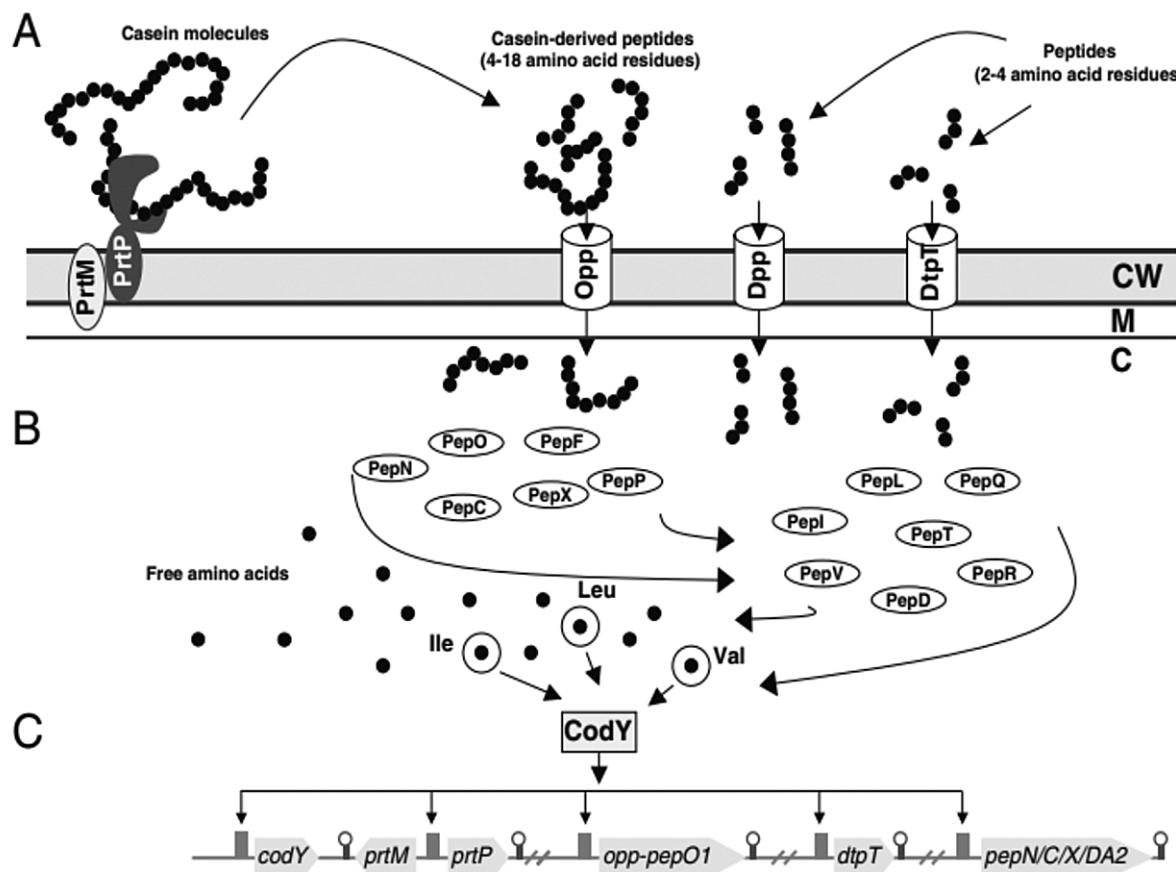
МКБ способны реагировать на доступность азота в среде, регулируя активность протеолитической системы для сохранения азотного баланса в клетке. Было высказано предположение, что ди- и трипептиды с гидрофобными остатками действуют как эффекторные молекулы в регуляции транскрипции Opp системы, и тем самым происходит воздействие на всю протеолитическую систему *Lactococcus lactis*. В более раннем исследовании было показано, что экспрессия генов *prtP*, *prtM*, *opp-pepO1*, *pepD*, *pepN*, *pepC* и *pepX* возрастает от 5 до 150 раз при добавлении гидролизата казеина, содержащего 80% пептидов и 20% аминокислот в ростовой среде, однако при недостатке азота наблюдалось значительное снижение экспрессии (Savijoki et al., 2006) (Рисунок 1).

Протеолитическая активность может варьироваться у одного и того же штамма и по-разному проявляться на различных питательных средах, что обусловлено специфичностью действия ферментов. При выращивании на молочном агаре гидролиз белков обнаруживается по наличию зон просветления вокруг колоний за счет разрушения преципитата — чем больше диаметр зоны просветления, тем выше протеолитическая активность микроорганизмов (Ковалев и соавт., 2019). При выращивании колоний на средах с желатином под действием фермента желатиназы происходит разжижение желатина с различной интенсивностью (Balan et al., 2012). Некоторые микроорганизмы обладают высокой протеолитической активностью, что способствует расщеплению белков и пептона до продуктов глубокого распада — индола, сероводорода и аммиака (Ashaolu et al., 2021). Определение протеолитической активности также осуществляется с помощью белкового электрофореза с использованием полиакриламидного геля (Biji et al., 2012). Эти методы относятся к биохимическим методам определения протеолитической активности микроорганизмов.

Для измерения концентрации белка также используются спектрофотометрические методы. Концентрация белка может быть измерена по методу Мэрион Брэдфорд. Данный метод основан на реакции красителя Coomassie G-250 с гидрофобными аминокислотными остатками белка. При связывании происходит сдвиг максимума поглощения с длины волны, равной 465 нм (свободный краситель), до 595 нм (связанный), при которой и проводятся все измерения (Mehmeti et al., 2011). Метод Е.Д. Каверзневой (1971) основан на взаимодействии молекулы казеина и трихлоруксусной кислоты (ТХУ) с реагентом Фолина. Оптическая плотность измеряется при длине волны 670 нм на фотоколориметре. Белок определяется спектрофотометрически, считая, что концентрация белка 1 мг/мл соответствует 1 оптической единице (опт. ед.) в кювете толщиной 1 см (Yugina et al., 2013). Метод, основанный на использовании 2,4,6-тринитробензолсульфоновой кислоты для определения аминного азота (ТНБС), позволяет определить хромофоры, образующиеся при взаимодействии первичных аминов и тринитробензолсульфоновой кислоты. Количество аминного азота определяется по калибровочной кривой (Babich, 2011). Протеолитическая активность вне клетки может определять-

Рисунок 1

Функционирование и регулирование протеолитической системы молочнокислых бактерий при гидролизе казеина



Примечание. Условные обозначения: CW – клеточная стенка, М – мембрана, С – цитоплазма. А – PrtP (протеиназа клеточной стенки – СЕР); Opp (пермеаза олигопептидов); Dpp (транспортер пептидов, содержит от 2 до 9 а.о.). В – внутриклеточные пептидазы (PepO, PepF, PepN, PepP – эндопептидазы широкой специфичности; PepC – цистеинпептидаза; PepX – X-пролидилди-пептидиламинопептидаза; PepT – трипептидаза; PepQ – пролидаза; PepR – пролиназа; Pep – пролиниминопептидаза; PepD и PepV – дипептидазы D и V. С – репрессор транскрипции CodY (при повышении внутреннего пула аминокислот лейцина, валина и изолейцина использует их в качестве кофакторов для репрессии экспрессии генов протеолитической системы).

Из «Proteolytic systems of lactic acid bacteria», by K. Savijoki, H. Ingmer, and P. Varmanen, 2006, Applied Microbiology and Biotechnology, 71, p. 399. (<https://doi.org/10.1007/s00253-006-0427-1>). Copyright 2006 by the Springer-Verlag

ся методом Эрлангера с использованием синтетических *n*-нитроанилидных субстратов. Субстраты включают в себя аналог пептидной связи, которая под действием пептидаз разрушается. Результатом является выделение *n*-нитроанилина, который окрашивает реакционную смесь в желтый цвет. Интенсивность окраски определяется при длине волны 410 нм с использованием спектрофотометра (Radnaguruev, 2015). Модифицированный метод Ансона основан на количественном определении тирозина, образующегося в результате гидролиза

казеината натрия. Результаты измерения оптической плотности исследуются по калибровочной кривой (ГОСТ 20264.2¹).

Флуоресцентный метод основан на взаимодействии флуоресцамина с первичными аминами, при этом образуются флуорофоры, характеризующиеся максимумами поглощения при 390 и 475 нм. Метод обладает достаточно высокой чувствительностью, что позволяет определить до 0,5 мкг белка.

¹ ГОСТ 20264.2-88. (2015). Препараты ферментные. Методы определения протеолитической активности. М.: Стандартинформ.

Для проведения анализа необходим прибор флуориметр (Bisswanger, 2015).

В связи с активным использованием в последнее время молекулярно-генетических методов исследования микроорганизмов, в т.ч. определения их протеолитического потенциала на основе наличия в их геноме детерминантов протеиназ, что подтверждается значительным количеством публикаций, представленных выше, является актуальным и интересным изучить взаимосвязь наличия и количества определенных генов протеиназ в геноме исследуемых микроорганизмов и их протеолитической активности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Молочнокислые бактерии *Latilactobacillus curvatus* 1 (B-8889), *Latilactobacillus curvatus* 2 (B-8893), *Latilactobacillus sakei* 105 (B-8932), *Pediococcus acidilactici* 28 (B-8955), *Pediococcus acidilactici* 38 (B-8888), и один денитрифицирующие стафилококк *Staphylococcus carnosus* 108 (B-8951), были получены из коллекции ФГБОУ ВО МГУПП. Ранее данные штаммы показали способность к образованию биологически активных пептидов в мясном сырье. В результате протеомного исследования образцов ферментированной мышечной ткани и сырокопченых колбас было

выявлено 3 пептида, представляющих интерес в отношении проявления биологической активности: SDEEVEHVEEEYEEEE (белок-предшественник — тропонин Т), TKQEYDEAGPSIVHRK (белок-предшественник — α -актин) и NAWGKVEADVAGHGQ (белок-предшественник — миоглобин). Биоинформационный анализ пептидов позволил спрогнозировать у них противоопухолевую и антимикробную активность, а также исключить их токсичность (Афанасьев и соавт., 2021).

Нут (*Cicer arietinum*), использованный в эксперименте, был приобретен на местном рынке, г. Москва.

Оборудование

Микропланшет фотометр-флуориметр Synergy2 (Bio Tek, США), амплификатор Eppendorf Mastercycler Gradient (Eppendorf, США), центрифуга 5702R (Eppendorf, Германия), водяная баня GFL (Германия).

Инструменты

При постановке ПЦР использовали 5 пар праймеров геномной ДНК для определения генов протеиназ, наиболее часто встречающихся у молочнокислых микроорганизмов (Strahinic et al., 2009). Список праймеров, использованных в работе, представлен в Таблице 1.

Таблица 1

Использованные в работе праймеры

Номер	Название	Температура отжига	Последовательность
1	PrtP700	56	GCTTGAATTCTGTTGCTGCGGTTGT
2	PrtM700	56	GCATGAATTCAATGCACGATAATGAG
3	P15C	55	AACCAAATCTGATGTTG
4	P06C	55	TTTCAGCGGAAGCAACT
5	PRTB10	56	GGTGGTGCCTGATGCCAGC
6	PRTB20	56	CCCCGTTAACAACTGCAAGTT
7	Jp23	56	GCTTGGATAGTAGCGTTAGC
8	Jp25	56	GGTGAACAAACTGAAGACG
9	prt12	53	CAACACCAGGACCACGGTG
10	IP6Xba	53	CTGATCGTGGACGGTGTGC

Методы

Определение протеолитической активности микроорганизмов на молочном агаре. Скрининговую среду готовили следующим образом: 25 г обезжиренного сухого молока (пастеризованное обезжиренное молоко, полученное методом распыления) восстанавливали 250 мл дистиллированной воды. Смесь тщательно перемешивали и автоклавировали при 121 °C в течение 15 мин. Аналогичным образом стерилизовали 500 мл 2,5 % раствора агара. Непосредственно перед посевом микроорганизмов обезжиренное молоко и агаровую среду выдерживали на водяной бане при 50 °C, затем обезжиренное молоко вносили в колбу с агаровой средой и тщательно перемешивали. Агар с обезжиренным молоком быстро разливали по чашкам Петри. На застывшую среду штаммы засевали отдельными бляшками с помощью бактериальной петли и культивировали при температуре 37 °C в течение 48 ч с последующим охлаждением в холодильнике при 4 °C в течение 36 ч. В качестве контроля использовали незасеянную микроорганизмами чашку Петри. В конце культивирования микроорганизмы формировали на данной среде колонии, окруженные белой или беловатой зоной преципитации, размер которой определялся визуально (Pailin et al. 2001).

Определение протеолитической активности методом ТНБС. Протеолитическую активность определяли количественно с использованием 2,4,6-тринитробензолсульфоновой кислоты (TNBS, «Sigma-Aldrich», США), которая применяется для измерения количества высвобождаемых аминогрупп в супернатантах (Adler-Nissen J., 1979). Реакцию с ТНБС проводили в фальконах объемом 15 мл. В фалькон вносили последовательно по 2 мл 0,2125 М натрий-фосфатного буфера, pH 8,20, 200 мкл 1% р-ра SDS, 50 мкл приготовленной пробы и 2 мл свежеприготовленного 0,1% водного раствора ТНБС. В фалькон с холостой пробой вносили 2 мл 0,2125 М натрий-фосфатного буфера, (pH = 8,20), 250 мкл 1% раствора додецилсульфата натрия и 2 мл свежеприготовленного 0,1% раствора 2,4,6-тринитробензолсульфоновой кислоты. В фальконы с различными концентрациями стандарта вносили 2 мл 0,2125 М натрий-фосфатного буфера (pH = 8,20), 250 мкл раствора стандарта, и 2 мл свежеприготовленного 0,1% раствора ТНБС. В качестве стандарта использовался L-лейцин («Sigma-Aldrich», США). Из базового раствора лей-

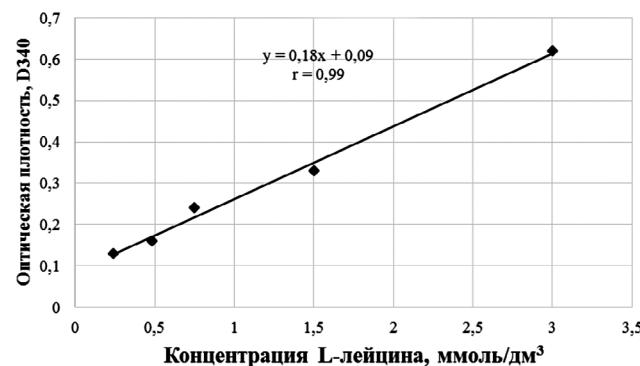
цина с концентрацией 3,0 ммоль/л в 1% р-ре SDS приготавливали серию разведений в 1% водном р-ре SDS с концентрациями L-лейцина в диапазоне значений 0,15–3,0 ммоль/л.

Фальконы с опытными, холостой и стандартными пробами плотно закрывали винтовыми пробками и встряхивали на вортексе PV1 (Grant Bio, Великобритания) в течение 10 с, затем инкубировали на водяной бане GFL (Германия) с непрозрачной крышкой при температуре (50±1) °C в течение 1 ч. По завершении инкубации для остановки реакции в каждый фалькон вносили по 4,0 мл 0,1 М раствора соляной кислоты. Фальконы плотно закрывали винтовыми пробками, встряхивали на вортексе PV1 в течение 10 с и выдерживали 30 мин при комнатной температуре для охлаждения. Для определения оптической плотности по 200 мкл раствора из каждого фалькона (в 3-х повторностях) переносили в лунки 96-луночных несорбирующих УФ-прозрачных планшетов с плоским профилем дна UV-Star (Greiner BioOne, Германия). Оптическую плотность растворов при длине волны 340 нм определяли на микропланшетном фотометре-флуориметре Synergy2 (Bio Tek, США). Калибровочная кривая представлена на Рисунке 2. Результаты измерений выражали в ммоль/дм³ эквивалентов L-лейцина.

ПЦР (полимеразная цепная реакция) осуществлялась на амплификаторе Eppendorf Mastercycler Gradient

Рисунок 2

Калибровочная кривая зависимости оптической плотности от концентрации L-лейцина в реакционной смеси



Примечание. Из «Разработка технологии пробиотического кисломолочного продукта с *Lactobacillus Reuteri* LR1 [Кандидатская диссертация, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности]», А. В. Бегунова, 2021, Москва, Россия.

(Eppendorf, США). Суммарное время длительности программы составляло 1 ч 30 мин. — 2 ч 20 мин. Условия амплификации ПЦР были следующими: начальная денатурация при 94 °C в течение 4 мин; 30 циклов денатурации при 94 °C, 1 мин; отжиг при 53–56 °C в зависимости от мТ праймеров (1 мин); удлинение при 72 °C (1,5 мин) и окончательное удлинение при 72 °C в течение 7 мин.

Процедура исследования

Перед проведением эксперимента все штаммы были дважды пересеяна на среде MRS (HiMedia Laboratories Pvt. Limited, Индия). Была проверена их чистота и видовое соответствие путем визуальной оценки формы и размеров колоний, а также по результатам микроскопирования.

Нутовое молоко готовили путем смешивания 50 г бобов нута и 250 мл дистиллированной воды. Данную смесь выдерживали в течение 10 ч при 25 °C, после чего подвергали фильтрации и гомогенизации. Культуры вносились в количестве $1,2 \times 10^9$ КОЕ/мл. Для стимуляции роста микроорганизмов в образцы была внесена глюкоза. Инкубация продолжалась 3 сут. при 37 °C.

Для получения белково-пептидных фракций ферментированных образцов нутового молока каждый образец в количестве 5 мл центрифугировали при температуре +4 °C в течение 20 мин. при 4400 об/мин на центрифуге 5702R (Eppendorf, Германия). pH доводили до 4,6 добавлением 0,1 M соляной кислоты либо гидроксида натрия, после чего смесь фильтровали через шприцевые фильтры с гидрофильтрной мембраной с диаметром пор 0,20 мкм (Sartorius, Германия). Полученные фракции замораживали и хранили при температуре -73 °C до проведения анализа.

Перед проведением анализа образцы были разморожены и дополнительно отфильтрованы с использованием шприцевых фильтров с гидрофильтрной PVDF-мембраной с диаметром пор 0,45 мкм (Carl Roth, Германия).

Экстракция ДНК из микроорганизмов с использованием стеклянных шариков. Стеклянные шарики предварительно промывали серной кислотой (100%) 1 раз, затем отмывали дистиллятом и высушивали

при 60 °C. Полученная культура из чашки Петри отбиралась в эплендорф микробиологической петлей и растворялась в 500 мкл буфера для лизиса следующего состава: 100 mM Tris HCl (pH = 8); 50 mM EDTA; 1% SDS. К полученной смеси добавляли около 400 мкл (0,3 г) стеклянных шариков и интенсивно перемешивали в течение 3 мин. Отстаивали в течение 10 мин. Надосадочная жидкость переносилась в новый эплендорф с добавлением 275 мкл 7M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (pH 7,0) и выдерживалась 5 мин при температуре 65 °C, а затем еще 5 мин при температуре 4 °C. Добавляли 500 мкл хлороформа и интенсивно перемешивали в течение 1–3 мин. Центрифугировали 2 мин при 13 000 оборотах. После центрифугирования верхний слой отбирался в новый эплендорф с добавлением 1 мл 99,8% этилового спирта и выдерживался 30 мин при температуре -20 °C. Откручивали 10 мин при 13000 оборотах при 4 °C. После осадок промывался 70% ледяным этиловым спиртом. Осадок высушивался в течение 5 мин при температуре 65 °C. Затем осадок растворялся в 30–50 мкл TE буфера или дистиллированной воды.

Электрофорез образцов ДНК проводился в камере для горизонтального электрофореза SE-2 фирмы Helicon в 1% агарозном геле. Затем вносились исследуемые образцы, предварительно смешанные с красителем Loading Dye Solution (6×LD). В качестве маркера использовали GeneRuler 1 kb DNA Ladder (Fermentas, Литва). Аналитические гели документировали и визуализировали с использованием гель-документирующей системы BioRad Gel-Doc. Перед проведением препаративного электрофореза заливали чистый буфер в форезную камеру и после завершения процесса гель помещали в новый раствор бромистого этидия (0,5 мкг/мл). Получившиеся результаты анализировали на наличие необходимых амплификационных фрагментов.

Анализ данных

Статистическую обработку количественных данных проводили с использованием пакета программ STATISTICA 14.0 («StatSoft, Inc.», США). Все измерения выполняли в 3 повторностях. Результаты представлены в виде взвешенного среднего (WAM, weighted arithmetic mean) со стандартным отклонением ($\pm SD$). Статистическую достоверность рассчиты-ва-

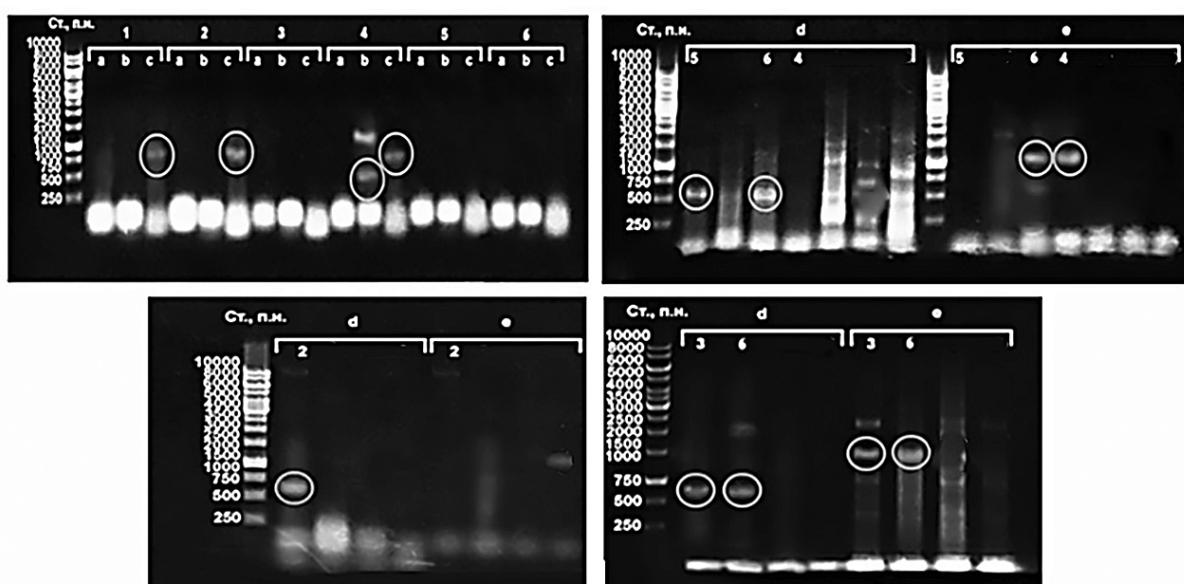
ли с применением непараметрических U-критерия Манна-Уитни (Mann-Whitney U-test) и H-критерия Краскела-Уоллиса (Kruskal-Wallis H-test). Критический уровень значимости нулевой статистической гипотезы (p) принимали равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

После выращивания колоний на чашках Петри на среде MRS с добавлением 5 % раствора обезжиренного молока был проведен визуальный осмотр культур на образование зон просветления вокруг них. Микроорганизмы должны формировать на использованных средах колонии, окруженные белой или беловатой зоной преципитации. Микроорганизмы с выраженной протеолитической активностью могут давать внутреннюю зону просветления (за счет разрушения преципитата). После проведения визуального осмотра чашек был сделан вывод, что все использованные культуры образовали зоны просветления на чашках Петри (Рисунок 3). Данный чашечный тест позволил расположить штаммы по их протеолитической активности в следующем порядке по убыванию: *Pediococcus acidilactici* 28 и *Latilactobacillus curvatus* 2, *Pediococcus acidilactici* 38, *Latilactobacillus curvatus* 1, *Latilactobacillus sakei* 105, *Staphylococcus carnosus* 108.

Рисунок 4

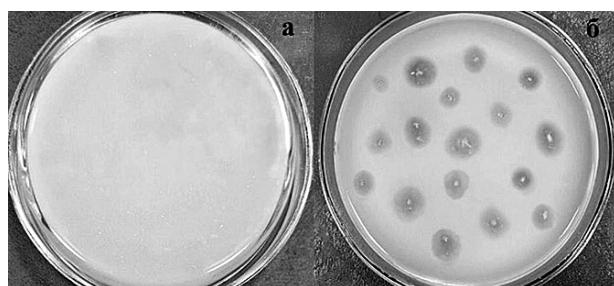
ДНК-электрофореграммы амплифицированных культур.



Примечание. Условные обозначения: a – пара генов PrtP100/PrtM700 (685 п.н.), b – PRTB10/PRTB20 (597 п.н.), c – Jp23/Jp25 (1034 п.н.), d – P15C/P06C (560 п.н.), e – prtI2/IP6Xba (1052 п.н.); 1 – *P. acidilactici* 28, 2 – *P. acidilactici* 38, 3 – *S. carnosus* 108, 4 – *L. sakei* 105, 5 – *L. curvatus* 1, 6 – *L. curvatus* 2

Рисунок 3

Колонии, окруженные беловатой зоной преципитации, образуемые протеолитическими микроорганизмами на среде MRS с добавлением 5 % раствора обезжиренного молока на примере штамма *Latilactobacillus curvatus* 2



а – контроль, б – опыт

По результатам ПЦР (Рисунок 4) все исследованные штаммы обладали протеолитической активностью в связи с выявлением в их геномах генов *prtP*, *prtM*, *prtB*, *prtH* и *prtR*. Штаммы рода *Latilactobacillus* содержали гены *prtP*, *prtM*, *prtB*, *prtH* и *prtR*, однако *Latilactobacillus curvatus* 1 и *Latilactobacillus curvatus* 2 обладали только генами *prtM* и *prtR*. Штаммы рода *Pediococcus* также имели все вышеперечисленные гены. Штамм рода *Staphylococcus*, а именно *Staphylococcus carnosus* 108, обладал только генами *prtM* и *prtR*. Наибольшее количество генов протеаз обнаружено у штамма *L. sakei* 105 – пары генов *PRTB10/PRTB20*, *Jp23/Jp25* и *prtI2/IP6Xba*.

Согласно данным Таблицы 2, накопление аминного азота, определенное методом ТНБС, было самым низким у штаммов *Staphylococcus carnosus* 108 (7,61 mM), *Latilactobacillus sakei* 105 (8,55 mM), *Latilactobacillus curvatus* 1 (10,15 mM). По конечному

числу КОЕ/мл данные штаммы уступают остальным. Также по количеству накопленного аминного азота культуры уступают штаммам *Pediococcus* и *Latilactobacillus*. Согласно результатам ПЦР, штаммы *Latilactobacillus curvatus* 1 и *Staphylococcus*

Таблица 2

Характеристика параметров ферментации и уровня протеолитической активности штаммов МКБ при культивировании на нутровом молоке

Образец	Время ферментации, ч	pH	Эквиваленты L-лейцина, mM*	Δ эквиваленты L-лейцина, mM*	КОЕ/мл
<i>Latilactobacillus curvatus</i> 1					
1/0	0	6,66 ± 0,10 ^a	6,20 ± 0,93 ^{ab}	0	1,5×10 ⁹
1/24	24	3,96 ± 0,59	15,22 ± 2,28 ^c	9,02 ± 1,35 ^a	1,89×10 ⁹
1/36	36	3,81 ± 0,57 ^b	16,35 ± 2,45	10,15 ± 1,52	1,1×10 ⁶
<i>Latilactobacillus curvatus</i> 2					
5/0	0	6,67 ± 0,10	8,67 ± 1,30 ^d	0	1,4×10 ⁹
5/24	24	3,98 ± 0,59 ^a	13,95 ± 2,09	5,28 ± 0,79 ^{bc}	1,1×10 ⁹
5/36	36	3,83 ± 0,57	26,05 ± 3,91	17,38 ± 2,61	1,9×10 ⁷
<i>Latilactobacillus sakei</i> 105					
2/0	0	6,67 ± 0,10 ^a	10,05 ± 1,51 ^d	0	1,08×10 ⁹
2/24	24	4,01 ± 0,60	15,52 ± 2,29	5,47 ± 0,82 ^a	1,11×10 ⁹
2/36	36	3,86 ± 0,58 ^c	18,60 ± 2,80 ^b	8,55 ± 1,28	0,65×10 ⁷
<i>Staphylococcus carnosus</i> 108					
6/0	0	6,66 ± 0,10 ^{ad}	9,48 ± 1,42 ^a	0	1,23×10 ⁹
6/24	24	3,94 ± 0,59 ^b	14,95 ± 2,24 ^c	5,47 ± 0,82	1,34×10 ⁹
6/36	36	3,80 ± 0,57	17,09 ± 2,56	7,61 ± 1,14 ^a	0,76×10 ⁶
<i>Pediococcus acidilactici</i> 38					
3/0	0	6,66 ± 0,10	12,67 ± 1,90	0	1,05×10 ⁹
3/24	24	3,94 ± 0,59 ^a	14,32 ± 2,15 ^c	1,65 ± 0,25 ^b	1,15×10 ⁹
3/36	36	3,80 ± 0,57	28,7 ± 4,31	16,03 ± 2,40 ^d	0,89×10 ⁷
<i>Pediococcus acidilactici</i> 28					
4/0	0	6,63 ± 0,10 ^b	10,01 ± 1,50 ^d	0	1,11×10 ⁹
4/24	24	3,85 ± 0,58	12,73 ± 1,91 ^a	2,72 ± 0,41	1,9×10 ⁹
4/36	36	3,79 ± 0,57 ^c	28,07 ± 4,31	18,06 ± 2,71	0,98×10 ⁷
Нут неферментированный (Контроль)					
K/0	0	6,64 ± 0,10	11,37 ± 1,71 ^b	0	1,2×10 ⁹
K/24	24	5,17 ± 0,78 ^a	29,20 ± 4,38	17,83 ± 2,67 ^c	1,99×10 ⁹
K/36	36	5,12 ± 0,77	36,06 ± 5,41 ^d	24,69 ± 3,70	0,68×10 ⁸

Примечание. a-d – различия между в столбце статистически значимы при $p < 0,05$; * – различия между столбцами статистически значимы при $p < 0,05$.

carnosus 108 содержат в себе только 2 гена протеолитической активности из 5 — *prtM* и *prtR*, что обуславливает небольшое накопление L-лейцина. В начальной точке ферментации высокое количество аминного азота накапливают культуры из рода *Pediococcus*, причем штамм *Pediococcus acidilactici* 38 по данному показателю превышает начальный показатель накопленного аминного азота у неферментированного нута (12,67 мМ против 11,37 мМ). С точки зрения общего накопления аминного азота и итоговому количеству КОЕ/мл штаммы рода *Pediococcus* являются наиболее перспективными. Также высокие показатели характерны для штамма *Latilactobacillus curvatus* 2 — конечное накопление аминного азота по L-лейцину составляет 17,38 мМ, конечная плотность культуры составила $1,9 \cdot 10^7$ КОЕ/мл.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Существует множество методов для оценки уровня протеолитической активности. Его можно измерить качественно, например, с использованием чашечного метода на агаровой среде с обезжиренным молоком и определением диаметра зон просветления вокруг колоний исследуемых микроорганизмов. Данный чашечный тест позволил нам распределить штаммы по их протеолитической активности в следующем порядке по убыванию активности: *Pediococcus acidilactici* 28 и *Latilactobacillus curvatus* 2, *Pediococcus acidilactici* 38, *Latilactobacillus curvatus* 1, *Latilactobacillus sakei* 105, *Staphylococcus carnosus* 108. Данный метод также используется другими учеными для определения протеолитической активности микроорганизмов, в т.ч. способных образовывать биоактивные пептиды. Так, хорошая протеолитическая активность наблюдалась у шести из восьми изолятов из различных фруктов при тестировании на обезжиренном молочном агаре. Четкие ореолы вокруг колоний были больше 6 мм, что свидетельствует о хорошей протеолитической активности (Maryam et al., 2017). При скрининге 205 изолятов, двадцать из них, показавшие протеолитическую активность на агаре из обезжиренного молока, продуцировали 34 пептида в гидролизате обезжиренного молока (Maryam A. et. al., 2012). Наиболее протеолитически активные изоляты из молока и сыра от коров, буйволов и коз также тестировали путем культивирования в обезжиренном молоке с последующим анализом ферментированного

молока электрофорезом в полиакриламидном геле с додецилсульфатом натрия (SDS-PAGE) (Tulini et. al., 2016).

Нами для подтверждения качественной оценки протеолитической активности был выбран ТНБС метод, который наиболее часто используется при определении степени протеолиза и среди спектрофотометрических методов считается эталонным методом. Этот метод можно использовать независимо от типа активности фермента (Silvestre, 1997; Turgeon et al., 1991). В нашем случае ТНБС метод позволил определить протеолитическую активность исследуемых микроорганизмов и выбрать наиболее активные по этому показателю — *Pediococcus acidilactici* 28 и *Latilactobacillus curvatus* 2 *Pediococcus acidilactici* 38. Важно, что данный метод имел прямую корреляцию с результатами чашечного скрининга. В своих исследованиях Бегунова А.В. и соавт., 2020, также использовали метод ТНБС. Было установлено, что при ферментации молока штаммом *L. reuteri* LR1 в течение 24 ч происходило достоверное повышение антиоксидантной и АПФ-ингибирующей активностей на фоне снижения количества L-лейциновых эквивалентов по сравнению с исходным молоком. В процессе дальнейшего культивирования увеличивались протеолитическая, антиоксидантная и ингибирующая активность ангиотензинпревращающего фермента, достигая наибольшего значения через 96 ч. ВЭЖХ-МС/МС анализ пептидного профиля ферментированного лактобактерией молока показал наличие пептидов, обладающих АПФ-ингибирующей, antimикробной, антиоксидантной и иммуномодуляторной активностями.

Для образования биологически активных пептидов при ферментации пищевых продуктов также применяются молочнокислые бактерии, в геноме которых обнаружены гены протеиназ, причем интенсивность этой активности различна у разных штаммов. Так, Pangallo и соавт. (2019) определяли наличие генов *prtP*, *pepX*, *pepN* и *bcaT* у молочнокислых бактерий, используемых при производстве сыра. Результаты показали, что гены, связанные с протеолизом во время созревания сыра у таких лактобацилл как *Lb. rhamnosus*, *Lb. helveticus*, *Lb. pentosus*, *Lb. curvatus*, *Lb. parabuchneri*, *Lb. plantarum*, *Lb. brevis*, *Lb. delbrueckii*, *Lb. paracasei*, *Lb. fermentum* и *Lb. heilongjiangensis*, были активны (Pangallo et al., 2019).

Caplova и соавт. (2018) исследовали 17 штаммов молочнокислых бактерий, выделенных из сыров на основе молока овец с целью обнаружения генов *prtP*, *pepN*, *pepX* и *bcaT* методом ПЦР. Используя системы ПЦР генов, полученных из *Lactobacillus*, показано, что пять штаммов содержали все исследуемые гены (три штамма *Lactobacillus paracasei*, один *Lactobacillus casei* и один *Lactococcus lactis*). В 14 штаммах *Lactobacillus* *prtP* был обнаружен в 5 штаммах, *pepN* в 14 штаммах, *pepX* в 12 штаммах и *bcaT* в 10 штаммах (Caplova et al., 2018).

Strahinic и соавт. (2019) изучали ген протеиназы *prtP* в природном изоляте *Lactobacillus plantarum* BGSJ3-18. Предварительно с помощью мультиплексной ПЦР было выделено из различных природных источников 37 лактобацилл, принадлежащих группе *Lactobacillus plantarum/paraplanarum*. Изучение протеолитической активности показало, что 28 *Lb. plantarum* и два *Lb. paraplanarum* гидролизует бета-казеин. Дальнейшие анализы всех протеолитически активных *Lb. plantarum* с праймерами, специфичными для различных типов СЕР, показали, что штамм BGSJ3-18 имеет каталитический домен *prtP*, а также межгенную область *prtP-prtM*, демонстрирующую более чем 95 % идентичность последовательности с теми же областями, присутствующими в *Lb. paracasei*, *Lb. casei* и *L. lactis* (Strahinic et al., 2009).

В настоящей работе установлена взаимосвязь протеолитической активности микроорганизмов, определенной качественным и количественным методами, с набором выявленных генов протеиназ. Так штамм *L. sakei* 105, хоть и обладал тремя парами генов, в отличие от других исследованных штаммов, имеющих по одной или двум парам генов протеиназ, он не показал высокой протеолитической активности на среде MRS с обезжиренным молоком и методом ТНБС (18 mM). Поэтому для отбора штаммов с высокой протеолитической активностью нужен комплексный подход.

По оценке результатов протеолитической активности на агаре с обезжиренным молоком и ТНБС методом, а также набору генов протеиназ, отобраны наиболее активные штаммы — *Pediococcus acidilactici* 28, *Latilactobacillus curvatus* 2 и *Pediococcus acidilactici* 38.

ВЫВОДЫ

В соответствии с поставленной целью — определить гены протеиназ у микроорганизмов, оценить их протеолитическую активность и определить взаимосвязи между протеолитической активностью и генетическими детерминантами, по совокупной оценке результатов протеолитической активности, определенной на молочном агаре и методом ТНБС, а также набору генов протеиназ, отобраны наиболее активные штаммы *Latilactobacillus curvatus* 2, *Pediococcus acidilactici* 28 и *Pediococcus acidilactici* 38. В связи с тем, что штамм *L. sakei* 105 хотя и обладает наибольшим количеством генов протеолитической активности, не показал высокой протеолитической активности на молочном агаре и методом ТНБС. Поэтому для отбора штаммов с высокой протеолитической активностью нужен комплексный подход, включающий качественные и количественные тесты, а также молекулярно-генетические методы. Это необходимо для оценки эффективности при производстве различной ферментированной пищевой продукции. Также при помощи скрининга протеолитически активных микроорганизмов возможно оценить их потенциал к образованию биологически активных пептидов, обладающих различными физиологическими функциями. Производство таких пептидов в составе ферментированных пищевых продуктов является перспективным направлением.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Коврижных А. В.: проведение исследовательского процесса, в частности, проведение экспериментов или сбор данных / доказательств.

Афанасьев Д. А.: проведение исследовательского процесса, в частности, проведение экспериментов или сбор данных / доказательств. Курирование данных, Написание - Подготовка черновика рукописи.

Ахангаран М.: визуализация, проведение исследования.

Гаравари М.: написание – подготовка черновика рукописи.

Чернуха И. М.: формулирование идеи; формулирование исследовательских целей и задач. Надзор и руководство за планированием и выполнением исследовательской деятельности, включая наставничество.

Машенцева Н. Г.: разработка методологии исследования; создание модели исследования. Подготовка и создание рукописи, её комментирование

или пересмотр, включая этапы до или после публикации рукописи.

Василиевич Н. В.: отслеживание воспроизведимости результатов/экспериментов и других результатов исследований. Применение статистических, математических или других формальных методов для анализа или синтеза данных исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- Афанасьев, Д. А., Машенцева, Н. Г., Чернуха, И. М., Ахангаран, М., & Гаравири, М. (2021). Оценка функциональности пептидов с применением методов биоинформатики. *Всё о мясе*, (6), 48–53. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-6-48-53>
- Ахангаран, М., Афанасьев, Д. А., Чернуха, И. М., Машенцева, Н. Г., & Гаравири, М. (2022). Биоактивные пептиды и антипитательные вещества нута: Характеристика и свойства (обзор). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*, 183(1), 214–223. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-214-223>
- Бабич, О. О., Разумникова, И. С., Полетаев, А. Ю., & Морозова, А. И. (2011). Переработка вторичного кератинсодержащего сырья и получение белковых гидролизатов на пищевые и кормовые цели. *Техника и технология пищевых производств*, (2), 7–11.
- Бегунова, А. В. (2021). *Разработка технологии пробиотического кисломолочного продукта C Lactobacillus Reuteri LR1* [Кандидатская диссертация, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности]. М., Россия.
- Ковалев, Н. Н., Позднякова, Ю. М., Панчишина, Е. М., & Кращенко, В. В. (2019). Ферментативная активность культивируемых микроорганизмов кишечника трепанга. *Вестник Астраханского государственного технического университета*, (1), 91–100. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2019-1-91-100>
- Раднагуруева, А. А., Лаврентьева, Е. В., & Дунаевский, Я. Е. (2009). Протеолитическая активность алкалофильных микроорганизмов водных систем Забайкалья. *Вестник Бурятского госуниверситета*, (4), 98–101.
- Югина, Н. А., Хисамова, А. И., Михайлова, Е. О., Хабибуллина, Л. И., & Шулаев, М. В. (2013). Анализ влияния биологически активных веществ на рост микроорганизмов активного ила городских очистных сооружений МУП «Водоканал». *Вестник Казанского технологического университета*, 16(10), 208–210.
- Adler-Nissen, J. (1979). Determination of the degree of hydrolysis of food protein hydrolysates by trinitrobenzenesulfonic acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 27(6), 1256–1262. <https://doi.org/10.1021/jf60226a042>
- Caplova-Godalova, Z., Pangallo, D., Krakova, L., Puskarova, A., Dranovska, H., Buckova, M., & Kuchta, T. (2018). Detection of genes *prtP*, *pepN*, *pepX* and *bcaT* involved in formation of aroma-active compounds in lactic acid bacteria from ewes' cheese. *Journal of Food and Nutrition Research*, 57(1336–8672), 195–200.
- Chen, C., Zhao, S., Hao, G., Yu, H., Tian, H., & Zhao, G. (2017). Role of lactic acid bacteria on the yogurt flavour: A review. *International Journal of Food Properties*, 20(1), 316–330. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1295988>
- Guo, T., Ouyang, X., Xin, Y., Wang, Y., Zhang, S., & Kong, J. (2016). Characterization of a New Cell Envelope Proteinase *PrtP* from *Lactobacillus rhamnosus* CGMCC11055. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(37), 6985–6992. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03379>
- Korhonen, H., & Pihlanto, A. (2003). Bioactive peptides and proteins. *Advances in Food and Nutrition Research*, 47, 175–276. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(03\)47004-6](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(03)47004-6)
- Kurien, B. T., & Scofield, R. H. (2012). Extraction of proteins from gels: A brief review. *Methods in Molecular Biology*, 869, 403–408. https://doi.org/10.1007/978-1-61779-821-4_33
- Leroy, F., & Vuyst, L. D. (2004). Functional lactic acid bacteria starter cultures for the food fermentation industry. *Trends in Food Science & Technology*, 15(2), 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.004>
- Li-Chan, E. C. Y. (2015). Bioactive peptides and protein hydrolysates: Research trends and challenges for application as nutraceuticals and functional food ingredients. *Current Opinion in Food Science*, 1, 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2014.09.005>
- Mehmeti, I., Kiran, F., & Osmanagaoglu, O. (2011). Comparison of three methods for determination of protein concentration in lactic acid bacteria for proteomics studies. *African Journal of Biotechnology*, 10(11), 2178–2185. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1881>
- Pangalloa, D., Kraková, L., Puškárová, A., Šoltysb, K., Bučková, M., Koreňová, J., Budiše, J., & Kuchtad, T. (2019). Transcription activity of lactic acid bacterial proteolysis-related genes during cheese maturation. *Food Microbiology*, 82, 416–425. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.03.015>
- Pastar, I., Fira, D., Strahini, I., Krsti, K., Begovi, J., Topisirovi, L., & Jovanovi, G. (2006). Analysis of the presence of *prtR* proteinase gene in natural isolates of *Lactobacillus*

- rhamnosus. *Folia Microbiologica*, 51, 535–541. <https://doi.org/10.1007/BF02931617>
- Savijoki, K., Ingmer, H., & Varmanen, P. (2006). Proteolytic systems of lactic acid bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 71, 394–406. <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0427-1>
- Silvestre, M. P. C. (1997). Review of methods for the analysis of protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 60(2), 263–271. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00347-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00347-0)
- Spellman, D., McEvoy, E., O’Cuinn, G., & FitzGerald, R. J. (2003). Proteinase and exopeptidase hydrolysis of whey protein: Comparison of the TNBS, OPA and pH stat methods for quantification of degree of hydrolysis. *International Dairy Journal*, 13(6), 447–453. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00053-0](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00053-0)
- Strahinic, I., Kojic, M., Tolinacki, M., Fira, D., & Topisirovic, L. (2009). The presence of prtP proteinase gene in natural isolate *Lactobacillus plantarum* BGSJ3–18. *Applied Microbiology*, 50(1), 43–49. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2009.02748.x>
- Tonolo, F., Folda, A., Cesaro, L., Scalcon, V., Marin, O., Ferro, S., Bindoli, A., & Pia, M. (2019). Milk-derived bioactive peptides exhibit antioxidant activity through the Keap1-Nrf2 signaling pathway. *Journal of Functional Foods*, 64, Article 103696. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103696>
- Tuler, T. R., Callanan, M. J., & Klaenhammer, T. R. (2002). Overexpression of peptidases in *Lactococcus* and evaluation of their release from leaky cells. *Journal of Dairy Science*, 85(10), 2438–2450. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74326-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74326-9)
- Turgeon, S. L., Bard, C., & Gauthier, S. F. (1991). Comparaison de trois méthodes pour la mesure du degré d’hydrolyse de protéines laitières modifiées enzymatiquement. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 24(1–2), 14–18. [https://doi.org/10.1016/S0315-5463\(91\)70013-8](https://doi.org/10.1016/S0315-5463(91)70013-8)
- Venegas-Ortega, M. G., Flores Gallegos, A. C., Martínez Hernández, J. L., Aguilar, C. N., & Nevárez-Morillón, G. V. (2019). Production of bioactive peptides from lactic acid bacteria: A sustainable approach for healthier foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1039–1051. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12455>

REFERENCES

- Afanas’ev, D. A., Mashentseva, N. G., Chernukha, I. M., Akhangaran, M., & Gkharaviri, M. (2021). Otsenka funktsional’nosti peptidov s primenением metodov bioinformatiki [Evaluation of the functionality of peptides using bioinformatics methods]. *Vse o myase [All About Meat]*, (6), 48–53. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-6-48-53>
- Ahangaran, M., Afanas’ev, D. A., Chernukha, I. M., Mashentseva, N. G., & Garaviri, M. (2022). Bioaktivnye peptidy i antipitatel’nye veshchestva nuta: Kharakteristika i svoistva (obzor) [Bioactive peptides and anti-nutritional substances of chickpeas: Characteristics and properties (review)]. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii [Works on Applied Botany, Genetics and Breeding]*, 183(1), 214–223. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-214-223>
- Babich, O. O., Razumnikova, I. S., Poletaev, A. Yu., & Morozova, A. I. (2011). Pererabotka vtorichnogo keratinsoderzhashchego syr’ya i poluchenie belkovykh gidrolizatov na pishchevye i kormovye tseli [Processing of secondary keratin-containing raw materials and obtaining protein hydrolysates for food and feed purposes]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Equipment and Technology of Food Production]*, (2), 7–11.
- Begunova, A. V. (2021). *Razrabotka tekhnologii probioticheskogo kislomolochnogo produkta S Lactobacillus Reuteri LR1* [Development of technology for probiotic fermented milk product With *Lactobacillus Reuteri LR1*] [Candidate Dissertation, Vserossiiskii nauchno-issledovatel’skii institut molochnoi promyshlennosti]. Moscow, Russia.
- Kovalev, N. N., Pozdnyakova, Yu. M., Panchishina, E. M., & Krashchenko, V. V. (2019). Fermentativnaya aktivnost’ kul’tiviruemikh mikroorganizmov kishechnika trepanga [Enzymatic activity of cultured microorganisms of the trepang intestine]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Astrakhan State Technical University]*, (1), 91–100. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2019-1-91-100>
- Radnagurueva, A. A., Lavrent’eva, E. V., & Dunaevskii, Ya. E. (2009). Proteoliticheskaya aktivnost’ alkalofil’nykh mikroorganizmov vodnykh sistem Zabaikal’ya [Proteolytic activity of alkalophilic microorganisms of Transbaikalian water systems]. *Vestnik Buryatskogo gosuniversiteta [Bulletin of the Buryat State University]*, (4), 98–101.
- Yugina, N. A., Khisamova, A. I., Mikhailova, E. O., Khabibullina, L. I., & Shulaev, M. V. (2013). Analiz vliyaniya biologicheskikh aktivnykh veshchestv na rost mikroorganizmov aktivnogo ila gorodskikh ochistnykh sooruzhenii MUP “Vodokanal” [Analysis of the effect of biologically active substances on the growth of microorganisms of activated sludge of municipal sewage treatment plants of Municipal Unitary Enterprise “Vodokanal”]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Kazan Technological University]*, 16(10), 208–210.
- Adler-Nissen, J. (1979). Determination of the degree of hydrolysis of food protein hydrolysates by trinitrobenzenesulfonic acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 27(6), 1256–1262. <https://doi.org/10.1021/jf60226a042>
- Caplova-Godalova, Z., Pangallo, D., Krakova, L., Puskarova, A., Dranovska, H., Buckova, M., & Kuchta, T. (2018). Detection of genes *prtP*, *pepN*, *pepX* and *bcaT* involved in formation of aroma-active compounds in lactic acid bacteria from ewes’ cheese. *Journal of Food and Nutrition Research*, 57(1336–8672), 195–200.

- Chen, C., Zhao, S., Hao, G., Yu, H., Tian, H., & Zhao, G. (2017). Role of lactic acid bacteria on the yogurt flavour: A review. *International Journal of Food Properties*, 20(1), 316–330. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1295988>
- Guo, T., Ouyang, X., Xin, Y., Wang, Y., Zhang, S., & Kong, J. (2016). Characterization of a New Cell Envelope Proteinase PrtP from *Lactobacillus rhamnosus* CGMCC11055. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(37), 6985–6992. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03379>
- Korhonen, H., & Pihlanto, A. (2003). Bioactive peptides and proteins. *Advances in Food and Nutrition Research*, 47, 175–276. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(03\)47004-6](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(03)47004-6)
- Kurien, B. T., & Scofield, R. H. (2012). Extraction of proteins from gels: A brief review. *Methods in Molecular Biology*, 869, 403–408. https://doi.org/10.1007/978-1-61779-821-4_33
- Leroy, F., & Vuyst, L. D. (2004). Functional lactic acid bacteria starter cultures for the food fermentation industry. *Trends in Food Science & Technology*, 15(2), 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.09.004>
- Li-Chan, E. C. Y. (2015). Bioactive peptides and protein hydrolysates: Research trends and challenges for application as nutraceuticals and functional food ingredients. *Current Opinion in Food Science*, 1, 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2014.09.005>
- Mehmeti, I., Kiran, F., & Osmanagaoglu, O. (2011). Comparison of three methods for determination of protein concentration in lactic acid bacteria for proteomics studies. *African Journal of Biotechnology*, 10(11), 2178–2185. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1881>
- Pangalloa, D., Kraková, L., Puškárová, A., Šoltysb, K., Bučková, M., Koreňovád, J., Budiše, J., & Kuchtad, T. (2019). Transcription activity of lactic acid bacterial proteolysis-related genes during cheese maturation. *Food Microbiology*, 82, 416–425. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.03.015>
- Pastar, I., Fira, D., Strahini, I., Krsti, K., Begovi, J., Topisirovi. L., & Jovanovi, G. (2006). Analysis of the presence of *prtR* proteinase gene in natural isolates of *Lactobacillus rhamnosus*. *Folia Microbiologica*, 51, 535–541. <https://doi.org/10.1007/BF02931617>
- Savijoki, K., Ingmer, H., & Varmanen, P. (2006). Proteolytic systems of lactic acid bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 71, 394–406. <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0427-1>
- Silvestre, M. P. C. (1997). Review of methods for the analysis of protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 60(2), 263–271. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00347-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00347-0)
- Spellman, D., McEvoy, E., O’Cuinn, G., & FitzGerald, R. J. (2003). Proteinase and exopeptidase hydrolysis of whey protein: Comparison of the TNBS, OPA and pH stat methods for quantification of degree of hydrolysis. *International Dairy Journal*, 13(6), 447–453. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00053-0](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00053-0)
- Strahinic, I., Kojic, M., Tolinacki, M., Fira, D., & Topisirovic, L. (2009). The presence of *prtP* proteinase gene in natural isolate *Lactobacillus plantarum* BGSJ3-18. *Applied Microbiology*, 50(1), 43–49. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2009.02748.x>
- Tonolo, F., Folda, A., Cesaro, L., Scalcon, V., Marin, O., Ferro, S., Bindoli, A., & Pia, M. (2019). Milk-derived bioactive peptides exhibit antioxidant activity through the Keap1-Nrf2 signaling pathway. *Journal of Functional Foods*, 64, Article 103696. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103696>
- Tuler, T. R., Callanan, M. J., & Klaenhammer, T. R. (2002). Overexpression of peptidases in *Lactococcus* and evaluation of their release from leaky cells. *Journal of Dairy Science*, 85(10), 2438–2450. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74326-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74326-9)
- Turgeon, S. L., Bard, C., & Gauthier, S. F. (1991). Comparaison de trois méthodes pour la mesure du degré d’hydrolyse de protéines laitières modifiées enzymatiquement [Comparison of three methods for measuring the degree of hydrolysis of enzymatically modified milk proteins]. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 24(1–2), 14–18. [https://doi.org/10.1016/S0315-5463\(91\)70013-8](https://doi.org/10.1016/S0315-5463(91)70013-8)
- Venegas-Ortega, M. G., Flores Gallegos, A. C., Martínez Hernández, J. L., Aguilar, C. N., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2019). Production of bioactive peptides from lactic acid bacteria: A sustainable approach for healthier foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1039–1051. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12455>

УДК: 664.681.1:574.64

Моделирование состава овсяного печенья на основе натуральных сахарозаменителей

Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, г. Москва, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Ткешелашвили Манана Емельяновна
Адрес: 117997, г. Москва,
Стремянный переулок, д. 36
E-mail: mananatk@yandex.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:
данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Ткешелашвили, М. Е., Бобожонова, Г. А., & Леонова, И. Б. (2022). Моделирование состава овсяного печенья на основе натуральных сахарозаменителей. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 128–141. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.314>

ПОСТУПИЛА: 11.04.2022

ПРИНЯТА: 03.10.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 14.10.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. Проблема потребления избыточного количества сахара в мире за последние годы становится все более актуальной. Потребление сахара выше нормы может привести к серьезным заболеваниям таким, как сахарный диабет и ожирение. Значительный вклад в данную проблему вносят кондитерские изделия. Входящие в рецептуру традиционных кондитерских изделий углеводы имеют высокий гликемический индекс. Моделирование ингредиентного состава кондитерских изделий путем замены сахара, традиционно используемого в рецептуре кондитерских изделий, другими ингредиентами должна способствовать снижению гликемического индекса этих продуктов.

Цель настоящего исследования – разработка рецептурного состава и технологии мучного кондитерского изделия в виде овсяного печенья на основе натуральных сахарозаменителей.

Материалы и методы. Объектами исследования в работе являлись: контрольный образец овсяного печенья – прототип разрабатываемого продукта на основе сахара; опытные образцы овсяного печенья – продукты на основе натуральных сахарозаменителей. Моделировали состав печенья, исключая сахар, и внося ингредиенты, не вызывающие гипергликемический эффект, – сахарозаменитель изомальт или трегалозу и подсластитель стевиозид.

Результаты. Органолептические и физико-химические показатели разработанного печенья определяли стандартными методами. Представлены результаты по биотестированию овсяного печенья с сахаром и сахарозаменителями, позволяющие выявить влияние нового продукта на живую клетку тест-культуры *Tetrahymena pyriformis*.

Выводы. Установлено, что разработанное овсяное печенье на основе натуральных сахарозаменителей, является безопасным для тест-культуры, так как положительно влияет на показатели роста, жизнедеятельность и развитие живой клетки по поколениям инфузорий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

кондитерские изделия, овсяное печенье, трегалоза, изомальт, стевиозид, биотестирование, инфузории *Tetrahymena pyriformis*

Modeling the Composition of Oat Biscuit Based on Natural Sugar Substitutes

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Manana E. Tkeshelashvili
36, Stremyanny lane, Moscow,
117997, Russian Federation
E-mail: mananatk@yandex.ru

FOR CITATIONS:

Tkeshelashvili, M. E., Bobozhonova, G. A., & Leonova I. B. (2022). Modeling the composition of oat biscuit based on natural sugar substitutes. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 128–141. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.314>

RECEIVED: 11.04.2022

ACCEPTED: 03.10.2022

PUBLISHED: 14.10.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Manana E. Tkeshelashvili, Galina A. Bobozhonova, Irina B. Leonova

ABSTRACT

Background. The problem of consumption of excess sugar in the world in recent years has become increasingly relevant. Eating too much sugar can lead to serious health problems such as diabetes and obesity. Confectionery products make a significant contribution to this problem. The carbohydrates included in the recipe of traditional confectionery products have a high glycemic index. Modeling the ingredient composition of confectionery products by replacing the sugar traditionally used in the recipe of confectionery products with other ingredients should help reduce the glycemic index of these products.

Purpose. The purpose of this study is to develop a recipe composition and technology for a flour confectionery product in the form of oatmeal cookies based on natural sweeteners.

Materials and Methods. The objects of study in the work were: a control sample of oatmeal cookies – a prototype of the developed product based on sugar; prototypes of oatmeal cookies – products based on natural sweeteners. The composition of cookies was modeled, excluding sugar, and adding ingredients that do not cause a hyperglycemic effect – the sweetener isomalt or trehalose and the sweetener stevioside.

Results. The organoleptic and physicochemical parameters of the developed cookies were determined by standard methods. The results of biotesting of oatmeal cookies with sugar and sweeteners are presented, which make it possible to reveal the effect of the new product on the living cell of the *Tetrahymena pyriformis* test culture.

Conclusion. It has been established that the developed oatmeal cookies based on natural sweeteners are safe for the test culture, as they have a positive effect on growth rates, vital activity and development of a living cell by generations of ciliates.

KEYWORDS

confectionery, oatmeal cookies, trehalose, isomalt, stevioside, biotesting, ciliates *Tetrahymena pyriformis*

ВВЕДЕНИЕ

Проблема потребления избыточного количества сахара в мире за последние годы становится все более актуальной. Потребление сахара выше нормы может привести к серьезным заболеваниям таким, как сахарный диабет, ожирение и связанные с ним сопутствующие заболевания (Clemens et al., 2016), кариес зубов.

Сахарный диабет занимает третье место среди причин смерти после сердечно-сосудистых заболеваний и онкологии. Количество таких больных увеличивается и «по прогнозу ВОЗ к 2030 году может составить до 400 млн. человек» (Палаткин, 2017). Существенный вклад в указанную проблему вносят кондитерские изделия. Наиболее перспективное направление решения обозначенной ситуации – это замена сахара в рецептуре кондитерских изделий на другие ингредиенты.

Входящие в рецептуру традиционных кондитерских изделий углеводы в чистом виде: глюкоза, фруктоза, сахароза, лактоза или в составе используемых ингредиентов, имеют высокий гликемический индекс. Моделирование ингредиентного состава кондитерских изделий путем замены сахара должна способствовать снижению гликемического индекса этих продуктов (Воробьева и соавт., 2014).

Установлено, что потребление мучного кондитерского изделия с модифицированным углеводным составом сопровождалось менее выраженной постпрандиальной гликемической реакцией по сравнению с таковой при стандартной пищевой нагрузке, содержащей 25 г усвояемых углеводов (Шарафетдинов и соавт., 2015). Полученные данные согласуются с результатами исследований, свидетельствующими, что потребление специализированных пищевых продуктов, характеризующихся смоделированным углеводным составом, сопровождается существенно меньшим повышением глюкозы в крови по сравнению с пищевой нагрузкой, содержащей стандартизированное количество углеводов (Шарафетдинов и соавт., 2015). Практический интерес при разработке рецептур кондитерских изделий со сниженным гликемическим индексом представляют сахарозаменители по своим физико-химическим и технологическим свойствам приближенные к сахарозе, а также не оказывающие негативного влияния на реологические,

физико-химические и органолептические свойства готового продукта. (Савенкова и соавт., 2017).

Целью настоящего исследования стала разработка рецептурного состава и технологии мучного кондитерского изделия в виде овсяного печенья на основе натуральных сахарозаменителей, и оценка безопасности разработанного продукта биотестированием. Для реализации поставленной цели решались следующие задачи: (1) осуществить моделирование состава овсяного печенья на основе натуральных сахарозаменителей с сохранением традиционных вкусовых свойств; (2) провести оценку качества овсяного печенья на основе натуральных сахарозаменителей по органолептическим и физико-химическим показателям; (3) изучить возможность использования биотестирования овсяного печенья с сахаром и сахарозаменителями на инфузориях *Tetrahymena pyriformis*, что позволило бы определить степень информативности биотестового метода и целесообразность его практического применения.

Теоретическое обоснование

Изомальт в моделировании углеводного состава

Изомальт (изомальтит) получают в результате двухступенчатого процесса переработки сахарной свеклы: путем ферментативной обработки сахарозы в изомальтулозу (палатинозу) с последующим катализитическим гидролизом. Изомальт менее растворим в воде, чем сахароза, более термоустойчив, имеет низкую гигроскопичность, устойчив к ферментативному и кислотному гидролизу. Изомальт имеет калорийность и коэффициент сладости ниже, чем у сахарозы, не вызывает значительного подъема уровня глюкозы в крови, для его усвоения не требуется инсулин, что позволяет использовать его как ингредиент для приготовления диетических пищевых продуктов с пониженной калорийностью и диабетических продуктов (Воробьева и соавт., 2014).

Рассмотрена теоретическая возможность и практическая целесообразность использования изомальта вместо сахара при приготовлении шоколада (Казарян и соавт., 2019), зефира (Макогонова и соавт., 2016), жевательных конфет (Куракина и соавт., 2015), леденцовой карамели (Швецова & Пищикова,

2016) и сахарного печенья¹ (Иванова, 2014), что позволило получить кондитерские изделия с пониженным гликемическим индексом и энергетической ценностью.

Трегалоза в моделировании углеводного состава

Трегалоза – природный дисахарид построен из двух молекул D-глюкозы. Трегалоза широко распространена в природе и встречается в самых разнообразных организмах, от бактерий до беспозвоночных. Наибольшее количество трегалозы сосредоточено в спорах мицелиальных грибов и в дрожжах. Крупномасштабное промышленное получение этого дисахарида осуществляется биотехнологическими методами, основанными на ферментативных превращениях крахмала (Феофилова и соавт., 2014).

Трегалоза характеризуется очень низкой гигроскопичностью и высокой температурой стеклования, благодаря чему у пищевых продуктов с трегалозой повышается стабильность вкуса и аромата, цвета и содержания влаги, также увеличивается срок годности (Митчелл, 2010). Трегалоза поддерживает уровень глюкозы в крови так же эффективно, как и изделия с добавленной глюкозой, причем инсулиновый отклик плазмы крови при этом ниже. Трегалоза не токсична, хорошо переносится даже в высоких дозах. В ротовой полости трегалоза слабо ферментируется, благодаря чему ее можно включать в состав кондитерских изделий, безопасных для здоровья зубов (Митчелл, 2010). В мучных кондитерских изделиях трегалоза препятствует ретроградации крахмала намного эффективнее, чем другие сахара, повышая тем самым стабильность изделий и задерживая их черствение, что показано при разработке кекса на основе данного сахарозаменителя (Ткешелашвили и соавт., 2019).

Трегалоза, так же, как и изомальт, обеспечивает чистую сладость, по интенсивности примерно в два раза меньшую сладости сахара, что обуславливает необходимость применения в рецептуре разрабатываемого продукта натурального (природного) подслащающего вещества. Одним из ингредиентов который позволяет обеспечить вкусовой профиль, характерный для сахара, является стевиозид.

Стевиозид для стабилизации вкусового профиля

Стевиозид – гликозид из экстракта растения стевии, с усредненным коэффициентом сладости 300 и не содержит калорий. Стевиозид пригоден для использования в качестве подсластителя во всех пищевых продуктах, поскольку он высокоустойчив к нагреванию и действию кислот, не ферментируется, не желтеет при нагревании (Полянский и соавт., 2005). Стевиозид имеет ряд преимуществ перед синтетическими подсластителями, поскольку наряду с удовлетворительным интенсивным сладким вкусом, обладает полезными терапевтическими свойствами. Клинически доказано, что гликозиды стевии проявляют антиаллергизирующее, сахароснижающее, гипотензивное, противомикробное, общетонизирующее действие. Установлено, что применение стевиозида не оказывает влияния на уровень глюкозы в крови, снижает уровень триглицеридов (Кох и соавт., 2015; Кочетов & Синявина, 2021).

Гликозиды стевии используют в технологиях производства диетических напитков, чаев, йогуртов, маринадов, морепродуктов, мороженого. Они также являются составной частью зубных паст, жидкостей для полоскания рта и жевательной резинки (Кочетов & Синявина, 2021). Обосновано использование стевиозида для замены сахара в производстве булочных изделий (Потороко & Паймулина, 2015), желейно-фруктового мармелада (Харламова и соавт., 2013), песочного печенья (Рушиц, 2015), что позволило получить продукты, предназначенные для людей, ведущих активный и здоровый образ жизни, стремящихся контролировать свой вес и доступные для людей больных сахарным диабетом.

Текущее исследование

Создание кондитерских изделий нового поколения с моделеванным углеводным составом своевременно, актуально, направлено на повышение качества жизни населения и снижение потерь от социально значимого заболевания сахарного диабета. Неизменным фаворитом на рынке кондитерских изделий является печенье, чей широкий ассортимент и достаточно низкая себестоимость являются аргументами при обосновании данной группы в качестве разработки продукта на основе нату-

¹ Иванова, Ю. В. (2014). РФ Патент № 2528463. Печенье. М.: ООО «Авангард».

ральных сахарозаменителей (Савенкова и соавт., 2017). В данном исследовании рассматривается овсяное печенье. Это связано с трендом здорового питания, который набирает среди потребителей все большую популярность, что увеличивает интерес потребителей и производителей к овсяному печенью, как к продукту профилактического назначения (Пушкирева и соавт., 2017).

Для контроля качества новой продукции актуальной является разработка методических подходов, простых и эффективных методов анализа, позволяющих дать оценку безопасности как самих сахарозаменителей, так и разнообразных продуктов на их основе.

Одним из косвенных методов определения комплексного воздействия чего — либо на человека является исследование методом биотестирования с использованием живых организмов — высших животных или альтернативных моделей, в том числе простейших. Биотестирование (биологическая оценка) продовольственного сырья и продуктов питания занимает, наряду с другими методами исследований (физико-химические, биохимические, микробиологические), одно из важнейших мест, так как позволяет выявить влияние изучаемых объектов на живой организм и определить возможные неблагоприятные последствия их применения. Биотестирование позволяет выявить действие пищевых и непищевых компонентов в их взаимосвязи и взаимозависимости и получить интегральное выражение этого воздействия в виде реакции живого организма (Долгов и соавт., 2017).

Биотестирование — это процедура установления токсичности среды с помощью живых объектов, сигнализирующих об опасности независимо от того, какие вещества и в каком сочетании вызывают изменения важных функций. Для оценки длительного воздействия малых концентраций действующих веществ тест-реакцией может служить гибель экспериментальных популяций монокультур за заданный период времени, изменение подвижности, скорость размножения и гибель организмов.

Проведенные исследования по изучению степени адекватности биотестов различным объектам исследований показали, что наиболее универсальными тест-организмами являются простейшие (инфузории тетрахимены, парамеции, стилони-

хии), которые отличаются высокой чувствительностью к широкому кругу токсикантов (Долгов и соавт., 2017).

Среди тест-организмов, применяемых при биотестировании, инфузории занимают значительное место. Они являются весьма удобными объектами для исследований, а полученные результаты имеют высокий коэффициент корреляции с данными подобных исследований на мышах, крысах, кроликах и других животных (Черемных и соавт., 2011; Богдан и соавт., 2013; Долгов и соавт., 2014).

К наиболее перспективным среди изученных тест-организмов, относятся инфузории *Tetrahymena pyriformis*, что объясняется сходством основных этапов обмена веществ этих простейших с высшими животными. Применение методов биологического тестирования с использованием инфузорий *Tetrahymena pyriformis* в сочетании с химико-аналитическими методами дает возможность более полной и достоверной оценки качества и безопасности продуктов питания, кормов, а также различных объектов окружающей среды (воды, воздуха, почвы, полимерных и строительных материалов и др.), что имеет как научное, так и практическое значение (Долгов и соавт., 2014).

Биотестирование на инфузориях *Tetrahymena pyriformis* кулинарных продуктов, обогащенных белком различных рыб Тихоокеанского бассейна, позволило провести их сравнительную характеристику по показателю биологической ценности (Карпенко & Кращенко, 2019). В результате биотестирования сделан вывод о степени загрязнения вьетнамского риса химическими токсикантами (Черемных & Май Тху, 2011), выявлены режимы термообработки, обеспечивающие наибольшую сохранность антиоксидантной активности коровьего молока (Щербакова и соавт., 2020).

Установлено, что метод биотестирования на инфузориях *Tetrahymena pyriformis* может быть использован для проведения сравнительной оценки качества осветленного восстановленного яблочного сока промышленного изготовления (Леонова & Бабанина, 2019), для исследования безопасности и биологической ценности сухого концентратра трепанга (Богданов и соавт., 2016), при биологической оценке мёда, подвергнутого воздействию различных факторов внешней среды (хранению, нагре-

ванию, фальсификации), а также продуктов пчеловодства (пыльцы, перги) (Долгов и соавт., 2016).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Объекты исследования в работе: контрольный образец овсяного печенья — прототип разрабатываемого продукта на основе сахара; опытные образцы овсяного печенья — продукты на основе натуральных сахарозаменителей.

Материалы

Для приготовления образцов печенья использовали муку овсяную (ООО ТД «Эндакси», Россия); муку пшеничную хлебопекарную высшего сорта (АО «Макфа»), сахар белый кристаллический категории ТС2 свекловичный (ООО «ПТО «Основа»), ванилин кристаллический (ООО «Проммикс»); масло сладко сливочное традиционное несоленое высшего сорта (ООО «Лав Продукт»), яичный порошок (ООО «Агроснаб»); разрыхлитель теста (ЗАО «Dr. Oetker»), соль пищевую (ОАО «Мозырьсоль»).

В качестве заменителя сахара в рецептуре опытных образцов печенья использовали трегалозу (ООО «Пищепромсырье») — легкосыпучий порошок белого цвета; изомальт (Cargill, Inc., США) — белое кристаллическое вещество без запаха, с чистым сладким вкусом и малой гигроскопичностью; стевиозид (ООО «Экотопия») — порошок белого цвета без запаха, с характерным сладковатым вкусом, коэффициент сладости составляет 250 единиц.

Методы

Определение органолептических и физико-химических показателей

Органолептические показатели качества в соответствии с требованиями ГОСТ 24901–2014² определяли путем контроля пробы изделий. Щелочность определяли титрованием фильтрата продукта раствором серной кислоты в присутствии бромтимолового синего до появления желтой окраски по ГОСТ 5898–87³; влажность — высушиванием навески продукта при температуре 130 °С и вычислении потери массы по отношению к массе анализируемой пробы до высушивания по ГОСТ 5900–2014⁴, намокаемость — по отношению массы изделия после намокания к массе сухого изделия по ГОСТ 10114–80⁵, плотность — по отношению массы изделия к его объему.

Биотестирование

В работе применяли методический подход, который заключался в тестировании различных концентраций испытуемых продуктов в водной среде и определении влияния на выживаемость и рост инфузорий.

Биотестирование печенья проводилось с использованием инфузории *Tetrahymena pyriformis*. Культуру выращивали стандартным методом на стерильной базовой пептонно-дрожжевой питательной среде, которую готовили с использованием дистиллированной воды и содержащей (в %): 0,5 глюкозы, 2 пептона бактериологического, 0,1 дрожжевого экстракта и 0,1 морской соли. Культивирование инфузорий осуществляли в хладотермостате при температуре (20 ± 1 °С) путем пересева бактериологической петлей на свежую среду через каждые 4 суток.

К 2 мл среды с культурой добавляли печенье в количестве 0,04 г, которое было определено предварительным исследованием как оптимальное. Изучали состояние культуры через различные периоды времени контакта с продуктом от 24 до 48 часов. Для оценки использована 5-балловая шкала (Табли-

² ГОСТ 24901–2014. (2014). *Печенье. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

³ ГОСТ 5898–87. (2012). *Изделия кондитерские. Методы определения кислотности и щелочности*. М.: Стандартинформ.

⁴ ГОСТ 5900–2014. (2014). *Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ*. М.: Стандартинформ.

⁵ ГОСТ 10114–80. (2012). *Изделия кондитерские мучные. Метод определения намокаемости*. М.: Стандартинформ.

Таблица 1Балловая оценка *Tetrahymena pyriformis*

Оценка	Характеристика
5 баллов	Состояние культуры соответствует стандартным характеристикам, когда все клетки подвижны, движение раз- меренное, интенсивное
4 балла	Состояние культуры, в которой отдельные клетки отличаются пониженной активностью или неподвижны, име- ют нехарактерное движение – вращательно-поступательное, круговое или вращение вокруг своей оси
3 балла	Состояние культуры, когда 10–30 % клеток инфузорий отличаются пониженной активностью или неподвижны, имеют нехарактерное движение – вращательно-поступательное, круговое или вращение вокруг своей оси
2 балла	Состояние культуры, когда 40–50 % клеток инфузорий отличаются пониженной активностью или неподвижны, имеют нехарактерное движение – вращательно-поступательное, круговое или вращение вокруг своей оси
1 балл	Состояние культуры, когда более 60 % клеток инфузорий отличаются пониженной активностью или неподвиж- ны, имеют нехарактерное движение – вращательно-поступательное, круговое или вращение вокруг своей оси
0 баллов	Состояние культуры, когда клетки неподвижны, что означает их гибель

ца 1), которая является одним из способов оценки качественного состояния инфузорий с учетом их поведенческих характеристик. Максимальному количеству баллов соответствовало традиционное поведение инфузорий, без отклонений. Снижение баллов происходило соответственно с интенсивностью снижения активности, скорости и характера движения. Минимальное количество баллов соответствовало полной гибели инфузорий. Наблюдения за инфузориями проводили при 100^х увеличении.

Для определения количества инфузорий проводили подсчет клеток через 48 часов культивирования в большом квадрате камеры Фукса-Розенталя. Культуру в среде перемешивали для получения однородной взвеси и пипеткой отбирали в отдельную емкость 1 см³ культуры, куда добавляли 10 мкл раствора йода для гибели простейших. Через 2 минуты содержимое перемешивали и вносили суспензию в счетную камеру. При 100-кратном увеличении производили подсчет клеток инфузорий в 16 больших квадратах. Все исследования проводили в трех повторностях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработка овсяного печенья с моделированным углеводным составом

Для определения влияния выбранных ингредиентов на качество готового продукта разработаны рецептуры и выработаны контрольный образец овсяного печенья с сахаром и опытные образцы

овсяного печенья на основе натуральных сахарозаменителей (Таблица 2).

При разработке рецептур осуществлено целенаправленное моделирование ингредиентного состава овсяного печенья за счет 100%-ной замены сахара на натуральные сахарозаменители трегалозу или изомальт, что будет способствовать снижению гликемического индекса этого изделия.

Таблица 2

Разработанная рецептура овсяного печенья

Наименование компонента	Расход сырья на 1 т изделия, кг		
	Кон- трольный образец (прототип)	Опытный- образец №1 (с трегалозой)	Опытный- образец №2 (с изомальтом)
Мука овсяная	282,42	282,28	282,88
Мука пшеничная в/с	197,69	197,59	198,02
Яичный порошок	169,92	163,59	160,36
Сахар	197,69	–	–
Трегалоза	–	197,59	–
Стевиозид	–	2,12	1,13
Изомальт	–	–	198,02
Разрыхлитель	8,92	8,91	8,93
Сливочное масло	282,42	282,28	282,88
Ванилин кристаллический	0,71	0,71	0,71
Соль поваренная пищевая	0,71	0,71	0,71
Итого	1140,47	1135,77	1133,65
Выход	1000,00	1000,00	1000,00

Общеизвестно, что овсяная мука является источником сбалансированного растительного белка, липидов, витаминов группы В, РР, Е, минеральных веществ и растворимой клетчатки. Однако наличие пшеничной муки разных сортов, уступающей овсяному сырью по пищевой ценности, в рецептуре овсяного печенья, доступного для потребителя, колеблется в широких диапазонах (86 % и более от общей массы муки), что может снижать пользу овсяных компонентов для здоровья человека (Чанов и соавт., 2019). Анализ рецептуры разработанного овсяного печенья показал, что из применяемого сырья злаковых культур, мука овсяная количественно превалирует (в 1,5 раза) над пшеничной мукой (Таблица 2).

Классическая технология производства овсяного печенья неэффективна при замене сахара на сахарозаменители, так как не происходит взбивания масла с сахарозаменителями. Поэтому далее исследования были направлены на оптимизацию технологии овсяного печенья с моделеванным углеводным составом. При изготовлении печенья одним из основных полуфабрикатов, определяющих качество печенья, является эмульсия. В результате разработана технология приготовления эмульсии, имеющей высокую стойкость и стабильность, что позволяет получить тесто с требуемыми реологическими характеристиками, обеспечивающая равномерность распределения входящих в рецептурный состав компонентов, образование однородной структуры теста и готового овсяного печенья.

Технологическая схема приготовления печенья на основе натуральных сахарозаменителей предусматривает смешивание трегалозы/изомальта и стевиозида с горячей водой для обеспечения растворения кристаллов сахарозаменителей в течение

2–3 минут, последующее добавление яичного порошка и пластифицированного сливочного масла, перемешивание полученной эмульсии в течение 1,5–2 мин. Внесение в готовую эмульсию предварительно заваренной овсяной муки (горячей водой температурой 90–95 °С), соли, и перемешивание смеси в течение 2–4 мин. Затем вносится мука пшеничная с химическим разрыхлителем и ванилином. Тесто перемешивается до готовности. Для образования однородной пластичной, не мажущейся структуры готовых изделий, тесто подвергали вылежке в течение 30 мин в холодильнике. После вылежки тесто приобретало пластичную не мажущуюся консистенцию, легко формировалось. Печенье выпекали при температуре 180 °С в течение 10 мин на сахаре и 13 мин на трегалозе и изомальте, после охлаждения изделий провели оценку по органолептическим и физико-химическим показателям.

Оценка качества овсяного печенья с моделеванным углеводным составом

Опытные образцы печенья на основе сахарозаменителей обладали приятным вкусом и запахом, имели равномерную, хорошо развитую пористость. По сравнению с контрольным образцом изделия на трегалозе и изомальте имели меньшее значение плотности на 9–12 %, в результате чего имели более хрупкую структуру.

При определении щелочности в исследуемых образцах печенья установлено, что ее значение практически не изменяется при замене сахара трегалозой или изомальтом (Рисунок 1). Намокаемость и влажность печенья, приготовленного на сахарозаменителях, по сравнению с контролем увеличились (Рисунок 2, 3), что обусловлено присутствием

Рисунок 1
Щелочность разработанного овсяного печенья

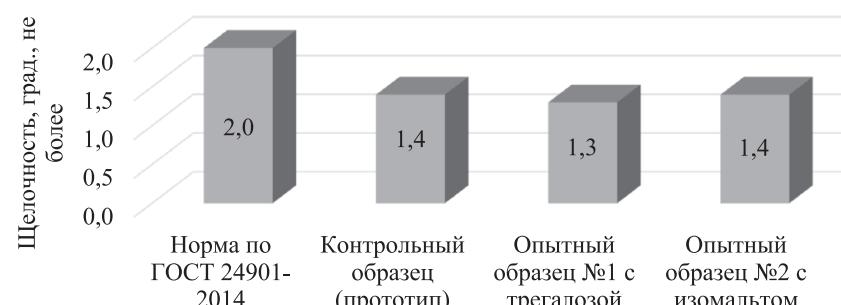
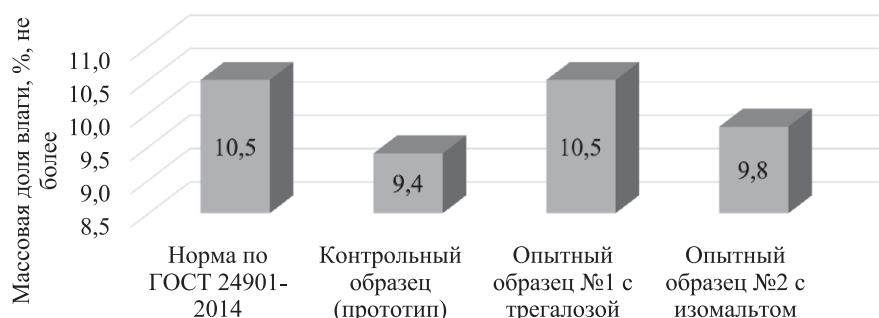
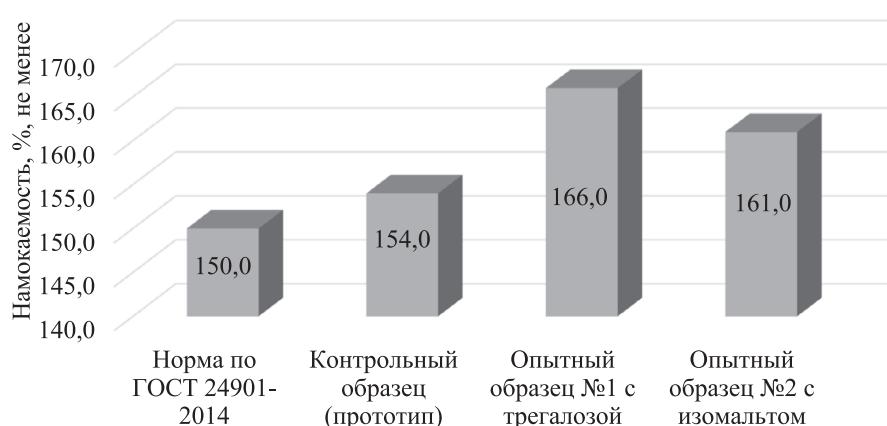


Рисунок 2

Массовая доля влаги разработанного овсяного печенья

**Рисунок 3**

Намокаемость разработанного овсяного печенья



в рецептуре трегалозы, как влагоудерживающего агента и изомальта, способствующего уменьшению миграции влаги.

Анализ химического состава опытных образцов показал, что в 100 г печенья с трегалозой содержится 7,2 г белка, 23,0 г жира, 49,0 г углеводов; энергетическая ценность – 432 ккал/1807 кДж; в 100 г печенья с изомальтом – 7,3 г белка, 23,0 г жира, 50,0 г углеводов; энергетическая ценность – 373 ккал/1629 кДж, что ниже энергетической ценности контрольного образца на 60 ккал/183 кДж.

Влияние овсяного печенья с модифицированным углеводным составом на тест-организмы *Tetrahymena pyriformis*

Проведено исследование влияния печенья с сахаром и сахарозаменителями на состояние и поведенческие характеристики культуры *Tetrahymena pyriformis* (Таблица 3).

Таблица 3Балловая оценка *Tetrahymena pyriformis* в присутствии овсяного печенья с сахаром и сахарозаменителями

Время проведения эксперимента	Оценка, в баллах			
	Контроль	Печенье с сахаром	Печенье с трегалозой	Печенье с изомальтом
24 ч	5,0	5,0	5,0	4,8
48 ч	5,0	5,0	4,5	4,2

Как видно из полученных результатов (Таблица 3), добавление печенья в среду обитания *Tetrahymena pyriformis* практически не снижает активность культуры в период до 24 ч. Через 48 ч было обнаружено, что лучшее состояние *Tetrahymena pyriformis*, практически идентичное поведению в контроле, имело место в присутствии печенья с сахаром и несколько менее благоприятными являются среди с добавлением печенья с сахарозаменителями.

Таблица 4

Результаты биотестирования печенья с использованием культуры *Tetrahymena pyriformis* через 48 часов культивирования

№ образца	Повтор	Количество клеток в одном большом квадрате камеры Фукса-Розенталя								Среднее значение
		40	34	44	30	40	39	47	40	
Контроль 41		37	41	39	38	35	45	38		39
	1	36	36	43	33	39	15	23	30	
Овсяное печенье с сахаром	2	19	17	27	20	19	20	28	23	24
	3	31	20	30	28	33	23	28	23	
Овсяное печенье с трегалозой	1	24	22	28	30	19	20	20	22	20
	2	14	21	19	18	22	25	29	23	
Овсяное печенье с изомальтом	3	17	21	25	18	33	30	29	28	12
	1	20	18	16	20	17	15	14	14	
Овсяное печенье с трегалозой	2	18	16	21	20	17	14	15	17	20
	3	23	22	25	24	27	25	22	18	
Овсяное печенье с изомальтом	1	23	20	21	25	20	25	23	25	12
	2	20	17	25	20	19	21	30	28	
Овсяное печенье с изомальтом	3	20	19	18	22	24	21	20	33	12
	1	11	14	10	4	11	12	10	7	
Овсяное печенье с изомальтом	2	20	10	8	5	8	11	12	8	12
	3	12	16	18	12	17	11	10	9	
Овсяное печенье с изомальтом	1	9	11	15	10	12	16	13	10	12
	2	17	13	12	8	11	15	16	14	

Добавление печенья в среду обитания культуры снижает активность и интенсивность развития *Tetrahymena pyriformis* по сравнению с контролем (Таблица 4). Количество клеток в образцах с добавлением печенья в 2...4 раза меньше, чем в контроле, но добавление печенья в количестве 0,04 г на 200 мкл среды не приводит к гибели инфузорий. Сравнительная оценка результатов позволяет определить, что через 48 часов культивирования наибольшее количество клеток обнаружено в присутствии печенья овсяного с сахаром, несколько меньше в присутствии печенья с трегалозой. Наименее благоприятной средой для простейших оказалось среда с добавлением овсяного печенья с изомальтом, однако и в присутствии этого сахарозаменителя *Tetrahymena pyriformis* развивается, хотя и несколько менее интенсивно.

Биотестирование показало, что разработанное печенье с сахарозаменителями близко к печенью

с сахаром по воздействию на *Tetrahymena pyriformis*, не проявляет признаков токсичности и, следовательно, является биологически безопасным для здоровья человека.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований осуществлено моделирование состава овсяного печенья, заключающееся в исключении из рецептуры печенья сахара и внесении ингредиентов, не вызывающих гипергликемического эффекта, — сахарозаменителя трегалозы или изомальта, и подсластителя стевиозида. Используя данные сахарозаменители, создали мучное кондитерское изделие профилактического назначения диетической направленности. Разработана технология производства нового вида печенья, отработаны параметры процесса его производства.

Изучена возможность использования биотестирования на инфузориях *Tetrahymena pyriformis* для оценки безопасности овсяного печенья с сахаром и сахарозаменителями. Выявлено позитивное действие разработанного овсяного печенья с модифицированным углеводным составом на живые клетки тест-культуры. Печенье с сахарозаменителями – изомальтом/трегалозой – не вызывает уменьшение метаболической активности простейших, интегральной оценкой которой является динамика роста культуры в пробе исследуемого объекта.

Результаты исследований в дальнейшем можно использовать при создании новых рецептур разных видов кондитерских изделий с модифицированным углеводным составом и со сниженным гликемическим индексом. Это позволит расширить ассортимент кондитерских изделий профилактического назначения диетической направленности.

В продолжении данной работы целесообразно исследовать возможность использования биоте-

стирования на инфузориях *Tetrahymena pyriformis* как самих сахарозаменителей, так и разнообразных кондитерских изделий на их основе. Исследовать влияние разработанного овсяного печенья с модифицированным углеводным составом на постпрандиальную гликемию у больных сахарным диабетом.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Ткешелашвили М. Е.: Концептуализация, Научное руководство исследованием, Проведение исследования.

Бобожонова Г. А.: Визуализация, Создание рукописи и её редактирование, Проведение исследования.

Леонова И. Б.: Визуализация, Создание черновика рукописи, Проведение исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- Богдан, А. С., Бондарук, А. М., & Цыганков, В. Г. (2013). Методические подходы к оценке на *Tetrahymena pyriformis* биологической ценности и безвредности пищевой продукции. *Здоровье и окружающая среда*, (22), 247–252.
- Богданов, В. Д., Сахарова, О. В., & Сахарова, Т. Г. (2016). Исследование безопасности и биологической ценности сухого концентрата трепанга биотестированием. *Научные труды Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета*, (1), 93–98.
- Вислоухова, В., & Шевчук, А. (2017). Кондитерские изделия нового поколения. *Наука и инновации*, (5), 30–33.
- Воробьева, В. М., Воробьева, И. С., Кочеткова, А. А., Шарифдинов, Х. Х., & Зорина, Е. Е. (2014). Модификация углеводного состава кондитерских изделий для больных сахарным диабетом 2 типа. *Вопросы питания*, 83(6), 66–73.
- Долгов, В. А., Лавина, С. А., & Никитченко, Д. В. (2014а). Оценка и взаимосвязь параметров токсичности различных веществ для инфузорий Тетрахимена пириформис и белых крыс. *Вестник Российского Университета дружбы народов. Агрономия и животноводство*, (2), 58–65.
- Долгов, В. А., Лавина, С. А., Арно, Т. С., Семёнова, Е. А., & Осипова, И. С. (2016). Биологическая оценка меда и продуктов пчеловодства (пыльцы, перги). *Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*, (1), 28–33.
- Долгов, В. А., Лавина, С. А., Козак, С. С., & Никитченко, Д. В. (2014б). Биотестирование продуктов, кормов и объектов окружающей среды. *Вестник Российской университета дружбы народов. серия: международные отношения. Агрономия и животноводство*, (3), 69–78.
- Долгов, В. А., Лавина, С. А., Семенова, Е. А., & Осипова, И. С. (2017). Направления и перспективы совершенствования методологии ветеринарно-санитарной экспертизы. *Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*, (4), 6–13.
- Казарян, В. С., Куракина, А. Н., Филиппова, Е. В., Красина, И. Б., & Красина, Е. В. (2019). Разработка технологии и рецептуры шоколада без сахара, обогащенного инулином. *Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия*, (26), 39–43.
- Карпенко, Ю. В., & Кращенко, В. В. (2019). Биотестирование рыбной кулинарной продукции с использованием *Tetrahymena pyriformis*. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Рыбное хозяйство*, (3), 132–140. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2019-3-132-140>
- Кох, Е. С., Гаврилов, А. С., & Ларионов, Л. П. (2015). Разработка подслащающего средства на основе сухого экстракта стевии. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Медицина. Фармация*, (16), 185–193.
- Кочетов, А. А., & Синявина, Н. Г. (2021). Стевия (*Stevia rebaudiana Bertoni*): Биохимический состав, терапев-

- тические свойства и использование в пищевой промышленности (обзор). *Химия растительного сырья*, (2), 5–27. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021027931>
- Куракина, А. Н., Красина, И. Б., & Галтелов, Д. Б. (2015). Разработка базовой рецептуры жевательных конфет. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, (1), 107–110.
- Леонова, И. Б., & Бабанина, В. И. (2019). Изучение возможности использования биотестирования для сравнительной оценки качества соков. *Экономика: Вчера, сегодня, завтра*, 9(1), 419–427. <https://doi.org/10.25799/AR.2019.80.1.043>
- Макогонова, В. А., Хрипушкина, А. С., & Лобосова, Л. А. (2016). Снижение энергетической ценности зефира. *Границы науки*, 4(2), 36–41.
- Митчелл, Х. (2010). *Подсластители и сахарозаменители*. СПб.: Профессия.
- Палаткин, В. В. (2017). Влияние сахара на организм человека. *Фундаментальные аспекты психического здоровья*, (2), 44–46.
- Полянский, К. К., Подпоринова, Г. К., & Богомолов, Д. М. (2005). Стевия в продуктах целебно-профилактического назначения. *Пищевая промышленность*, (5), 58.
- Потороко, И. Ю., & Паймулина, А. В. (2015). Применимость стевиозида в обеспечении функциональных свойств сдобных булочных изделий. *Вестник Южно-уральского государственного университета. Пищевые и биотехнологии*, 3(3), 63–68. <https://doi.org/10.14529/food150309>
- Рушиц, А. А. (2015). Исследование потребительских свойств песочного печенья с сахарозаменителем. *Вестник Южно-уральского государственного университета*, 3(1), 45–50.
- Савенкова, Т. В., Кочеткова, А. А., Шарафетдинов, Х. Х., Плотникова, О. А., Солдатова, Е. А., Воробьева, В. М., & Глазкова, И. В. (2017). Теоретические и практические аспекты создания мучных кондитерских изделий для больных сахарным диабетом 2 типа. *Пищевая промышленность*, (4), 44–48.
- Ткешелашвили, М. Е., Бобожонова, Г. А., Сорокина, А. В., & Бочкарёва, М. Д. (2019). Расширение ассортимента обогащенных кексов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 89–102. <http://doi.org/10.36107/spfp.2019.188>
- Феофилова, Е. П., Усов, А. И., Мысякина, И. С., & Кочкина, Г. А. (2014). Трекалоза: Особенности химического строения, биологические функции и практическое значение. *Микробиология*, 83(3), 271–283. <https://doi.org/10.7868/S002635614020074>
- Харламова, Е. В., Коробов, И. С., & Лобосова, Л. А. (2013). Мармелад функционального назначения со стевиозидом. *Границы науки*, (1), 82–86.
- Черемных, Е. Г., Кулешин, А. В., & Кулешина, О. Н. (2011). Биотестирование пищевых добавок на инфузориях. *Вестник Российского университета дружбы народов. Экология и безопасность жизнедеятельности*, (3), 5–12.
- Черемных, Е. Г., & Май Т. Л. (2011). Биотестирование риса из Вьетнама на приборе БиоЛат. *Вестник Российского университета дружбы народов. Экология и безопасность жизнедеятельности*, (4), 65–71.
- Шарафетдинов, Х.Х., Плотникова, О.А., Пилипенко, В.В., Кочеткова, А.А., Воробьева, В.М., Воробьева, И.С., Тутельян, В.А. (2015). Влияние специализированного пищевого продукта с модифицированным углеводным профилем на постпрандиальную гликемию у больных сахарным диабетом 2 типа. *Вопросы питания*, 84(6), 92–98. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2015-00066>
- Швецова, А. В., & Пищикова, Г. Б. (2016). Разработка леденцовой карамели без сахара и оценка ее качества. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Пищевые и биотехнологии*, 4(3), 64–70. <https://doi.org/10.14529/food160308>
- Щербакова, Ю. В., Семенова, Ю. В., Багаутдинова, Г. Р., Насрулина, К. А., & Ахмадуллина, Ф. Ю. (2020). Метод биотестирования для контроля качества молочного сырья при промышленных режимах термообработки. *Химическая безопасность*, 4(2), 282–292. <http://doi.org/10.25514/CHS.2020.2.18020>
- Clemens, R. A., Jones, J. M., Kern, M., Lee, S. Y., Mayhew, E. J., Slavin, J. L., & Zivanovic, S. (2016). Functionality of sugars in foods and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 433–470. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12194>

REFERENCES

- Bogdan, A. S., Bondaruk, A. M., & Tsygankov, V. G. (2013). Metodicheskie podkhody k otsenke na Tetrahymena pyriformis biologicheskoi tsennosti i bezvrednosti pishchevoi produktov [Methodological approaches to the assessment of the biological value and harmlessness of food products on Tetrahymena pyriformis]. *Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda [Health and Environment]*, (22), 247–252.
- Bogdanov, V. D., Sakharova, O. V., & Sakharova, T. G. (2016). Issledovanie bezopasnosti i biologicheskoi tsennosti sukhogo kontsentrata trepanga biotestirovaniem [Investigation of the safety and biological value of dry trepang concentrate by biotesting]. *Nauchnye trudy Dal'nevostoch-*
nogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo rybokhozyaistvennogo universiteta [Scientific works of the Far Eastern State Technical Fisheries University], (1), 93–98.
- Visloukhova, V., & Shevchuk, A. (2017). Konditerskie izdeliya novogo pokoleniya [Confectionery products of the new generation]. *Nauka i innovatsii [Science and Innovation]*, (5), 30–33.
- Vorob'eva, V. M., Vorob'eva, I. S., Kochetkova, A. A., Sharafetdinov, Kh. Kh., & Zorina, E. E. (2014). Modifikatsiya uglevodnogo sostava konditerskikh izdelii dlya bol'nykh sakharnym diabetom 2 tipa [Modification of the carbohydrate composition of confectionery products for patients

- with type 2 diabetes mellitus]. *Voprosy pitaniya [Nutrition Issues]*, 83(6), 66–73.
- Dolgov, V. A., Lavina, S. A., & Nikitchenko, D. V. (2014a). Ot-senka i vzaimosvyaz' parametrov toksichnosti razlichnykh veshchestv dlya infuzorii Tetrakhimena pyriformis i belykh krys [Assessment and interrelation of toxicity parameters of various substances for Tetrachymene pyriformis and white rats infusoria]. *Vestnik Rossiiskogo Universiteta druzhby narodov. Agronomiya i zhivotnovodstvo [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Agronomy and Animal Husbandry]*, (2), 58–65.
- Dolgov, V. A., Lavina, S. A., Arno, T. S., Semenova, E. A., & Osipova, I. S. (2016). Biologicheskaya otsenka meda i produktov pchelovodstva (pelytsy, pergi) [Biological evaluation of honey and bee products (pollen, perga)]. *Problemy veterinarnoi sanitarii, gigieny i ekologii [Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology]*, (1), 28–33.
- Dolgov, V. A., Lavina, S. A., Kozak, S. S., & Nikitchenko, D. V. (2014b). Biotestirovaniye produktov, kormov i ob'ektov okruzhayushchey sredy [Biotesting of products, feeds and environmental objects]. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. seriya: mezhdunarodnye otnosheniya. Agronomiya i zhivotnovodstvo [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Agronomy and Animal Husbandry]*, (3), 69–78.
- Dolgov, V. A., Lavina, S. A., Semenova, E. A., & Osipova, I. S. (2017). Napravleniya i perspektivy sovershenstvovaniya metodologii veterinarno-sanitarnoi ekspertizy [Directions and prospects for improving the methodology of veterinary and sanitary examination]. *Problemy veterinarnoi sanitarii, gigieny i ekologii [Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology]*, (4), 6–13.
- Kazaryan, V. S., Kurakina, A. N., Filippova, E. V., Krasina, I. B., & Krasina, E. V. (2019). Razrabotka tekhnologii i retseptury shokolada bez sakhara, obogashchennogo inulinom [Development of technology and formulation of sugar-free chocolate enriched with inulin]. *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya [Scientific works of the North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking]*, (26), 39–43.
- Karpenko, Yu. V., & Krashchenko, V. V. (2019). Biotestirovaniye rybnoi kulinarnoi produktov s ispol'zovaniem Tetrahymena pyriformis [Biotesting of fish culinary products using Tetrahymena pyriformis]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Rybnoe khozyaistvo [Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Fisheries]*, (3), 132–140. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2019-3-132-140>
- Kokh, E. S., Gavrilov, A. S., & Larionov, L. P. (2015). Razrabotka podslashchivayushchego sredstva na osnove sukhogo ekstrakta stevia [Development of a sweetener based on dry stevia extract]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Meditsina. Farmatsiya [Scientific bulletin of Belgorod State University. Medicine. Pharmacy]*, (16), 185–193.
- Kochetov, A. A., & Sinyavina, N. G. (2021). Steviya (Stevia rebaudiana Bertoni): Biokhimicheskii sostav, terapeuticheskie svoistva i ispol'zovanie v pishchevoi promyslennosti (obzor) [Stevia (Stevia rebaudiana Bertoni): Biochemical composition, therapeutic properties and use in the food industry (review)]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of Plant Raw Materials]*, (2), 5–27. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021027931>
- Kurakina, A. N., Krasina, I. B., & Galtelov, D. B. (2015). Razrabotka bazovoi retseptury zhevavt'nykh konfet [Development of the basic recipe of chewing candies]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya [News of Higher Educational Institutions. Food Technology]*, (1), 107–110.
- Leonova, I. B., & Babanina, V. I. (2019). Izuchenie vozmozhnosti ispol'zovaniya biotestirovaniya dlya sravnitel'noi otsenki kachestva sokov [Study of the possibility of using biotesting for comparative evaluation of juice quality]. *Ekonomika: Vchera, segodnya, zavtra [Economy: Yesterday, today, Tomorrow]*, 9(1), 419–427. <https://doi.org/10.25799/AR.2019.80.1.043>
- Makogonova, V. A., Khrushina, A. S., & Lobosova, L. A. (2016). Snizhenie energeticheskoi tsennosti zefira [Reducing the energy value of marshmallows]. *Grani nauki [Facets of Science]*, 4(2), 36–41.
- Mitchell, Kh. (2010). *Podslastiteli i sakharozameniteli [Sweeteners and sweeteners]*. S-Petersburg: Professiya.
- Palatkin, V. V. (2017). Vliyanie sakhara na organizm cheloveka [The effect of sugar on the human body]. *Fundamental'nye aspeky psichicheskogo zdorov'ya [Fundamental Aspects of Mental Health]*, (2), 44–46.
- Polyanskii, K. K., Podporinova, G. K., & Bogomolov, D. M. (2005). Steviya v produktakh tselebno-profilakticheskogo naznacheniya [Stevia in medicinal and prophylactic products]. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*, (5), 58.
- Potoroko, I. Yu., & Paimulina, A. V. (2015). Primenimost' steviosida v obespechenii funktsional'nykh svoistv sdobnykh bulochnykh izdelii [The applicability of stevioside in ensuring the functional properties of bakery products]. *Vestnik Yuzhno-ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Pishchevye i biotekhnologii [Bulletin of the South Ural State University. Food and biotechnology]*, 3(3), 63–68. <https://doi.org/10.14529/food150309>
- Rushchits, A. A. (2015). Issledovanie potrebitel'skikh svoistv pesochnogo pechen'ya s sakharozamenitelem [Research of consumer properties of shortbread cookies with sweetener]. *Vestnik Yuzhno-ural'skogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the South Ural State University]*, 3(1), 45–50.
- Savenkova, T. V., Kochetkova, A. A., Sharafetdinov, Kh. Kh., Plotnikova, O. A., Soldatova, E. A., Vorob'eva, V. M., & Glazkova, I. V. (2017). Teoreticheskie i prakticheskie aspekty sozdaniya muchnykh konditerskikh izdelii dlya bol'nykh sakharnym diabetom 2 tipa [Theoretical and practical aspects of creating flour confectionery products for patients with type 2 diabetes mellitus]. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*, (4), 44–48.
- Tkeshelashvili, M. E., Bobozhonova, G. A., Sorokina, A. V., & Bochkareva, M. D. (2019). Rasshirenie assortimenta obo-gashchennykh keksov [Expanding the range of enriched cupcakes]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and processing of Farm Products]*, (4), 89–102. <http://doi.org/10.36107/spfp.2019.188>

- Feofilova, E. P., Usov, A. I., Mysyakina, I. S., & Kochkina, G. A. (2014). Tregaloza: Osobennosti khimicheskogo stroeniya, biologicheskie funktsii i prakticheskoe znachenie [Trehalose: Features of chemical structure, biological functions and practical significance]. *Mikrobiologiya [Microbiology]*, 83(3), 271–283. <https://doi.org/10.7868/S002635614020074>
- Kharlamova, E. V., Korobov, I. S., & Lobosova, L. A. (2013). Marmelad funktsional'nogo naznacheniya so steviodom [Functional marmalade with stevioside]. *Grani nauki [Facets of Science]*, (1), 82–86.
- Cheremnykh, E. G., Kuleshin, A. V., & Kuleshina, O. N. (2011). Biotestirovanie pishchevykh dobavok na infuzoriyakh [Biotesting of food additives on infusoria]. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Ecology and Life Safety], (3), 5–12.
- Cheremnykh, E. G., & Mai T. L. (2011). Biotestirovanie risa iz V'etnama na pribore BioLaT [Biotesting of rice from Vietnam on the BioLaT device]. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Ecology and Life Safety], (4), 65–71.
- Sharafetdinov, Kh. Kh., Plotnikova, O. A., Pilipenko, V. V., Kochetkova, A. A., Vorob'eva, V. M., Vorob'eva, I. S., Tutel'yan, V. A. (2015). Vliyanie spetsializirovannogo pishchevogo produkta s modifitsirovannym uglevodnym profilem na postprandial'nuyu glikemiyu u bol'nykh sakharnym diabetom 2 tipa [The effect of a specialized food product with a modified carbohydrate profile on postprandial glycemia in patients with type 2 diabetes mellitus]. *Voprosy pitaniya [Nutrition Issues]*, 84(6), 92–98. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2015-00066>
- Shvetsova, A. V., & Pishchikov, G. B. (2016). Razrabotka ledentsovoi karameli bez sakha i otsenka ee kachestva [Development of sugar-free candy candy and evaluation of its quality]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Pishchevye i biotekhnologii [Bulletin of the South Ural State University. Food and Biotechnology]*, 4(3), 64–70. <https://doi.org/10.14529/food160308>
- Shcherbakova, Yu. V., Semenova, Yu. V., Bagautdinova, G. R., Nasrulina, K. A., & Akhmadullina, F. Yu. (2020). Metod biotestirovaniya dlya kontrolya kachestva molochnogo syr'ya pri promyshlennym rezhimakh termoobrabotki [Biotesting method for quality control of dairy raw materials in industrial heat treatment modes]. *Khimicheskaya bezopasnost' [Chemical Safety]*, 4(2), 282–292. <http://doi.org/10.25514/CHS.2020.2.18020>
- Clemens, R. A., Jones, J. M., Kern, M., Lee, S. Y., Mayhew, E. J., Slavin, J. L., & Zivanovic, S. (2016). Functionality of sugars in foods and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 433–470. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12194>

УДК 637.1

¹ Федеральный исследовательский центр питания и биотехнологии, г. Москва, Российская Федерация

² Учебно-опытный молочный завод Вологодской Государственной Молочнохозяйственной Академии им. Н. В. Верещагина, г. Вологда, Российская федерация

³ Московский государственный университет пищевых производств, г. Москва, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Абабкова Анна Александровна

Адрес: 160555, Вологодская обл., г. Вологда, с. Молочное Вологодского р-на, ул. Панкратова, д. 15

E-mail: primadonna.88@yandex.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Новокшанова, А. Л., Абабкова, А. А., & Федотова Ю. С. (2022). Обоснование целесообразности разработки технологии нового высокобелкового молочного напитка с ячменем. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 142–151. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.339>

ПОСТУПИЛА: 17.06.2022

ПРИНЯТА: 03.10.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 14.10.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Материал подготовлен в рамках Государственного задания FGMF-2022-0002.



Обоснование целесообразности разработки технологии нового высокобелкового молочного напитка с ячменем

А. Л. Новокшанова¹, А. А. Абабкова², Ю. С. Федотова³

АННОТАЦИЯ

Введение. Сочетание молочного и растительного сырья позволяет обогатить продукты витаминами, минеральными веществами, пищевыми волокнами и различными мицеральными соединениями. Введение растительных ингредиентов в молочное сырье способствует разнообразию ассортимента и, кроме того, может быть полезным в технологическом плане, например, для стабилизации молочной дисперсии. В качестве растительного ингредиента использовали ячмень, который характеризуется полным отсутствием кофеина, что позволяет его использовать в производстве продуктов для людей, которым кофе не рекомендуется из диетологических соображений.

Цель. Изучение органолептической и технологической совместимости ячменя с молочным сырьем при разработке рецептуры и технологии производства высокобелкового молочного напитка.

Материалы и методы. В работе использовано сухое обезжиренное молоко и концентрат пищевой ячменя (далее по тексту – ячмень) с целью разработки высокобелкового молочного напитка – заменителя кофе.

Результаты. Исследованы органолептические, физико-химические, микробиологические показатели трех рецептур напитка с внесением ячменя в количестве 6,5 %, 7,0 % и 7,5 %. В трех вариантах напитка, содержащих по 18 % сухого обезжиренного молока, массовая доля белка составила, соответственно, 7,75 %, 7,80 % и 7,85 %, что соответствует определению «с высоким содержанием белка». Сразу после выработки все образцы имели активную кислотность, характерную для свежего молока; по мере хранения во всех образцах наблюдалось снижение активной кислотности. Вязкость опытных образцов при хранении молока повышалась, что связано с коллоидными свойствами молочных белков и полисахаридов ячменя. Увеличение вязкости было благоприятно для консистенции продукта, которая сохраняла текучесть и однородность. Количество микроорганизмов во всех образцах после 19 суток хранения при температуре (4 ± 2) °C увеличилось, но не превышало допустимый Таможенным законодательством норматив – 1 × 10⁵ КОЕ/см³.

Выводы. На основе результатов испытаний образцов разработана технологическая схема производства. Выбранные режимы технологического процесса позволяют получить напиток с хорошими органолептическими и микробиологическими показателями.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

здоровое питание, ячмень, топинамбур, сухое молоко, высокобелковый продукт

Justification of the Feasibility of Developing a Technology for a New High-Protein Milk Drink with Barley

- ¹ Federal Research Centre of Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russian Federation
² Training and Experimental Dairy Plant of Vologda State Dairy Academy named after N. V. Vereshchagin, Moscow, Russian Federation
³ Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Anna A. Ababkova

Address: 15, Pankratova st.,
 Dairy settlement, Vologda region,
 Vologda, 160555, Russian Federation
 E-mail: primadonna.88@yandex.ru

FOR CITATIONS:

Novokshanova, A. L., Ababkova, A. A., & Fedotova, Yu. S. (2022). Justification of the feasibility of developing a technology for a new high-protein milk drink with barley. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 142–151. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.339>

RECEIVED: 17.06.2022

ACCEPTED: 03.10.2022

PUBLISHED: 14.10.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FUNDING:

The article was prepared as part of the state task FGMF-2022-0002.



Alla L. Novokshanova¹, Anna A. Ababkova², Yuliya S. Fedotova³

ABSTRACT

Background. The combination of dairy and vegetable raw materials makes it possible to enrich products with vitamins, minerals, dietary fiber and various minor compounds. The introduction of herbal ingredients into raw milk contributes to the diversity of the assortment and, in addition, can be useful in terms of technology, for example, to stabilize the milk dispersion. Barley was used as a herbal ingredient, which is characterized by a complete absence of caffeine, which allows it to be used in the production of products for people who are not recommended coffee for dietary reasons.

Purpose. Study of the organoleptic and technological compatibility of barley with dairy raw materials in the development of a recipe and technology for the production of a high-protein milk drink.

Materials and Methods. We used skimmed milk powder and food barley concentrate (hereinafter referred to as barley) in order to develop a high-protein milk drink – a coffee substitute.

Results. The organoleptic, physico-chemical, microbiological parameters of three drink recipes with the addition of barley in the amount of 6.5%, 7.0% and 7.5% were studied. In three versions of the drink, containing 18% of skimmed milk powder, the mass fraction of protein was 7.75%, 7.80% and 7.85%, respectively, which corresponds to the definition of "high protein". Immediately after production, all samples had an active acidity characteristic of fresh milk; during storage, a decrease in active acidity was observed in all samples. The viscosity of the prototypes increased during storage of milk, which is associated with the colloidal properties of milk proteins and barley polysaccharides. The increase in viscosity was beneficial to the consistency of the product, which retained fluidity and uniformity. The number of microorganisms in all samples after 19 days of storage at a temperature of $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$ increased, but did not exceed the standard allowed by the Customs legislation – $1 \times 10^5 \text{ CFU/cm}^3$.

Conclusion. Based on the test results of the samples, a technological scheme of production was developed. The selected modes of the technological process make it possible to obtain a drink with good organoleptic and microbiological parameters.

KEYWORDS

healthy nutrition, barley, Jerusalem artichoke, powdered milk, high-protein product

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение населения высококачественными биологически полноценными продуктами питания имеет большое социальное значение, особенно в связи с нарушением структуры питания (Попова и соавт., 2021). Приоритетным направлением государственной политики России в области здорового питания следует считать соответствие физиологических потребностей организма человека в энергии и важных пищевых веществах структуре потребления питания¹. Данный вопрос имеет большое значение относительно восполнения дефицита белка, который наблюдается в рационах россиян в последние десятилетия.

Пищевая промышленность может способствовать устраниению дисбаланса в структуре питания населения, путем создания новых продуктов с повышенным содержанием белка, относительно небольшой калорийностью и доступной ценой продукта. С учетом показателя низкой калорийности, времени усвоения основных пищевых компонентов, а также с точки зрения соотношения цены и качества, одним из наиболее оптимальных источников белкового сырья можно считать молочные продукты (Батурина и соавт., 2020; Федотова, 2019). Сочетание молочно-го и растительного сырья позволяет обогатить продукты витаминами, минеральными веществами, пищевыми волокнами и различными миорными соединениями^{2,3,4,5} (Крусь и соавт., 2013).

За прототип нового продукта был взят ячменный кофе — популярный во многих странах напиток. Важное достоинство продукта — полное отсутствие кофеина, поэтому ячменный кофе могут пить люди, которым кофе не рекомендуется из диетологических соображений. До появления кофе без кофеина ячменный напиток был единственной альтернативой для тех, кому противопоказан кофеин по состоянию здоровья.

В кофейнях и барах заменитель кофе делают из обжаренного ячменя. Цвет и консистенция ячменного напитка внешне очень схожа с натуральным кофе. Вкус мягкий, с нотками обжаренного хлеба, а добавление молока делает напиток похожим на капучино.

Основная масса углеводов ячменя представлена крахмалом. Содержание моно- и олигосахаридов в зерне ячменя, по данным разных авторов, варьирует в пределах 1,4–6,8 %. В зародыше обнаружено 4,9 % раффинозы (Бородулин, 2014).

Из некрахмальных полисахаридов в ячмене присутствуют гемицеллюзы и β -глюкан. Смешанный β -D-глюкан эндосперма ячменя относится к группе неразветвленных полисахаридов, состоящих из 1,4- и 1,3-D-глюкопиранозных остатков в варьирующих соотношениях. Выделенный в чистом виде β -глюкан, содержащийся в ячмене от 1,5 до 8 %, дает вязкие устойчивые растворы, что может быть полезным для стабилизации пищевых систем.

В плане пищевой ценности β -глюканы способны оказывать на организм человека профилактический и лечебный эффект (Harland, 2014; Лоскутов и соавт., 2017), который обусловлен их противовоспалительным, противоопухолевым, противоаллергическим, антиоксидантным и иммунопротекторным действием (Sagnelli et al., 2018; Bozbulut & Sanlier, 2019). Также положительная роль β -глюкана на организм человека заключается в снижении концентрации глюкозы, общего холестерина, липопротеинов низкой плотности и триглицеридов в крови (Behall et al., 2004; Barber, 2020; Alexander, 2019; Belobrajdic, 2019; Wilson, 2020; Moszak, 2020; Yang, 2020; Marttinen, 2020).

Белки ячменя представлены нерастворимыми в воде высокомолекулярными фракциями глобулинов, проламинов, глютелинов, а также растворимыми альбуминами. Эти белки содержат практически

¹ Распоряжение Правительства РФ № 1364-р. (2016). Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года. <http://komitet-ok.ru/files/StrPKPP.pdf>

² Белая, А. (2020). Потребители пошли за молоком. Спрос на молочную продукцию вырастет, несмотря на падение продаж в секторе HoReCa. [https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/34913-potrebители-poshli-za-molokom-spros-na-molochnuyu-produktsiyu-vyrastet-nesmotrya-na-padenie-prodazh/](https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/34913-potребители-последние-за-молоком-спрос-на-молочную-продукцию-вырастет-несмотря-на-падение-продаж/)

³ Тутельян, В. А. (2012). Химический состав и калорийность российских продуктов: Справочник. М.: ДeЛи плюс.

⁴ МР 2.3.1.0253–21. (2021). Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. М.: Роспотребнадзор.

⁵ Российский статистический ежегодник. (2020). <http://www.gks.ru/wps/wcm/conne ct/rosstat>.

полный набор незаменимых аминокислот, включая особо дефицитные — лизин и триптофан, превосходя по их содержанию пшеницу и кукурузу.

Целью данной работы является изучение органолептической и технологической совместимости ячменя с молочным сырьем при разработке рецептуры и технологии высокобелкового молочного напитка.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Сухое обезжиренное молоко

Основным молочным сырьем служило сухое обезжиренное молоко (СОМ) производства Акционерное общество «Учебно-опытный молочный завод» ВГМХА им. Н. В. Верещагина.

Концентрат пищевой ячменя

Для соединения с молочным сырьем использовали концентрат пищевой ячменя (ТУ 10.83.12-010-44418433-2019⁶ ячменный напиток «Старая мельница», ОАО «Русский продукт»), который способен равномерно распределяться в молочном сырье.

Сироп топинамбура

В качестве подсластителя использован сироп топинамбура, выработанный по ТУ 9185-003-56857055-05⁷.

Методы и инструменты

Органолептические показатели образцов определяли стандартными методами по ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011⁸ и ГОСТ Р ИСО 22935-3-2011⁹, массо-

вую долю белка — методом Кильдаля, содержание жира, углеводов и сухих веществ — с применением ИК-Фурье спектрометра МРА фирмы Bruker. Растворимость СОМ исследовали стандартным методом центрифугирования в соответствии с ГОСТ Р ИСО 8156-2010¹⁰.

Плотность образцов определяли с помощью тензиометра KRUSS K-20S. Для определения вязкости использовали капиллярный вискозиметр с диаметром капилляра 0,56 мм. Расчет вязкости вели по формуле Ж. Пуазейля:

$$\eta_M = \eta_B \frac{\rho_M t_M}{\rho_B t_B},$$

где η_M — вязкость исследуемого молока при 20 °C, Па × с; η_B — вязкость воды при 20 °C, Па × с; $\eta_B = 1,005 \cdot 10^{-3}$ Па × с; ρ_M и ρ_B — соответственно плотность исследуемого молока и воды при 20 °C, кг/м³; $\rho_B = 998,2$ кг/м³; t_M и t_B — время истечения соответственно исследуемого молока и воды из капилляра одного и того же вискозиметра, с.

Способность образцов сохранять начальные свойства при хранении исследовали методом посева на питательную среду по ГОСТ 32901-2014¹¹ и по показателю активной кислотности в соответствии с ГОСТ 32892-2014¹².

Процедура исследования

Для приготовления опытных образцов напитка готовили молочную основу путем восстановления СОМ в подогретой питьевой воде. Далее вносили по 4 см³ сиропа топинамбура и ячмень в количестве 6,5; 7,0; 7,5 г.

Приготовленные образцы напитков пастеризовали при температуре (87±2,0) °C в течение 8 секунд и охлаждали до температуры (22,0±2,0) °C, под-

⁶ ТУ 10.83.12-010-44418433-2019. (2019). Концентраты пищевые. Напитки кофейные и злаковые. <https://docs.cntd.ru/document/578500295>

⁷ ТУ 9185-003-56857055-05. (2005). Сиропы из топинамбура. <https://e-ecolog.ru/crc/50.99.08.918.%D0%A2.000148.02.05>

⁸ ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011. (2011). Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Часть 2. Рекомендуемые методы органолептической оценки. М.: Стандартинформ.

⁹ ГОСТ Р ИСО 22935-3-2011. (2011). Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Часть 3. Руководство по оценке соответствия техническим условиям на продукцию для определения органолептических свойств путем подсчета баллов. М.: Стандартинформ.

¹⁰ ГОСТ Р ИСО 8156-2010. (2019). Молоко сухое и сухие молочные продукты. Определение индекса растворимости. М.: Стандартинформ.

¹¹ ГОСТ 32901-2014. (2014). Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа. М.: Стандартинформ.

¹² ГОСТ 32892-2014. (2015). Молоко и молочная продукция. Метод измерения активной кислотности. М.: Стандартинформ.

Таблица 1*Состав и энергетическая ценность готовых образцов*

№ образца	Масса ячменя, г	Массовая доля, %					Калорийность, ккал / Энергетическая ценность, кДж
		СОМ	Белок	Жир	Углеводы	Сухие вещества	
1	6,5	18,0 ± 0,1	7,75 ± 0,06	0,18 ± 0,08	15,74 ± 0,40	23,85 ± 0,40	96 / 406
2	7,0	18,0 ± 0,1	7,80 ± 0,06	0,20 ± 0,08	16,03 ± 0,40	24,20 ± 0,40	97 / 413
3	7,5	18,0 ± 0,1	7,85 ± 0,06	0,21 ± 0,08	16,32 ± 0,40	24,55 ± 0,40	99 / 419

держиваемой в течение дегустации и дальнейших испытаний.

Образец напитка оставляли на хранение при температуре $(4,0 \pm 2,0)^\circ\text{C}$. Испытания проводили на 10, 15 и 19 сутки с целью определения срока хранения.

Надежность полученных данных обеспечена трехкратным повторением на стадии приготовления образцов, а также вычислением статистической достоверности результатов на этапах исследования физико-химических и органолептических показателей.

Анализ и систематизация данных

Математическая обработка данных выполнена с использованием программного обеспечения Windows 10. Использованы программы Word и Excel для расчета средних значений, построений диаграмм и определения уравнений зависимостей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для получения результатов и достижения цели исследования проведены органолептические, физико-химические, реологические и микробиологические испытания образцов напитка. Проведен расчет пищевой и энергетической, контроль органолептических показателей и активной кислотности на протяжении всего срока хранения, приведена

зависимость динамической вязкости от содержания ячменя в напитке, а также результаты проведения оценки обоснования срока годности.

По микробиологическим показателям и показателям безопасности сухое обезжиренное молоко соответствовало требованиям Технических Регламентов Таможенного союза^{13,14}. Индекс растворимости СОМ был равен 0 см³, что указывает на высокую способность данного ингредиента растворяться в воде и чрезвычайно важно в технологическом плане. Состав, пищевая и энергетическая ценность опытных образцов представлены в Таблице 1.

Как видно из данных Таблицы 1, все образцы по количеству массовой доли белка соответствовали продуктам «с высоким содержанием белка», согласно ГОСТ Р 55577-2013¹⁵, поскольку белком обеспечивается более 30% энергетической ценности продукта.

Результаты органолептической оценки наглядно представлены на профилограмме (Рисунок 1).

Все образцы имели сладковатый молочный вкус. Однако, в образце 1, содержащем 6,5% порошка ячменя, зерновой вкус ячменного напитка не был выражен достаточно. Образец 2, содержащий 7,0% ячменного порошка, обладал гармоничным молочно-зерновым вкусом, подобным вкусу кофе с молоком. При содержании в рецептуре напитка 7,0% порошка ячменя, в образце 3 был отмечен горьковатый привкус. Запах образцов всех трех вариантов был приятным молочно-зерновым. Консистенция всех образцов была однородной, без комочеков.

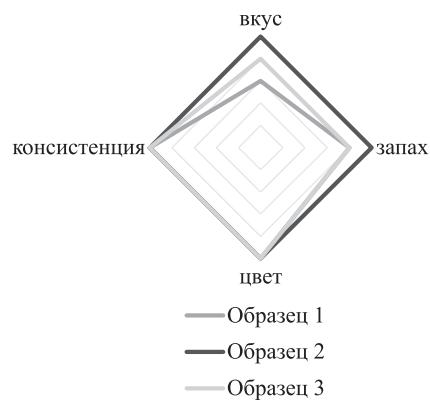
¹³ ТР ТС 021/2011. (2011). О безопасности пищевой продукции. <https://docs.cntd.ru/document/902320560>

¹⁴ ТР ТС 033/2013. (2013). О безопасности молока и молочной продукции. <https://docs.cntd.ru/document/499050562>

¹⁵ ГОСТ Р 55577-2013. (2014). Продукты пищевые функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности. М.: Стандартинформ.

Рисунок 1

Итоговая органолептическая оценка свежеприготовленных образцов



Образцы имели светло-коричневый цвет, соответствующий ячменному напитку. На протяжении 15 суток хранения при $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$, внешний вид и вкусовые характеристики образцов не менялись.

Контроль органолептических показателей и активной кислотности на 19-е сутки показал начало порчи образцов. Во всех образцах появился слабый кисловатый запах, свидетельствующий о развитии нежелательных микробиологических процессов. Сравнение активной кислотности образцов сразу после получения и на 19-е сутки хранения при $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$ представлено на Рисунке 2.

Сразу после выработки все образцы имели активную кислотность, характерную для свежего молока. По мере хранения во всех образцах наблюдалось снижение активной кислотности. В образцах с массовой долей ячменя 6,5 % снижение показате-

ля рН составило 0,8 единиц, в образцах с массовой долей ячменя 7,0 % – 0,6 единиц рН и в образцах с массовой долей ячменя 7,5 % – 0,5 единиц рН.

На 24-е сутки все образцы приобрели кислый вкус.

Плотность молочных напитков с ячменем и сиропом топинамбура закономерно возрастала с увеличением содержания сухих веществ в образцах и достигала $1074 \text{ кг}/\text{м}^3$ в образце, содержащем 6,5 % порошка ячменя, $1078 \text{ кг}/\text{м}^3$ – в образце с 7,0 % порошка ячменя и $1084 \text{ кг}/\text{м}^3$ – в образце, содержащем 7,5 % порошка ячменя. Таким образом, между плотностью (y) и общим содержанием сухих веществ (x) в напитке установлена прямолинейная зависимость: $y = 5x + 1068,7$.

На Рисунке 3 представлена зависимость динамической вязкости от содержания ячменного порошка в образцах свежевыработанных и на 19-е сутки хранения.

На Рисунке 3 видно, что между содержанием сухих веществ в образцах и их вязкостью существует прямая зависимость. Также установлено, что динамическая вязкость образцов при хранении молока повышалась, что обусловлено коллоидными свойствами молочных белков и полисахаридов ячменя, а именно, продолжением набухания гидроколлоидов растительного сырья. Наблюдаемое увеличение вязкости было благоприятно для консистенции продукта, которая сохраняла текучесть и однородность.

Рисунок 2

Активная кислотность образцов свежевыработанных и на 19-е сутки хранения

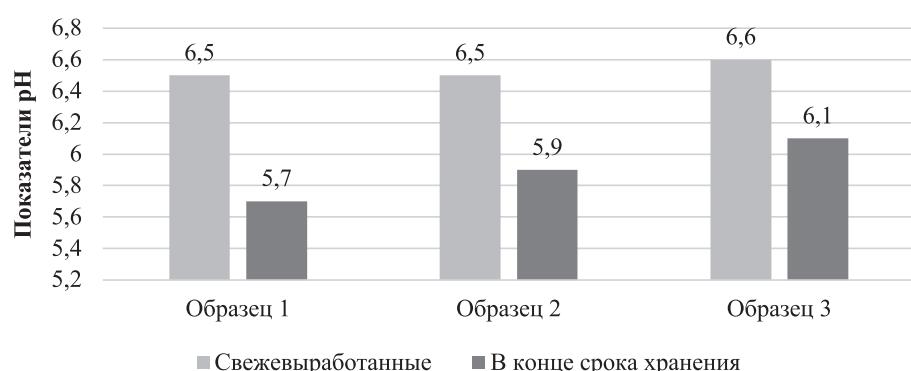
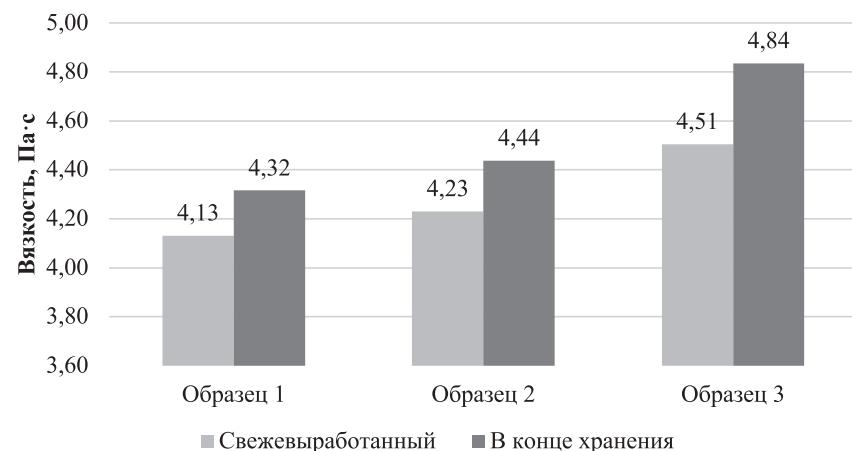


Рисунок 3

Изменение динамической вязкости в зависимости от содержания ячменного порошка в образцах

**Таблица 2**

Средние результаты микробиологических испытаний образцов

Показатель	Свежее	10 сутки	15 сутки	19 сутки
БГКП	в 0,01 см ³ не обнаружено			
Пересев на среду Эндо (обнаружение <i>E.coli</i>)	нет роста	нет роста	нет роста	нет роста
КМАФАнМ, КОЕ/см ³	$1,1 \times 10^1$	$3,7 \times 10^1$	$1,2 \times 10^2$	$6,5 \times 10^2$

Микробиологические испытания свежеприготовленных образцов и на 10, 15, 19 сутки хранения проводили методом посева на питательные среды КМАФАнМ и Кесслер. Результаты представлены в Таблице 2.

По результатам микробиологических испытаний образцов продукта свежеприготовленных и на протяжении срока хранения общее количество микрорганизмов увеличилось на порядок, но оставалось в пределах норматива (не более 1×10^5 КОЕ/см³), допускаемого Техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции» (ТР ТС 033/2013)¹⁶.

Таким образом, приготовленные образцы выдержали хранение в течение 19 дней при температуре $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$. Согласно санитарно-эпидемиологической

оценке обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов¹⁷, коэффициент резерва для скоропортящихся продуктов при сроках годности до 30 суток включительно равен 1,3. Следовательно, по полученным данным срок хранения продукта будет составлять 15 суток.

На основе результатов испытаний образцов разработана технологическая схема производства (Рисунок 4).

Разработанная рецептура обеспечивает повышенное содержание белка и низкое содержание жира в продукте. Выбранные режимы технологического процесса позволяют получить напиток с хорошими органолептическими и микробиологическими показателями. Добавки растительного происхождения позволяют расширить ассортимент

¹⁶ ТР ТС 033/2013. (2013). О безопасности молока и молочной продукции. <https://docs.cntd.ru/document/499050562>

¹⁷ МУК 4.2.1847-04. (2004). Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов. М.: Федеральный центр гигиенического и эпидемиологического контроля и мониторинга Минздрава России.

Рисунок 4

Технологическая схема производства молочного напитка с ячменем



конкурентоспособных продуктов с привлекательными для потребителя органолептическими показателями и повышенной пищевой ценностью (Бородулин, 2014; Behall, 2004; Harland, 2014).

Оптимально подобранные количества ингредиентов, не только улучшают органолептические и физико-химические показатели, но и могут придавать новые качества продукту (Ahmadi et al., 2018; Бородулин, 2014). Данное исследование – пример эффективного сочетания СОМ с ячменем, в результате которого получен напиток с высоким содержанием белка, что чрезвычайно актуально для профилактики и устранения дефицита белка у населения.

По полученным результатам внесение ячменя оказалось стабилизирующее действие на консистенцию образцов, а также положительно повлияло на другие органолептических показателей. В процессе производства и хранения не происходило образования осадка и расслоения системы. О подобном стабилизации молочных систем с помощью растительных гидроколлоидов сообщали и другие авторы (Bulut et al., 2021; Ahmadi et al., 2018; Федотова и соавт., 2019).

ВЫВОДЫ

Комбинирование молочного и растительного сырья – распространенная практика расширения ассортимента продукции. Повышение динамической вязкости образцов с увеличением массовой доли ячменя доказало, что внесение дополнительного внесения органических соединений растительного происхождения способствовало сохранению однородности консистенции. Оптимально подобранные режимы пастеризации и хранения обеспечивают микробиологическую чистоту продукта до конца срока годности.

Научная новизна исследования заключается в теоретическом обосновании и разработке стабильной композиции молочного напитка с повышенным содержанием белка, состоящего из сухого обезжиренного молока, ячменя и сиропа топинамбура. Выпуск новых молочных продуктов с добавками

¹⁸ ГОСТ 32220–2013. (2013). Вода питьевая, расфасованная в емкости. Общие технические условия. М.: Стандартинформ.

¹⁹ ГОСТ Р 51232–98. (2009). Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. М.: Стандартинформ.

²⁰ ГОСТ Р 52791–2007. (2009). Консервы молочные. Молоко сухое. Технические условия. М.: Стандартинформ.

растительного происхождения, например, ячменя, позволяет решить проблемы экономии сырьевых молочных ресурсов, использования ценнейшего растительного сырья.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Новокшанова А. Л.: формулирование идеи; формулирование исследовательских целей и задач. Подготовка и создание черновика рукописи,

в частности написание первоначального текста рукописи.

Абабкова А. А.: подготовка и создание рукописи, её комментирование или пересмотр, включая этапы до или после публикации рукописи.

Федотова Ю. С.: проведение исследовательского процесса, в частности, проведение экспериментов или сбор данных / доказательств.

ЛИТЕРАТУРА

- Батурин, А. К., Мартинчик, А. Н., & Камбаров, А. О. (2020). Структура питания населения России на рубеже XX и XXI столетий. *Вопросы питания*, 89(4), 60–70. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10042>
- Бородулин, Д. М. (2014). Ячмень как перспективный компонент молочно-злаковых продуктов. *Техника и технология пищевых производств*, 35(4), 19–25.
- Крусь, Г. Н., Храмцов, А. Г., Волокитина, З. В., & Карпышев С. В. (2013). *Технология молока и молочных продуктов*. М.: Колос.
- Лоскутов, И. Г., Ковалева, О. Н., Блинова, Е. В. (2012). *Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса*. СПб.: Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н. И. Вавилова.
- Попова, А. Ю., Тутельян, В. А., & Никитюк, Д. Б. (2021). О новых (2021) нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. *Вопросы питания*, 90(4), 6–19. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19>
- Федотова, О. Б., Макаркин, Д. В., Соколова, О. В., & Дуниченко, Н. И. (2019). Разработка и исследования пищевой и биологической ценности и потребительских свойств кисломолочного продукта с мукой, не содержащего глютен. *Вопросы питания*, 88(2), 101–110. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10023>
- Ahmadi, S. F., Nasirpour, A., Goli, S. A. H., Riahi, E. (2018). Effect of heat treatment and solution preparation procedure on colloidal stability of whey protein sour cherry beverage. *International Journal of Dairy Technology*, 71(3), 781–790. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12453>
- Alexander, C., Swanson, K. S., Fahey, G. C., & Garleb, K. A. (2019). Perspective: Physiologic importance of short-chain fatty acids from nondigestible carbohydrate fermentation. *Advances in Nutrition*, 10(4), 576–589. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz004>
- Barber, T. M., Kabisch, S., Pfeiffer, A. F. H., & Weickert, M. O. (2020). The health benefits of dietary fibre. *Nutrients*, 12(10), Article 3209. <https://doi.org/10.3390/nu12103209>
- Behall, K. M., Scholfield, D. J., & Hallfrisch, J. (2004). Diets containing barley significantly reduce lipids in mildly hypercholesterolemic men and women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 80(5), 1185–1193. <https://doi.org/10.1093/ajcn/80.5.1185>
- Belobrajdic, D. P., Jenkins, C. L. D., Christophersen, C. T., & Bird, A. R. (2019). Cereal fructan extracts alter intestinal fermentation to reduce adiposity and increase mineral retention compared to oligofructose. *European Journal of Clinical Nutrition*, 58(7), 2811–2821. <https://doi.org/10.1007/s00394-018-1830-y>
- Bozbulut, R., & Sanlier, N. (2019). Promising effects of β -glucans on glycaemic control in diabetes. *Trends in Food Science and Technology*, 83(1), 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.018>
- Bulut, M., Tunçturk, Y., & Alwazeer, D. (2021). Effect of fortification of set-type yoghurt with different plant extracts on its physicochemical, rheological, textural and sensory properties during storage. *International Journal of Dairy Technology*, 74(4), 723–736. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12803>
- Harland, J. (2014). Authorised EU health claims for barley and oat beta-glucans. In M. J. Sadler (Ed.), *Foods, nutrients and food ingredients with authorised EU health claims* (1st ed., pp. 24–25). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857098481.2.25>
- Marttinen, M., Ala-Jaakkola, R., Laitila, A., & Lehtinen, M. J. (2020). Gut microbiota, probiotics and physical performance in athletes and physically active individuals. *Nutrients*, 12(10), Article 2936. <https://doi.org/10.3390/nu12102936>
- Moszak, M., Szulińska, M., & Bogdański, P. (2020). You are what you eat – the relationship between diet, microbiota, and metabolic disorders – a review. *Nutrients*, 12(4), Article 1096. <https://doi.org/10.3390/nu12041096>
- Sagnelli, D., Chessa, S., Mandalari, G., di Martino, M., Sorni-dech, W., Mamone, G., Vincze, E., Buillon, G., Nielsen, D. S., Wiese, M., Blennow, A., & Hebelstrup, K. H. (2018). Low glycaemic index foods from wild barley and amylose-only barley lines. *Journal of Functional Foods*, 40, 408–416. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.11.028>

Wilson, A. S., Koller, K. R., Ramaboli, M. C., Nesengani, L. T., Ocvirk, S., Chen, C., Flanagan, C. A., Sapp, F. R., Merritt, Z. T., Bhatti, F., Thomas, T. K., & O'Keefe, S. J. D. (2020). Diet and the human gut microbiome: An international review. *Digestive Diseases and Sciences*, 65, 723–740. <https://doi.org/10.1007/s10620-020-06112-w>

Yang, Q., Liang, Q., Balakrishnan, B., Belobajdic, D. P., Feng, Q.-J., Zhang, W. (2020). Role of dietary nutrients in the modulation of gut microbiota: A narrative review. *Nutrients*, 12(2), Article 381. <https://doi.org/10.3390/nu12020381>

REFERENCES

- Baturin, A. K., Martinchik, A. N., & Kambarov, A. O. (2020). Struktura pitaniya naseleniya Rossii na rubezhe XX i XXI stoletii [The structure of nutrition of the Russian population at the turn of the 20th and 21th centuries]. *Voprosy pitaniya [Nutrition Issues]*, 89(4), 60–70. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10042>
- Borodulin, D. M. (2014). Yachmen' kak perspektivnyi komponent molochno-zlakovykh produktov [Barley as a promising component of dairy and cereal products]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Equipment and Technology of Food Production]*, 35(4), 19–25.
- Fedotova, O. B., Makarkin, D. V., Sokolova, O. V., & Dunchenko, N. I. (2019). Razrabotka i issledovaniya pishchevoi i biologicheskoi tsennosti i potrebitel'skikh svoistv kislomolochnogo produkta s mukoi, ne soderzhashchego glyuten [Development and research of the nutritional and biological value and consumer properties of a gluten-free fermented milk product with flour]. *Voprosy pitaniya [Nutrition Issues]*, 88(2), 101–110. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10023>
- Krus', G. N., Khramtsov, A. G., Volokitina, Z. V., & Karpychev S. V. (2013). *Tekhnologiya moloka i molochnykh produktov [Technology of milk and dairy products]*. Moscow: Kolos.
- Loskutov, I. G., Kovaleva, O. N., Blinova, E. V. (2012). *Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoi kollektii yachmenya i ovsy [Guidelines for the study and preservation of the world collection of barley and oats]*. S-Petersburg: Gosudarstvennoe nauchnoe uchrezhdenie Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut rastenievodstva im. N. I. Vavilova.
- Popova, A. Yu., Tutel'yan, V. A., & Nikityuk, D. B. (2021). O novykh normakh fiziologicheskikh potrebnostei v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossiiskoi Federatsii [About new (2021) norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation]. *Voprosy pitaniya [Nutrition Issues]*, 90(4), 6–19. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19>
- Ahmadi, S. F., Nasirpour, A., Goli, S. A. H., Riahi, E. (2018). Effect of heat treatment and solution preparation procedure on colloidal stability of whey protein sour cherry beverage. *International Journal of Dairy Technology*, 71(3), 781–790. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12453>
- Alexander, C., Swanson, K. S., Fahey, G. C., & Garleb, K. A. (2019). Perspective: Physiologic importance of short-chain fatty acids from nondigestible carbohydrate fermentation. *Advances in Nutrition*, 10(4), 576–589. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz004>
- Barber, T. M., Kabisch, S., Pfeiffer, A. F. H., & Weickert, M. O. (2020). The health benefits of dietary fibre. *Nutrients*, 12(10), Article 3209. <https://doi.org/10.3390/nu12103209>
- Behall, K. M., Scholfield, D. J., & Hallfrisch, J. (2004). Diets containing barley significantly reduce lipids in mildly hypercholesterolemic men and women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 80(5), 1185–1193. <https://doi.org/10.1093/ajcn/80.5.1185>
- Belobajdic, D. P., Jenkins, C. L. D., Christophersen, C. T., & Bird, A. R. (2019). Cereal fructan extracts alter intestinal fermentation to reduce adiposity and increase mineral retention compared to oligofructose. *European Journal of Clinical Nutrition*, 58(7), 2811–2821. <https://doi.org/10.1007/s00394-018-1830-y>
- Bozbulut, R., & Sanlier, N. (2019). Promising effects of β -glucans on glyeamic control in diabetes. *Trends in Food Science and Technology*, 83(1), 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.018>
- Bulut, M., Tunçtürk, Y., & Alwazeer, D. (2021). Effect of fortification of set-type yoghurt with different plant extracts on its physicochemical, rheological, textural and sensory properties during storage. *International Journal of Dairy Technology*, 74(4), 723–736. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12803>
- Harland, J. (2014). Authorised EU health claims for barley and oat beta-glucans. In M. J. Sadler (Ed.), *Foods, nutrients and food ingredients with authorised EU health claims* (1st ed., pp. 24–25). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857098481.2.25>
- Marttinen, M., Ala-Jaakkola, R., Laitila, A., & Lehtinen, M. J. (2020). Gut microbiota, probiotics and physical performance in athletes and physically active individuals. *Nutrients*, 12(10), Article 2936. <https://doi.org/10.3390/nu12102936>
- Moszak, M., Szulinska, M., & Bogdański, P. (2020). You are what you eat – the relationship between diet, microbiota, and metabolic disorders – a review. *Nutrients*, 12(4), Article 1096. <https://doi.org/10.3390/nu12041096>
- Sagnelli, D., Chessa, S., Mandalari, G., di Martino, M., Sornedech, W., Mamone, G., Vincze, E., Buillon, G., Nielsen, D. S., Wiese, M., Blennow, A., & Hebelstrup, K. H. (2018). Low glycaemic index foods from wild barley and amylose-only barley lines. *Journal of Functional Foods*, 40, 408–416. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.11.028>
- Wilson, A. S., Koller, K. R., Ramaboli, M. C., Nesengani, L. T., Ocvirk, S., Chen, C., Flanagan, C. A., Sapp, F. R., Merritt, Z. T., Bhatti, F., Thomas, T. K., & O'Keefe, S. J. D. (2020). Diet and the human gut microbiome: An international review. *Digestive Diseases and Sciences*, 65, 723–740. <https://doi.org/10.1007/s10620-020-06112-w>
- Yang, Q., Liang, Q., Balakrishnan, B., Belobajdic, D. P., Feng, Q.-J., Zhang, W. (2020). Role of dietary nutrients in the modulation of gut microbiota: A narrative review. *Nutrients*, 12(2), Article 381. <https://doi.org/10.3390/nu12020381>

УДК 663.918:641.1:663.1

Разработка технологии обогащенного напитка с синбиотическими свойствами на базе отходов производства какао тертого

М. С. Каnochкина^{1,2}, И. Р. Соколов¹¹ Московский государственный университет пищевых производств, г. Москва, Российской Федерации² ООО «Микробные нутриенты иммунокорректоры», г. Москва, Российской Федерации

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Каnochкина Мария Сергеевна
 Адрес: 125080, г. Москва,
 Волоколамское ш., д.11
 E-mail:kanoch@yandex.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:
 данные текущего исследования
 доступны по запросу
 у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
 Каnochкина, М. С., & Соколов, И. Р. (2022).
 Разработка технологии обогащенного
 напитка с синбиотическими свой-
 ствами на базе отходов производства
 какао тертого. *Хранение и переработка*
сельхозсырья, (4), 152–163.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.332>

ПОСТУПИЛА: 19.09.2022

ПРИНЯТА: 03.10.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 14.10.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
 авторы сообщают об отсутствии
 конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. В статье рассматриваются возможности функционального питания в условиях распространения коронавирусной инфекции и соответствующих последствий в виде нарушения нормального состава микрофлоры кишечника. При этом в Российской Федерации почти не используется такой отход производства какао тертого, как какао велла, богатая микроэлементами и обладающая противовоспалительной, антиканцерогенной и биофункциональной активностью.

Цель. Целью исследования поставлена разработка технологии изготовления обогащенного напитка с синбиотическими свойствами на базе отходов производства какао-тертого.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования использованы штаммы молочнокислых бактерий и комплексные культуры, а также дрожжевые культуры. С целью разработки экспериментальной модели технологии проведен скрининг пробиотических штаммов микроорганизмов различных родов, способных расти на какаовелле, включая комплексы микроорганизмов, образующие сложные биологические системы – биопленки. Далее изучено влияние предварительной обработки используемого сырья и наличия добавок в среде на рост пробиотических микроорганизмов и в соответствии с полученными данными разработана экспериментальная модель технологии получения обогащенного напитка с синбиотическими свойствами.

Результаты. Впервые продемонстрирована возможность активного роста на какаовелле молочнокислых бактерий родов *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Enterococcus* и *Streptococcus* при глубинном культивировании и дрожжей рода *Pichia*, *Saccharomyces* при твердофазном культивировании. Наилучшие результаты роста достигнуты при использовании в технологии двухфазной последовательной ферментации дрожжами *Pichia guilliermondii* 2507 и комплексом пробиотических микроорганизмов ОМ-Х, Dr. Ohhira – 3×10^{10} КОЕ/мл напитка. Показано использование минимальных фракций порошка какаовеллы, размерами 5–10 мкм и разделной стерилизации твердофазного сырья и жидкого компонента (молочная сыворотка) сырья ввиду сильной степени набухания какаовеллы.

Выводы. С учетом технологических особенностей процесса разработана экспериментальная модель технологии обогащенного напитка, позволяющая получить продукты с высоким содержанием пробиотических микроорганизмов на уровне 1×10^{10} КОЕ/мл на базе ранее не используемого для этих целей отхода производства какао тертого. Практическое применение разработанной технологии позволит выпустить на рынок функциональный продукт с добавленными свойствами и высоким содержанием кальция и магния, нацеленный на профилактику и восстановление после перенесенной коронавирусной инфекции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

пищевая биотехнология, пробиотик, синбиотик, дрожжи, *Saccharomyces boulardii*, *Pichia*, твердофазная ферментация, молочнокислые бактерии, *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, вторичное сырье, какао, шоколад, обогащенный напиток, функциональный напиток, молочная сыворотка

Development of Technology for an Enriched Drink with Synbiotic Properties Based on Waste from the Production of Grated Cocoa

¹ Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation

² LLC "Microbial Nutrients, Moscow, Russian Federation Immunocorrectors"

CORRESPONDENCE:

Maria S. Kanochkina
11, Volokolamskoe sh., Moscow,
125080, Russian Federation
E-mail:kanoch@yandex.ru

FOR CITATIONS:

Kanochkina, M. S., & Sokolov, I. R. (2022). Development of technology for an enriched drink with synbiotic properties based on waste from the production of grated cocoa. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 152–163. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.332>

RECEIVED: 17.06.2022

ACCEPTED: 03.10.2022

PUBLISHED: 14.10.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Maria S. Kanochkina^{1,2}, Ilya R. Sokolov¹

ABSTRACT

Background. The article discusses the possibilities of functional nutrition in the conditions of the spread of coronavirus infection and the corresponding consequences in the form of a violation of the normal composition of the intestinal microflora. At the same time, in the Russian Federation, such waste from the production of grated cocoa as cocoa vella, rich in trace elements and possessing anti-inflammatory, anti-carcinogenic and biofunctional activity, is almost not used.

Purpose. The aim of the study is to develop a technology for the production of an enriched drink with synbiotic properties based on the waste of cocoa production.

Materials and Methods. Strains of lactic acid bacteria and complex cultures, as well as yeast cultures, were used as objects of research. In order to develop an experimental model of the technology, screening of probiotic strains of microorganisms of various genera capable of growing on cacaovella, including complexes of microorganisms forming complex biological systems – biofilms, was carried out. Further, the effect of pretreatment of the raw materials used and the presence of additives in the medium on the growth of probiotic microorganisms was studied and, in accordance with the data obtained, an experimental model of the technology for producing an enriched drink with synbiotic properties was developed.

Results. The possibility of active growth of lactic acid bacteria of the genera *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Enterococcus* and *Streptococcus* in deep cultivation and yeast of the genus *Pichia*, *Saccharomyces* in solid-phase cultivation was demonstrated for the first time. The best growth results were achieved when using two-phase sequential fermentation technology with *Pichia guilliermondii* 2507 yeast and a complex of probiotic microorganisms OM-X, Dr. Ohhira – 3×10^{10} CFU/ml of the drink. The use of minimal fractions of cocoa shell powder, 5–10 microns in size, and separate sterilization of solid-phase raw materials and the liquid component (whey) of raw materials due to the strong degree of swelling of cocoa shell is shown.

Conclusion. Taking into account the technological features of the process, an experimental model of the enriched beverage technology has been developed, which makes it possible to obtain products with a high content of probiotic microorganisms at the level of 1×10^{10} CFU/ml on the basis of previously unused cocoa production waste for these purposes. The practical application of the developed technology will make it possible to launch a functional product with added properties and a high content of calcium and magnesium, aimed at prevention and recovery after a coronavirus infection.

KEYWORDS

food biotechnology, probiotic, synbiotic, yeast, *Saccharomyces boulardii*, *Pichia*, solid-phase fermentation, lactic acid bacteria, *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, secondary raw materials, cocoa, chocolate, enriched drink, functional drink, whey

ВВЕДЕНИЕ

Коронавирусное заболевание (COVID-19), характеризующееся симптомами респираторного тракта с разной степенью поражения важных органов и тканей, обычно проявляется лихорадкой, однако почти у 50% пациентов также наблюдаются сопутствующие пищеварительные симптомы, которые варьируются от болей в животе до диареи и расстройства желудка (Qureshi H., 2020; Wang et al., 2021; Postigo-Martin P. et al., 2021; Fan & Pedersen, 2021). Кроме того, отмечается существенное вымывание микроэлементов, таких как магний и калий, из организма (Micke et al., 2020; Li et al., 2012). Последние исследования (Citu et al., 2022; Tian et al., 2022) сделали акцент на рекомендациях по нутритивной поддержке пациентов с COVID-19. Растущее количество данных (Tang et al., 2020; DiNicolantonio & O'Keefe, 2021; Sheu et al., 2002) подтверждает, что добавки магния предотвращают или лечат различные типы расстройств или заболеваний, связанных с дыхательной системой, репродуктивной системой, нервной системой, пищеварительной системой и сердечно-сосудистой системой, а также повреждением почек, диабетом. В этой связи разработка технологий пищевых продуктов, содержащих пре- и пробиотические компоненты, способствующие росту полезной индигенной микрофлоры кишечника, магний, калий, актуальна и востребована, как в фазе заболевания, так и при длительном реабилитационном периоде.

Перспективным сырьем для получения органических продуктов, обогащенных указанными микроэлементами и белком, а также пробиотической составляющей, является какаовелла — отход производства какао тертого, состоящий из оболочки проферментированных какао бобов. Побочный продукт производства какао обладает ароматическими характеристиками, пищевой ценностью, а также биофункциональным потенциалом, также сообщается антибактериальной, противовирусной, антиканцерогенной, антидиабетической активности и пользе для сердечно-сосудистой системы (González et al., 2018; Battegazzore et al., 2014; Rojo-Poveda et al., 2019; Martín-Cabrejas et al., 1994; Kowalska et al., 2017; Pérez et al., 2015; Martínez et al., 2012; Nsor-Atindana et al., 2012; Santana et al., 2018). Химический состав и пищевая ценность сырья представлены в Таблице 1. Важно отметить, что в 100 г какаовеллы содержится более чем суточная норма потребления калия и магния для взрослого населения. Введение биопродуктов на базе какаовеллы в рацион питания современного человека способно удовлетворить потребности в калии, магнии, пищевых волокнах, витаминах и белке.

Кроме того, биопродукты на базе какаовеллы содержат различные биологически активные соединения, оказывающие положительный эффект на организм. Проведены исследования (Quijano-Avilés et al., 2021; Paladines-Santacruz et al., 2021) по определению влияния добавления какаовеллы на профиль метаболитов и оценке безвредности, острой пероральной токсичности полученного

Таблица 1
Химический состав и пищевая ценность какаовеллы

Вид сырья	Содержание веществ в % на 100 г						
	Белки	Жиры	Углеводы	Вода	Зола	Пищевые волокна	Органические кислоты
	15	4,5	11	6,5	5,4	56,8	0,8
Какаовелла							
	Содержание витаминов, микро- и макроэлементов в мг на 100 г						
	Калий (K)	Витамин Е	Железо	Витамин B ₂	Фосфор (P)	Магний (Mg)	Витамин PP
	2875	1,8	5,8	0,16	770	701	4,9
% от суточной нормы потребления	115	12	32	9	96,3	175,3	24,5

Примечание. Из «Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник», И. М. Скурихин и В. А. Тутельян (Ред.), 2002, М., ДелиПринт. Copyright 2002 by ДелиПринт.

функционального напитка на экспериментальных мышах. Установлено, что после однократного перорального приема дозы 2000 мг/кг массы тела признаков неблагоприятной токсичности, смертности и гистопатологических изменений в основных оцениваемых органах не наблюдалось. При этом добавление шелухи какао повышает содержание в напитках фенольных кислот (кофеиновой, 4-оксибензойной, пирокатехина) и придает антисептические, бактерицидные свойства, характерные для этой группы соединений и представляющие фармакологический интерес. Таким образом подобные функциональные напитки безопасны и могут быть отнесены к категории потенциальных напитков с высокой пищевой и фармакологической ценностью.

Объем какаовеллы, как отходов производства какао тертого, составляет 10–20% от общей массы какао-бобов. Утилизация такого объема затруднена и влечет серьезные финансовые затраты. В исследованиях (Rojo-Poveda et al, 2020) показано несколько целевых вариантов использования шелухи какао бобов для повышения ценности этого побочного продукта в пищевой отрасли, сельском хозяйстве и медицине. Поскольку какаовелла может быть источником питательных веществ и усиливать органолептические свойства получаемых на её базе продуктов, разработка технологии рациональной переработки какаовеллы в рамках экономики замкнутого цикла предприятий становится критически важным по экономическим и экологическим причинам.

Цель научного исследования — разработать технологию изготовления обогащенного напитка с синбиотическими свойствами на базе отходов производства какао-тертого.

Задачи экспериментальной работы:

1. Провести скрининг пробиотических штаммов микроорганизмов, способных расти на отходах производства какао тертого.
2. Изучить влияние предварительной обработки используемого сырья и наличия добавок в среде на рост пробиотических микроорганизмов различных родов.
3. Разработать экспериментальную модель технологии получения обогащенного напитка с синбиотическими свойствами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Научно-исследовательская работа проводилась на базе кафедры «Биотехнология и технология продуктов биоорганического синтеза» ФГБОУ ВО «МГУПП» и научно-исследовательской организации ООО «Микробные нутриенты иммунокорректоры».

Материалы

Субстрагты. В качестве твердофазного сырья использовали отход производства какао тертого — оболочки бобов какао — какаовеллу, в качестве сырья для глубинного культивирования — подсырную молочную сыворотку, производство ООО «Чистая Линия». Химический состав сырья представлен в Таблице 2.

Таблица 2

Химический состав используемого сырья
(ТУ 10.82.22-001-02806279-2019;
ТУ 10.51.55-017-18153454-2019, 2019)

Вид сырья	Содержание веществ в 100 г				
	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Клетчатка, г	Экстрактивные вещества, г
Какаовелла	14,6	3,4	11	17,5	28,2
Молочная сыворотка	2	0,1	4	—	—

Штаммы. В данной работе для твердофазного и глубинного культивирования применяли следующие штаммы микроорганизмов:

- штамм дрожжей *Pichia guilliermondii* 2510 из коллекции кафедры «Биотехнология и технология продуктов биоорганического синтеза» ФГБОУ ВО «МГУПП»;
- штамм дрожжей *Pichia guilliermondii* ВКПМ Y-4316 из коллекции ООО «Микробные нутриенты иммунокорректоры»;
- штамм дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* (препарат «Энтерол»);
- комплекс пробиотических культур, выделенный из препарата Dr. Ohhira. Комплекс ОМ-Х содержит микроорганизмы *Bifidobacterium*, *Lactobacillus* и *Streptococcus thermophilus*.
- штаммы *Enterococcus faecium* и *Bifidobacterium longum*, полученные из препарата «Бифиформ»;
- штамм лактобактерий *Lactobacillus acidophilus* № 317/402 (молочнокислая закваска «Нарине»).

Методы

Подготовка субстрата

Для твердофазного культивирования использовали необработанную какаовеллу, а также измельченную до порошка какаовеллу с размерами частиц 5–10 мкм, 25 мкм. Одновременно в качестве добавок использовали глюкозу, солодовые ростки и лузгу подсолнечника.

Приготовление и засев сред для культивирования

Для твердофазного культивирования взвешивали по 10 г какао-веллы в чашки Петри, автоклавировали 40 минут при избыточном давлении 1 атм, охлаждали до комнатной температуры на мраморном столе, после чего проводили засев сред в стерильном боксе. Для засева использовали косяки со сконченным агаром, содержащие культуры дрожжей *Pichia guilliermondii* и *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*, смывали культуру с косяка стерильной водой. Влажность сред делали на уровне 60 %, посев производили по всей поверхности среды, посевная доза $1 \cdot 10^7$ КОЕ/г.

Для глубинного культивирования использовали молочную сыворотку, производство ООО «Чистая Линия», ТУ 10.51.55–017-18153454–2019, и порошок какаовеллы, производство ООО «Vento d' Oro», ТУ 10.82.22–001-02806279–2019, в соответствующем процентном содержании к общему объёму гетерофазной среды. После взвешивания порошок рассыпался в отдельные стеклянные емкости или добавлялся сразу в колбу с молочной сывороткой. Емкости с какаовеллой и колбы с молочной сывороткой помещались в автоклав для стерилизации на 40 минут при избыточном давлении в 1 атм. После стерилизации, все компоненты сред охлаждали до комнатной температуры. Далее при необходимости в стерильных условиях какаовеллу и молочную сыворотку смешивали и засевали штаммами молочнокислых бактерий *Enterococcus faecium*, *Bifidobacterium longum*, *Lactobacillus acidophilus* штамм 317/402 и комплексом ОМ-Х Dr. Ohhira $1 \cdot 10^7$ КОЕ/мл.

Выделение чистых культур молочнокислых бактерий и дрожжей из биопрепарата

Выделение чистых культур микроорганизмов проводили методом высея на плотные питательные

среды и в молоко. Брали навеску биопрепарата и смешивали со стерильным физиологическим раствором, из полученной суспензии проводили высея на чашку Петри с агаризованной средой или в стерильное молоко. Для выделения чистой культуры использовались твердые селективные среды MRS, Sabraud, Энтерококкагар и Бифидум-среда, а также стерильное обезжиренное молоко. Затем чашки и пробирки термостатировали в течение 3-х суток при температуре 37 °C для молочнокислых бактерий и 30 °C для дрожжей до появления гладких белых колоний на поверхности среды. Для подтверждения чистоты колоний полученные культуры микроскопировали.

Культивирование микроорганизмов

Ферментация цельной какао-веллы происходила в растительной камере при температуре 30 в течении 48 ч твердофазным способом с доступом воздуха в течения всего процесса культивирования. Ферментация смеси молочной сыворотки и какао-веллы происходила в течении 72 ч при температуре 37 в растительной камере глубинным способом.

Подсчет клеток. Продуктивность твердофазного и глубинного культивирования исследовали методом предельных разведений. Подсчет осуществляли через 0, 48 и 72 ч после начала ферментации.

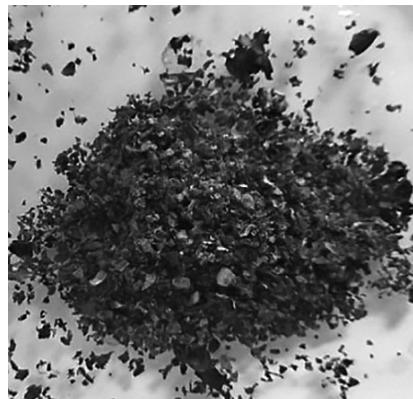
С целью получения достоверных результатов эксперимент проводился в 3-х повторностях с использованием статистических методов анализа экспериментальных данных, включая описательный анализ, построение таблиц, графиков по стандартной методике. Математический анализ экспериментальных данных проводили с помощью программного пакета Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Какаовелла представляет собой достаточно сложное сырье по химическому составу и физическим свойствам. В этой связи было изучено влияние предварительной обработки используемого сырья на технологические показатели получаемых напитков. Наиболее важным фактором в напитках признана величина фракций. В исследованиях

Рисунок 1

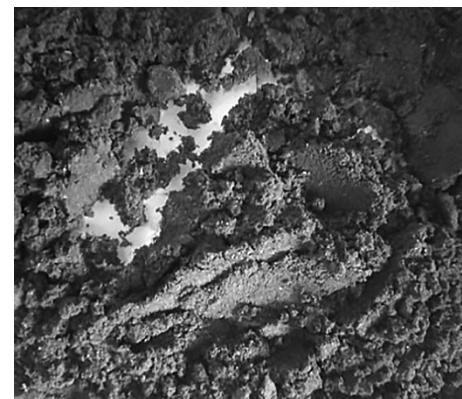
Технологические свойства напитков при использовании разных фракций какаовеллы



A – необработанная какаовелла



Б – молотая какаовелла с фракциями 25 мкм



В – молотая и просеянная какаовелла с фракциями 5–10 мкм

оценивали технологические свойства необработанной какаовеллы, молотой какаовеллы с фракциями 25 мкм, молотой и просеянной какаовеллы с фракциями 5–10 мкм. Результаты представлены на Рисунке 1. Показано использование минимальных фракций порошка какаовеллы, размерами 5–10 мкм при получении напитков.

Также какаовелла обладает высокой степенью набухания. В этой связи опытным путем изучали возможность совместной стерилизации твердофазного сырья и жидкого компонента для напитков при различных концентрациях какаовеллы (2%, 4%, 6%, 8%). Даже в самой низкой концентрации – 2% – какаовелла сильно набухает и снижает технологические показатели напитка. На Рисунке 2 показаны экспериментальные варианты напитка при раздельной и совместной стерилизации твердофазного сырья и жидкого компонента.

Ввиду сильной степени набухания какаовеллы при разработке технологии получения синбиотических напитков показана раздельная стерилизация твердофазного сырья и жидкого компонента.

С целью разработки технологии синбиотического напитка был проведен скрининг микроорганизмов, способных активно развиваться и накапливать биомассу на какаовелле. По результатам исследований (Elhalis et al, 2020; Papalexandratou et al, 2013; Schwan & Wheals, 2004; Visintin et al, 2016) основными видами микроорганизмов, обнаруженными при ферментации какао бобов были дрожжи *Hanseniaspora guilliermondii*, *Pichia kudriavzevii* и *Kluyveromyces marxianus*, молочнокислые бактерии *Lactobacillus plantarum* и *Lactobacillus fermentum*. В качестве базового вида культур в настоящей работе выступили дрожжи, которые необходимы для естественного процесса ферментации какао бобов. Тестирова-

Рисунок 2

Технологические свойства напитков при разных вариантах стерилизационной обработки сырья



А – напиток при совместной стерилизации (концентрация какаовеллы 2%)



Б – напиток при раздельной стерилизации (концентрация какаовеллы 2%)

ли культуру *Pichia guilliermondii* 2510 из коллекции кафедры «Биотехнология и технология продуктов биоорганического синтеза» ФГБОУ ВО «МГУПП», *Pichia guilliermondii* ВКПМ Y-4316 из коллекции ООО «Микробные нутриенты иммунокорректоры» и пробиотический штамм *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*. Уровни накопления биомассы дрожжей при твердофазном культивировании на какаовелле представлены в таблице 3. Необходимо отметить, что штаммы дрожжей *Pichia guilliermondii* показали результаты на порядок больше, чем производственный штамм *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*. Эти данные коррелируют с предыдущими исследованиями и подтверждают перспективность использования для ферментации какаовеллы дрожжей рода *Pichia*.

Для подбора оптимального состава среды для роста дрожжей были проведены исследования влияния целлюлозосодержащих добавок и глюкозы на накопление дрожжевых культур при твердофазном культивировании. По результатам исследований (Голованова & Солдатова, 2017; Солдатова и соавт., 2016) целлюлозосодержащие добавки могут быть дополнительными источниками биологически активных веществ. Данные представлены в Таблице 3. Однако, полученные нами результаты свидетельствуют

о том, что целлюлозосодержащие добавки не стимулируют рост дрожжей на какаовелле, в то время как добавление 2% глюкозы в среду для культивирования увеличивает выход биомассы в 1,5 раза и достигает значений $3 \cdot 10^{10}$ КОЕ/г при использовании штамма *Pichia guilliermondii* 2510.

Пробиотики и пробиотические закваски, используемые в промышленном производстве, в основном представлены молочнокислыми бактериями. В этой связи исследовали возможность роста таких микроорганизмов, как *Bifidobacterium longum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Streptococcus thermophilus*, *Enterococcus faecium*, а также комплекса молочнокислых бактерий, выделенного из препарата Dr. Ohhira и образующего сложные биологические системы — биопленки, в условиях глубинного культивирования при различных концентрациях какаовеллы в питательной среде. В качестве основы использовали молочную сыворотку. Данные по накоплению биомассы молочнокислых бактерий и влиянию концентрации какаовеллы на продуктивность микроорганизмов представлены в Таблице 4.

Проведенные исследования показали, что наибольший результат по количеству колониеобраз-

Таблица 3

Накопление дрожжей при твердофазном культивировании на какаовелле и влияние целлюлозосодержащих добавок и глюкозы на рост дрожжевых культур

Штамм дрожжей	Накопление дрожжей на твердой среде, 10^9 КОЕ/г			
	Велла 100 %	Велла 50 % + луга подсолнечника (молотая) 50 %	Велла 50 % + солодо-вые ростки 50 %	Велла 98 % + глюкоза 2 %
<i>Pichia</i> sp. 2510	20	10	14	30
<i>Pichia guilliermondii</i> ВКПМ Y-4316	22	10	18	29
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> var. <i>boulardii</i>	2	1	1	4

Таблица 4

Накопление молочнокислых бактерий при глубинном культивировании на молочной сыворотке (МС) с добавлением какаовеллы и влияние концентрации какаовеллы на продуктивность микроорганизмов

Штамм молочнокислых бактерий	Накопление бактерий, 10^9 КОЕ/мл			
	МС + 2 % какаовеллы	МС + 4 % какаовеллы	МС + 6 % какаовеллы	МС + 8 % какаовеллы
Комплекс ОМ-Х Dr. Ohhira	15	25	30	26
<i>Enterococcus faecium</i>	6	9	9	8
<i>Bifidobacterium longum</i>	1	4	4	4
<i>Lactobacillus acidophilus</i> № 317/402	2	2	3	2

зующих единиц достигнут при использовании комплекса пробиотических культур ОМ-Х Dr. Ohhira и составил $2,5 \cdot 10^{10}$ КОЕ/мл. Необходимо отметить, что *Bifidobacterium longum*, которые довольно требовательны к условиям культивирования, также характеризовались активным ростом — $4 \cdot 10^{10}$ КОЕ/мл. Концентрация какаовеллы на уровне 6 % оптимальна, однако в связи со специфическими органолептическими свойствами сырья, такое высокое процентное содержание придает горьковатый вкус получаемому синбиотическому напитку. Для дальнейших исследований использовалась концентрация какаовеллы 4 %.

В ряде работ была показана стимулирующая роль дрожжевого компонента на рост молочнокислых бактерий (Каночкина, 2011; Маслова и соавт., 2018; Каночкина, 2012). В этой связи были проведены исследования роста комплекса пробиотических культур ОМ-Х Dr. Ohhira в условиях глубинного культивирования на молочной сыворотке с добавлением 4 % предварительно проферментированной дрожжами *Pichia guilliermondii* 2510 и *Pichia guilliermondii* ВКПМ У-4316 какаовеллы, которые подтвердили результаты предыдущих исследований. Данные по накоплению биомассы молочнокислых бактерий представлены в Таблице 5.

Наилучшие результаты роста достигнуты при использовании в технологии двухфазной последовательной ферментации дрожжами *Pichia guilliermondii* 2507 и комплексом пробиотических микроорганизмов ОМ-Х, Dr. Ohhira — 3×10^{10} КОЕ/мл напитка. Это объясняется скорее всего метаболической активностью дрожжей в процессе твердофазного культивирования, которая способствует более полной ассимиляции сырья молочнокислыми бактериями на второй (глубинной) стадии ферментации.

Ученые (Van Thi et al, 2014) уже определяли роль дрожжей в ферментации какао и их вклада в качество шоколада. В ферментационную среду добавляли натамицин, рост дрожжей подавлялся, а молочнокислые бактерии *Lactobacillus plantarum* и *Lactobacillus fermentum* развивались. При этом отмечали, что бобы, сброженные без дрожжей, были пурпурно-фиолетового цвета, а не полностью коричневыми, а шоколад, приготовленный из этих бобов, не имел характерного шоколадного вкуса и был слишком кислый. Физический и химический

Таблица 5

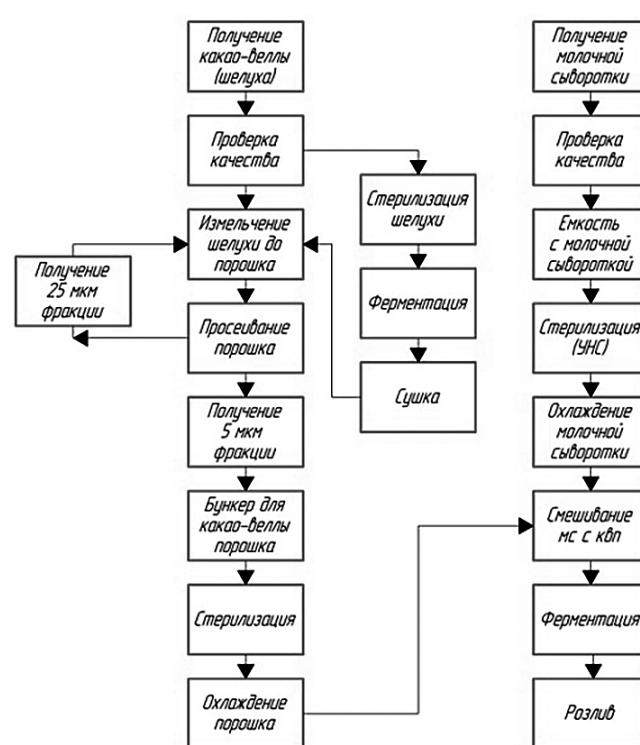
Накопление молочнокислых бактерий при глубинном культивировании на молочной сыворотке (МС) с добавлением какаовеллы

Штамм молочно-кислых бактерий	Накопление бактерий, 10^9 КОЕ/мл			
	МС + 4% какаовеллы	МС + 4% проферментированной дрожжами <i>Pichia guilliermondii</i> 2510 какаовеллы	МС + 4% проферментированной дрожжами <i>Pichia guilliermondii</i> ВКПМ У-4316 какаовеллы	МС + 4% проферментированной дрожжами <i>Pichia guilliermondii</i> ВКПМ У-4316 какаовеллы
Комплекс ОМ-Х Dr. Ohhira	25	30	28	28

анализы показали, что бобы, сброженные без дрожжей, имеют повышенное содержание скорлупы, более низкое производство этанола, более высокое содержание спиртов и эфиров в процессе ферментации и меньшее присутствие пиразинов в обжаренном продукте. Это коррелирует с нашими результатами и требует дальнейших исследований

Рисунок 3

Блок схема технологии получения обогащенного напитка на базе какаовеллы и молочной сыворотки



органолептических и потребительских показателей разрабатываемых синбиотических напитков.

Проанализировав результаты исследований, была разработана экспериментальная модель технологии получения обогащенного напитка на базе какаовеллы и молочной сыворотки, которая представлена на Рисунке 3.

ВЫВОДЫ

В результате исследований можно сделать вывод о подтверждении идеи использования какаовеллы как пребиотической добавки при изготовлении биопродуктов и кормов для сельскохозяйственных животных. Проведен скрининг пробиотических штаммов микроорганизмов, показывающий возможность роста на данном сырье наиболее широко применяемых видов пробиотических микроорганизмов: *Bifidobacterium longum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Streptococcus thermophilus*, *Enterococcus faecium*, *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*. При этом наиболее перспективны для твердофазной ферментации дрожжи рода *Pichia*.

Показано влияние предварительной обработки используемого сырья и наличия глюкозы в среде

на рост пробиотических микроорганизмов. Разработана модель (блок схема) технологии получения обогащенного напитка на базе какаовеллы с синбиотическими свойствами.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность Обществу с ограниченной ответственностью «Микробные нутриенты иммунокорректоры» за организационную, информационную поддержку и помочь в проведении исследований.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Каночкина М. С.: концептуализация, методология, формальный анализ, проведение исследования, администрирование данных, создание рукописи и её редактирование, руководство исследованием, администрирование проекта.

Соколов И. Р.: верификация данных, проведение исследования, создание черновика рукописи, визуализация.

ЛИТЕРАТУРА

- Голованова, К. Ю., & Солдатова С. Ю. (2017). Использование биологически активных веществ растений для создания нутрицевтика, нормализующего работу ЖКТ. В День науки: Сборник материалов конференции (ч. 1, с. 63–67). М.: Московский государственный университет пищевых производств.
- Каночкина, М. С. (2011). Выживаемость дрожжей в твердофазных культурах. *Пищевая промышленность*, (6), 44–55.
- Каночкина, М. С. (2012). Разработка технологии активных полимикробных посевных материалов для производства дрожже-бактериальных функциональных продуктов [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Маслова, Т. А., Солдатова, С. Ю., Подольская, Ю. М., Борисенко, Е. Г., & Лаптева, Е. А. (2018). Дрожжевые изоляты для прямой биоконверсии целлюлозосодержащего сырья. В *Биотехнология и продукты биоорганического синтеза: Сборник материалов национальной научно-практической конференции* (с. 227–231). М.:
- Московский государственный университет пищевых производств.
- Солдатова, С. Ю., Бутова, С. Н., & Голованова, К. Ю. (2016). Разработка рецептуры биологически активной добавки для нормализации работы желудочно-кишечного тракта. *Бюллетень науки и практики*, (5), 27–33. <https://doi.org/10.5281/zenodo.54823>
- Battegazzore, D., Bocchini, S., Alongi, J., & Frache, A. (2014). Plasticizers, antioxidants and reinforcement fillers from hazelnut skin and cocoa by-products: Extraction and use in PLA and PP. *Polymer Degradation and Stability*, 108, 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.03.003>
- Citu, I. M., Citu, C., Margan, M. M., Craina, M., Neamtu, R., Gorun, O. M., Burlea, B., Bratosin, F., Rosca, O., Grigoras, M. L., Motoc, A., Malita, D., Neagoe, O., & Gorun, F. (2022). Calcium, magnesium, and zinc supplementation during pregnancy: The additive value of micronutrients on maternal immune response after SARS-CoV-2 infection. *Nutrients*, 14(7), Article 1445. <https://doi.org/10.3390/nu14071445>

- DiNicolantonio, J., & O'Keefe, J. H. (2021). Magnesium and vitamin D deficiency as a potential cause of immune dysfunction, cytokine storm and disseminated intravascular coagulation in covid-19 patients. *Missouri Medicine*, 118(1), 68–73.
- Elhalis, H., Cox, J., Frank, D., & Zhao, J. (2020). The crucial role of yeasts in the wet fermentation of coffee beans and quality. *International Journal of Food Microbiology*, 333, Article 108796. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108796>
- Fan, Y., & Pedersen, O. (2021). Gut microbiota in human metabolic health and disease. *Nature Reviews Microbiology*, 19, 55–71. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0433-9>
- González, J., Pérez, D., Gutiérrez, Y. I., Scull, R., de la C. Salgado, E. G. D., & Monan, M. (2018). Pharmacognostic and physicochemical studies of theobroma cacao bean husk in Cuba. *International Invention of Scientific Journal*, 2(7), 262–267.
- Kowalska, H., Czajkowska, K., Cichowska, J., & Lenart, A. (2017). What's new in biopotential of fruit and vegetable by-products applied in the food processing industry. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.016>
- Li, F.-Y., Chaigne-Delalande, B., Kanellopoulou, C., Davis, J. C., Matthews, H. F., Douek, D. C., Cohen, J. I., Uzel, G., Su, H. S., & Lenardo, M. J. (2011). Second role for Mg²⁺ revealed by immunodeficiency due to loss of MagT1. *Nature*, 475(7357), 471–476. <https://doi.org/10.1038/nature10246>
- Martín-Cabrejas, M. A., Valiente, C., Esteban, R. M., Mollá, E., & Waldron, K. (1994). Cocoa hull: A potential source of dietary fibre. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 66(3), 307–311. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740660307>
- Martínez, R., Torres, P., Meneses, M., Figueroa, J., Pérez-Álvarez, J., & Viuda-Martos, M. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of cocoa (*Theobroma cacao* L.) co-products. *Food Research International*, 49(1), 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.08.005>
- Micke, O., Vormann, J., & Kisters, K. (2020). Magnesium deficiency and COVID-19—What are the links. *Trace Elements and Electrolytes*, 37, 103–107. <https://doi.org/10.5414/tex01651>
- Nsor-Atindana, J., Zhong, F., Mothibe, K. J., Bangoura, M. L., & Lagnika, C. (2012). Quantification of total polyphenolic content and antimicrobial activity of cocoa (*Theobroma cacao* L.) Bean Shells. *Pakistan Journal of Nutrition*, 11(7), 672–677. <https://doi.org/10.3923/pjn.2012.672.677>
- Paladines-Santacruz, G., Orellana-Manzano, A., Sarmiento, G., Pilozo, G., Iñiga, E., Zaruma-Torres, F., Ortiz-Ulloa, J., Quijano-Aviles, M., di Grumo, D., Orellana-Manzano, S., del Carmen Villacres, M., Manzano, P., & Berghe, W. V. (2021). Acute oral toxicity of a novel functional drink based on *Ilex guayusa*, *vernonanthura patens*, and cocoa husk. *Toxicology Reports*, 8, 747–752. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.03.026>
- Papalexandratou, Z., Lefever, T., Bahrim, B., Seng Lee, O., Daniel, H., de Vuyst, L. (2013). *Hanseniaspora opuntiae*, *saccharomyces cerevisiae*, *lactobacillus fermentum*, and *acetobacter pasteurianus* predominate during well-performed Malaysian cocoa bean box fermentations, underlining the importance of these microbial species for a successful cocoa bean fermentation process. *Food Microbiology*, 35(2), 73–85. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.02.015>
- Pérez, E., Méndez, A., León, M., Hernández, G., & Sívori, L. (2015). Proximal composition and the nutritional and functional properties of cocoa by-products (pods and husks) for their use in the food industry. In *Chocolate cocoa byproducts technology, rheology, styling, and nutrition* (pp. 219–234). New York: Nova Science Publishers.
- Postigo-Martin, P., Cantarero-Villanueva, I., Lista-Paz, A., Castro-Martín, E., Arroyo-Morales, M., & Seco-Calvo, J. (2021). A COVID-19 rehabilitation prospective surveillance model for use by physiotherapists. *Journal of Clinical Medicine*, 10(8), Article 1691. <https://doi.org/10.3390/jcm10081691>
- Quijano-Avilés, M., Chóez-Guaranda, I., Viteri, R., Barragán-Lucas, A., Sosa, D., Manzano, P. (2021). Effect of cocoa bean shell addition on metabolite profile and antioxidant activity of herbal infusions. *International Journal of Food Science*, 2021, Article 9915797. <https://doi.org/10.1155/2021/9915797>
- Qureshi, H. (2020). The digestive system and the COVID-19. *Journal of Pakistan Medical Association*, 70(5), S98–S100. <https://doi.org/10.5455/JPMA.19>
- Rojo-Poveda, O., Barbosa-Pereira, L., Zeppa, G., & Stévigny, C. (2020). Cocoa bean shell-a by-product with nutritional properties and biofunctional potential. *Nutrients*, 12(4), Article 1123. <https://doi.org/10.3390/nu12041123>
- Rojo-Poveda, O., Barbosa-Pereira, L., Mateus-Reguengo, L., Bertolino, M., Stévigny, C., & Zeppa, G. (2019) Effects of particle size and extraction methods on cocoa bean shell functional beverage. *Nutrients*, 11(4), Article 867. <https://doi.org/10.3390/nu11040867>
- Santana, D. P., Sanchez, J. L. R., Calle, J., de Villavicencio, M. N., Ortega, L. D., & Llanes, L. H. (2018). Utilización de la cascarilla de cacao como fuente de fibra dietética y antioxidantes en la elaboración de galletas dulces. *Food Science and Technology*, 28, 62–67.
- Schwan, R. F., & Wheals, A. E. (2004). The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(4), 205–221. <https://doi.org/10.1080/10408690490464104>
- Sheu, J.-R., Hsiao, G., Shen, M.-Y., Fong, T.-H., Lin, C.-H., & Chou, D.-S. (2002). Mechanisms involved in the anti-platelet activity of magnesium in human platelets. *British Journal of Haematology*, 119(4), 1033–1041. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2141.2002.03967.x>
- Tang, C., Ding, H., Jiao, R., Wu, X., & Kong, L. (2020). Possibility of magnesium supplementation for supportive treatment in patients with COVID-19. *European Journal of Pharmacology*, 886, Article 173546. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2020.173546>
- Tian, J., Tang, L., Liu, X., Li, Y., Chen, J., Huang, W., & Liu, M. (2022). Populations in low-magnesium areas were associated with higher risk of infection in COVID-19's early transmission: A nationwide retrospective cohort study

- in the United States. *Nutrients*, 14(4), Article 909. <https://doi.org/10.3390/nu14040909>
- Van Thi, T. H., Zhao, J., & Fleet, G. (2014). Yeasts are essential for cocoa bean fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 174, 72–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.12.014>
- Visintin, S., Alessandria, V., Valente, A., Dolci, P., & Cocolin, L. (2015). Molecular identification and physiological characterization of yeasts, lactic acid bacteria and acetic acid bacteria isolated from heap and box cocoa bean fermentations in West Africa. *International Journal of Food Microbiology*, 216, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.09.004>
- Wang, M. K., Yue, H. Y., Cai, J., Zhai, Y. J., Peng, J. H., Hui, J. F., Hou, D. Y., Li, W. P., & Yang, J. S. (2021). COVID-19 and the digestive system: A comprehensive review. *World Journal of Clinical Cases*, 9(16), 3796–3813. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v9.i16.3796>

REFERENCES

- Golovanova, K. Yu., & Soldatova S. Yu. (2017). Ispol'zovanie biologicheski aktivnykh veshchestv rastenii dlya sozdaniya nutritsevtika, normalizuyushchego rabotu ZhKT [The use of biologically active substances of plants to create a nutraceutical that normalizes the work of the gastrointestinal tract]. In *Den'nauki: Sbornik materialov konferentsii* [Science Day: Collection of conference materials] (vol. 1, pp. 63–67). Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv.
- Kanochkina, M. S. (2011). Vyzhivaemost' drozhzhei v tverdogafaznykh kul'turakh [Yeast survival in solid-phase cultures]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], (6), 44–55.
- Kanochkina, M. S. (2012). *Razrabotka tekhnologii aktivnykh polimikrobnykh posevnykh materialov dlya proizvodstva drozhzhe-bakterial'nykh funktsional'nykh produktov* [Development of technology of active polymicrobial seed materials for the production of yeast-bacterial functional products] [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Rossiya.
- Maslova, T. A., Soldatova, S. Yu., Podol'skaya, Yu. M., Borisenko, E. G., & Lapteva, E. A. (2018). Drozhzhelye izolyaty dlya pryamoi biokonversii tsellyulozosoderzhashchego syr'ya [Yeast isolates for direct bioconversion of cellulose-containing raw materials]. In *Biotehnologiya i produkty bioorganicheskogo sinteza: Sbornik materialov natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Biotechnology and bioorganic synthesis products: Collection of materials of the National Scientific and Practical Conference] (pp. 227–231). Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv.
- Soldatova, S. Yu., Butova, S. N., & Golovanova, K. Yu. (2016). Razrabotka retseptury biologicheski aktivnoi dobavki dlya normalizatsii raboty zheludochno-kishechnogo trakta [Development of a formulation of a biologically active additive for normalization of the gastrointestinal tract]. *Byulleten' nauki i praktiki* [Bulletin of Science and Practice], (5), 27–33. <https://doi.org/10.5281/zenodo.54823>
- Battegazzore, D., Bocchini, S., Alongi, J., & Frache, A. (2014). Plasticizers, antioxidants and reinforcement fillers from hazelnut skin and cocoa by-products: Extraction and use in PLA and PP. *Polymer Degradation and Stability*, 108, 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.03.003>
- Citu, I. M., Citu, C., Margan, M. M., Craina, M., Neamtu, R., Gorun, O. M., Burlea, B., Bratosin, F., Rosca, O., Grigoras, M. L., Motoc, A., Malita, D., Neagoe, O., & Gorun, F. F. (2022). Calcium, magnesium, and zinc supplementation during pregnancy: The additive value of micronutrients on maternal immune response after SARS-CoV-2 infection. *Nutrients*, 14(7), Article 1445. <https://doi.org/10.3390/nu14071445>
- DiNicolantonio, J., & O'Keefe, J. H. (2021). Magnesium and vitamin D deficiency as a potential cause of immune dysfunction, cytokine storm and disseminated intravascular coagulation in covid-19 patients. *Missouri Medicine*, 118(1), 68–73.
- Elhalis, H., Cox, J., Frank, D., & Zhao, J. (2020). The crucial role of yeasts in the wet fermentation of coffee beans and quality. *International Journal of Food Microbiology*, 333, Article 108796. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108796>
- Fan, Y., & Pedersen, O. (2021). Gut microbiota in human metabolic health and disease. *Nature Reviews Microbiology*, 19, 55–71. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0433-9>
- González, J., Pérez, D., Gutiérrez, Y. I., Scull, R., de la C. Salgado, E. G. D., & Monan, M. (2018). Pharmacognostic and physicochemical studies of theobroma cacao bean husk in Cuba. *International Invention of Scientific Journal*, 2(7), 262–267.
- Kowalska, H., Czajkowska, K., Cichowska, J., & Lenart, A. (2017). What's new in biopotential of fruit and vegetable by-products applied in the food processing industry. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.016>
- Li, F.-Y., Chaigne-Delalande, B., Kanellopoulou, C., Davis, J. C., Matthews, H. F., Douek, D. C., Cohen, J. I., Uzel, G., Su, H. S., & Lenardo, M. J. (2011). Second role for Mg²⁺ revealed by immunodeficiency due to loss of MagT1. *Nature*, 475(7357), 471–476. <https://doi.org/10.1038/nature10246>
- Martín-Cabrejas, M. A., Valiente, C., Esteban, R. M., Mollá, E., & Waldron, K. (1994). Cocoa hull: A potential source of dietary fibre. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 66(3), 307–311. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740660307>
- Martínez, R., Torres, P., Meneses, M., Figueroa, J., Pérez-Álvarez, J., & Viuda-Martos, M. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of cocoa (Theobroma

- cacao L.) co-products. *Food Research International*, 49(1), 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.08.005>
- Micke, O., Vormann, J., & Kisters, K. (2020). Magnesium deficiency and COVID-19 – What are the links. *Trace Elements and Electrolytes*, 37, 103–107. <https://doi.org/10.5414/tex01651>
- Nsor-Atindana, J., Zhong, F., Mothibe, K. J., Bangoura, M. L., & Lagnika, C. (2012). Quantification of total polyphenolic content and antimicrobial activity of cocoa (*Theobroma cacao* L.) Bean Shells. *Pakistan Journal of Nutrition*, 11(7), 672–677. <https://doi.org/10.3923/pjn.2012.672.677>
- Paladines-Santacruz, G., Orellana-Manzano, A., Sarmiento, G., Pilozo, G., Iñiga, E., Zaruma-Torres, F., Ortiz-Ulloa, J., Quijano-Aviles, M., di Grumo, D., Orellana-Manzano, S., del Carmen Villacres, M., Manzano, P., & Berghe, W. V. (2021). Acute oral toxicity of a novel functional drink based on *Ilex guayusa*, *vernonanthura patens*, and cocoa husk. *Toxicology Reports*, 8, 747–752. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.03.026>
- Papalexandratos, Z., Lefebvre, T., Bahrim, B., Seng Lee, O., Daniel, H., de Vuyst, L. (2013). Hanseniaspora opuntiae, saccharomyces cerevisiae, lactobacillus fermentum, and acetobacter pasteurianus predominate during well-performed Malaysian cocoa bean box fermentations, underlining the importance of these microbial species for a successful cocoa bean fermentation process. *Food Microbiology*, 35(2), 73–85. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.02.015>
- Pérez, E., Méndez, A., León, M., Hernández, G., & Sívori, L. (2015). Proximal composition and the nutritional and functional properties of cocoa by-products (pods and husks) for their use in the food industry. In *Chocolate cocoa byproducts technology, rheology, styling, and nutrition* (pp. 219–234). New York: Nova Science Publishers.
- Postigo-Martin, P., Cantarero-Villanueva, I., Lista-Paz, A., Castro-Martín, E., Arroyo-Morales, M., & Seco-Calvo, J. (2021). A COVID-19 rehabilitation prospective surveillance model for use by physiotherapists. *Journal of Clinical Medicine*, 10(8), Article 1691. <https://doi.org/10.3390/jcm10081691>
- Quijano-Avilés, M., Chóez-Guaranda, I., Viteri, R., Barragán-Lucas, A., Sosa, D., Manzano, P. (2021). Effect of cocoa bean shell addition on metabolite profile and antioxidant activity of herbal infusions. *International Journal of Food Science*, 2021, Article 9915797. <https://doi.org/10.1155/2021/9915797>
- Qureshi, H. (2020). The digestive system and the COVID-19. *Journal of Pakistan Medical Association*, 70(5), S98–S100. <https://doi.org/10.5455/JPMA.19>
- Rojo-Poveda, O., Barbosa-Pereira, L., Zeppa, G., & Stévigny, C. (2020). Cocoa bean shell-a by-product with nutritional properties and biofunctional potential. *Nutrients*, 12(4), Article 1123. <https://doi.org/10.3390/nu12041123>
- Rojo-Poveda, O., Barbosa-Pereira, L., Mateus-Reguengo, L., Bertolino, M., Stévigny, C., & Zeppa, G. (2019) Effects of particle size and extraction methods on cocoa bean shell functional beverage. *Nutrients*, 11(4), Article 867. <https://doi.org/10.3390/nu11040867>
- Santana, D. P., Sanchez, J. L. R., Calle, J., de Villavicencio, M. N., Ortega, L. D., & Llanes, L. H. (2018). Utilización de la cascarilla de cacao como fuente de fibra dietética y antioxidantes en la elaboración de galletas dulces. *Food Science and Technology*, 28, 62–67.
- Schwan, R. F., & Wheals, A. E. (2004). The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(4), 205–221. <https://doi.org/10.1080/10408690490464104>
- Sheu, J.-R., Hsiao, G., Shen, M.-Y., Fong, T.-H., Lin, C.-H., & Chou, D.-S. (2002). Mechanisms involved in the anti-platelet activity of magnesium in human platelets. *British Journal of Haematology*, 119(4), 1033–1041. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2141.2002.03967.x>
- Tang, C., Ding, H., Jiao, R., Wu, X., & Kong, L. (2020). Possibility of magnesium supplementation for supportive treatment in patients with COVID-19. *European Journal of Pharmacology*, 886, Article 173546. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2020.173546>
- Tian, J., Tang, L., Liu, X., Li, Y., Chen, J., Huang, W., & Liu, M. (2022). Populations in low-magnesium areas were associated with higher risk of infection in COVID-19's early transmission: A nationwide retrospective cohort study in the United States. *Nutrients*, 14(4), Article 909. <https://doi.org/10.3390/nu14040909>
- Van Thi, T. H., Zhao, J., & Fleet, G. (2014). Yeasts are essential for cocoa bean fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 174, 72–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.12.014>
- Visintin, S., Alessandria, V., Valente, A., Dolci, P., & Cocolin, L. (2015). Molecular identification and physiological characterization of yeasts, lactic acid bacteria and acetic acid bacteria isolated from heap and box cocoa bean fermentations in West Africa. *International Journal of Food Microbiology*, 216, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.09.004>
- Wang, M. K., Yue, H. Y., Cai, J., Zhai, Y. J., Peng, J. H., Hui, J. F., Hou, D. Y., Li, W. P., & Yang, J. S. (2021). COVID-19 and the digestive system: A comprehensive review. *World Journal of Clinical Cases*, 9(16), 3796–3813. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v9.i16.3796>

УДК: 663.86.054.1

Разработка технологии функционального напитка на зерновой основе

Московский государственный
университет пищевых производств,
г. Москва, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Ионова Кристина Сергеевна
Адрес: 125080, Россия, г. Москва,
Волоколамское ш., д.11
E-mail: ionova.kris@gmail.com

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:
данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Ионова, К. С., Бакуменко, О. Е., &
Бакуменко, П. В. (2022). Разработка технологии функционального напитка на зерновой основе. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 164–179.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.293>

ПОСТУПИЛА: 11.03.2022

ПРИНЯТА: 14.06.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 14.10.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.



К. С. Ионова, О. Е. Бакуменко, П. В. Бакуменко

АННОТАЦИЯ

Введение. Безалкогольные напитки – одни из наиболее часто употребляемых продуктов. В России отмечается повышенный интерес к применению продуктов из экологически безопасного растительного сырья. В соответствии с принятой Стратегией повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года, в ближайшие годы будут создаваться продукты нового поколения с заданными характеристиками, что и определяет необходимость применения инновационных технологий, обеспечивающих стабильность их качества, конкурентность, а также разработка критериев для идентификации их подлинности

Цель. Разработка технологии функционального напитка на овсяной ферментированной основе, которая позволяет расширить ассортимент, получить качественную и безопасную продукцию функционального назначения с длительным сроком годности, высокой пищевой ценностью и хорошими вкусовыми качествами.

Материалы и методы. Объект исследования – напиток на зерновой основе функционального назначения. Основным сырьем для получения напитка являлась мука овсяная которая подвергалась ферментации с помощью обработки мультиэнзимным комплексом ферментов. В работе использовали общепринятые органолептические, физико-химические, биохимические и микробиологические методы исследования сырья и готового продукта.

Результаты. Разработана новая технология напитка на овсяной ферментированной основе. В процессе исследований была разработана рецептура с изучением влияния вносимых компонентов, проведена комплексная оценка качества готового продукта по органолептическим, физико-химическим, микробиологическим и токсикологическим показателям безопасности напитков на зерновой основе, установлен срок годности напитка на зерновой основе.

Выводы. Полученные результаты могут использоваться для дальнейших исследований при разработке напитков на зерновой основе, а также для производства безалкогольных напитков функционального назначения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

напиток, ферментированный, овес, функциональный, рецептура, технология, зерно, гидролиз

Development of Technology for a Functional Grain-Based Drink

Moscow State university of food production, Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Kristina S. Ionova
11, Volokolamskoe sh., Moscow,
125080, Russian Federation
E-mail: ionova.kris@gmail.com

FOR CITATIONS:

Ionova, K. S., Bakumenko, O. E., & Bakumenko, P. V. (2022). Development of technology for a functional grain-based drink. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 164–179.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.293>

RECEIVED: 11.03.2022

ACCEPTED: 14.06.2022

PUBLISHED: 14.10.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Kristina S. Ionova, Olesya E. Bakumenko, Polina V. Bakumenko

ABSTRACT

Background. Soft drinks are one of the most commonly consumed foods. In Russia, there is an increased interest in the use of products from environmentally friendly plant materials. In accordance with the adopted Strategy for Improving the Quality of Food Products in the Russian Federation until 2030, in the coming years, "new generation products with desired characteristics" will be created, which determines the need for the use of innovative technologies that ensure the stability of their quality, competitiveness, as well as the development of criteria for identification of their authenticity

Purpose. The purpose of the study was to develop a technology for a functional grain-based drink. The novelty of the work done lies in the fact that a new fermented oat-based drink technology has been developed, which allows expanding the range, obtaining high-quality and safe functional products with a long shelf life, high nutritional value and good taste.

Materials and Methods. The object of the study was a grain-based beverage with a functional purpose. The main raw material for the drink was oatmeal, which was fermented by processing with amylolytic natural enzymes. The work used generally accepted organoleptic, physicochemical, biochemical and microbiological methods for the study of raw materials and finished products.

Results. As a result of the conducted research, a new technology for a fermented oat-based drink was developed. In the process of research, a recipe was developed with a study of the effect of the introduced components, a comprehensive assessment of the quality of the finished product was carried out in terms of organoleptic, physico-chemical, microbiological and toxicological indicators of the safety of grain-based drinks, and the shelf life of a grain-based drink was established.

Conclusion. The obtained results of the work can be used for further research in the development of grain-based drinks, as well as for the production of soft drinks for functional purposes.

KEYWORDS

drink, fermented, oats, functional, recipe, technology, grain

ВВЕДЕНИЕ

Безалкогольные напитки — одни из наиболее часто употребляемых продуктов. В России отмечается повышенный интерес к применению продуктов из экологически безопасного растительного сырья. Целями Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года, является обеспечение качества пищевой продукции как важнейшей составляющей укрепления здоровья, увеличения продолжительности и повышения качества жизни населения, содействие и стимулирование роста спроса и предложения на более качественные пищевые продукты и обеспечение соблюдения прав потребителей на приобретение качественной продукции¹.

Отечественные и зарубежные исследователи (Доронин & Шендерев, 2011; Позняковский и соавт., 2011; Догаева & Пехтерева, 2011; Доронин и соавт., 2011; Егорова и соавт., 2018; Коденцова и соавт., 2018; Романенко и соавт., 2014; Shah et al., 2016; Londono et al., 2013) предлагают рассматривать безалкогольные напитки на натуральном растительном сырье как функциональные продукты, предназначенные для нормализации различных пищевого статуса человека. Также авторы отмечают, что зерно служит основным и незаменимым источником питательных и биологически активных веществ, а продукты переработки зерна — крупа и мука содержат полный набор пищевых веществ, необходимых для нормальной жизнедеятельности организма. Продукты переработки зерна являются наиболее ценным источником растительного белка, пищевых волокон, макро- и микроэлементов.

Важная роль в разработке продуктов для здорового питания принадлежит растительному сырью — зерновым культурам (Тырсин & Казанцева, 2015; Бакуменко, 2013; Бакуменко, 2014; Самофалова и соавт., 2016; Скурихин & Тутельян, 2007; Спиричев & Шатнюк, 2010), овощам, плодам, ягодам и соавт., которые, благодаря многообразию их макро — и микронутриентного состава являются ценной сырьевой базой для получения натуральной и высококачественной продукции (Черненко, 2015). В качестве растительного сырья для производства напитков функционального назначения перспек-

тивно использование зернового сырья. Так, зерно овса характеризуется высоким содержанием растительного белка, незаменимых аминокислот, полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон, включая растворимые, такие как β -глюкан, олигосахариды, пентозаны; обладает профилактическими свойствами и оказывает эффекты, связанные со снижением уровня холестерина, балансом сахара в крови и инсулином, поддержанием веса и улучшением функции кишечника (Сафонова, 2013). Благодаря своему составу зерно овса обладает высоким функциональным потенциалом. Известно, что овес является отличным источником пищевых волокон, антиоксидантов и хорошо сбалансированной белковой фракцией (Shah et al., 2016; Londono et al., 2013; Staka et al., 2015; Angelov et al., 2018; Chavan et al., 2018; Mridula & Sharma, 2015; Gupta & Sharma, 2016; Vasudha & Mishra, 2013). Оно содержит больше белка, клетчатки, кальция, железа, цинка и незаменимых аминокислот, чем другие цельнозерновые культуры (Shah et al., 2016; Tosh & Chu, 2015). Известно, что овес уникален среди злаков, поскольку он терапевтически активен в отношении диабета, дислипидемии, гипертонии, воспалении и повреждении сосудов (Londono et al., 2013; Sangwan et al., 2014; Shah et al., 2016; Staka et al., 2015). Воздействие овса на здоровье в первую очередь связано с высоковязкой фракцией β -глюкана, которая, как доказано, снижает уровень холестерина в крови и всасывание глюкозы в кишечнике (Hu et al., 2014; Iserliyska et al., 2015; Lampi et al., 2015; Хасанов & Матвеева, 2017; Чузунова & Соловьева, 2011). Эти исследования показывают, насколько зерно овса ценно среди других злаковых культур, а также его благоприятное профилактическое воздействие на организм человека.

Разработана технология безалкогольного функционального напитка, обогащенного молочнокислыми микроорганизмами на основе растительного сырья (Лизогубова, 2021). Однако срок годности данного напитка составляет всего не более 7-ми суток. Также автор использует комплекс сухих пробиотических микроорганизмов «Эвиталия», которая не позволяет расщепить некрахмалистые полисахариды.

¹ Распоряжение Правительства РФ № 1364-р. (2016). Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71335844/>

Основываясь на проведенных исследованиях, с учетом химического состава, свойств и влияния на организм человека, овёс выбран в качестве основы для напитка функционального назначения. Для того, чтобы напиток на зерновой основе получился однородным и легко усваивался, проводится ферментирование овсяной основы с добавлением мультиэнзимной композиции, включающей в себя разного типа ферменты, способствующие лучшему расщеплению некрахмалистых полисахаридов и усвоению напитка. Известно, что ферментированная овсяная основа, отличается высоким содержанием усвояемых углеводов (до 68,5 %), кроме того, в его составе содержится от 9 до 15 % белка, около 6 % липидов, 11,5 % клетчатки. Также в ферментированной овсяной основе содержится полисахарид, который является компонентом клеточной стенки — β -глюкан, принадлежащий к группе неразветвленных полисахаридов, который имеет высокую молекулярную массу, но, тем не менее, растворим в воде, вследствие чего способен образовывать раствор высокой вязкости (Ryu et al., 2012; Collins et al., 2010; Ekstrand et al., 1993).

Разработка технологии напитка на зерновой основе функционального назначения, позволит расширить ассортимент, повысить биологическую и пищевую ценность напитка, а также обеспечить хорошие потребительские свойства продукта. Целью данного исследования явилась разработка рецептуры и способа получения напитка на овсяной ферментированной основе, обладающего функциональными свойствами, с длительным сроком годности, высокой пищевой ценностью и хорошими вкусовыми качествами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Объектом исследования в работе служил напиток на зерновой основе функционального назначения. Сырьем для получения напитка являлась мука овсяная по ГОСТ 31645²; ферментацию овсяной муки осуществляли с помощью обработки мультиэнзим-

ным комплексом ферментов марки «FoodProALT» (Danisco); вкусовыми добавками служили сахар белый по ГОСТ 33222³ и молоко кокосовое сухое (Тайланд); обогащающие добавки — премикс витаминный «Customix Immunity» UF27512375, производства «DSM Nutritional Products Europe Ltd.». СН — 4002 Базель, (Швейцария); технологической добавкой служил яблочный пектин, отвечающий требованиям ГОСТ 29186⁴; в качестве стабилизатора консистенции и консерванта использовали лимонную кислоту по ГОСТ 908⁵.

Продукт упаковывали в потребительскую упаковку, разрешенную к применению в установленном порядке: упаковка типа «Тетра Пак», «Пюр-Пак», «Тетра-Топ».

Оборудование

Овсяную муку просеивали через сите с отверстиями диаметром 1–2 мм, смешивали с водой; гидролиз, варку сахарного сиропа и смешивание с вкусовыми и обогащающими добавками осуществляли в смесителе СМР-20 (Россия), оснащенным паровой рубашкой и мешалкой.

Методы

В работе использовали общепринятые органолептические, физико-химические, биохимические и микробиологические методы исследования сырья и готового продукта.

Содержание белка в ферментированной овсяной основе определяли методом Кильдаля на автоматическом анализаторе «Авто-2300» системы Кильтек (фирма «FOSS», Швеция).

Содержание жира в ферментированной овсяной основе определяли методом экстракции диэтиловым эфиром в аппарате Сокслета.

Содержание пищевых волокон в ферментированной овсяной основе определяли каскадным фер-

² ГОСТ 31645–2012. (2019). Мука для продуктов детского питания. Технические условия. М.: Стандартинформ.

³ ГОСТ 33222–2015. (2019). Сахар белый. Технические условия. М.: Стандартинформ.

⁴ ГОСТ 29186–91. (2004). Пектин. Технические условия. М.: Стандартинформ.

⁵ ГОСТ 908–2004. (2004). Кислота лимонная моногидрат пищевая. Технические условия. М.: Стандартинформ.

ментативным методом с использованием фильтровальной системы Fibertec system E1023 Filtration module и банишайка 1024 Shaking water bath (FOSS, Швеция).

Содержание витаминов в ферментированной овсяной основе определяли: B_1 — флуориметрическим методом; B_2 — люмифлавиновым методом; РР — колориметрическим методом.

Содержание макро- и микроэлементов (калия, кальция, магния, фосфора, железа) в ферментированной овсяной основе проводили на спектрофотометре «Hitachi 180–80» атомно-абсорбционным спектральным анализом.

Органолептические показатели напитка определяли в соответствии с ГОСТ 6687.5⁶. Дегустационную оценку проводили с использованием метода жадательности.

Кислотность напитка определяли методом титрования раствором щелочи всех веществ кислого характера после полного освобождения напитка от двуокиси углерода в соответствии с ГОСТ 6687.4⁷.

Количество мезофильных анаэробных микроорганизмов определяли методом посева в агаризованные питательные среды и методом наиболее вероятного числа в соответствии с ГОСТ 10444.15⁸. Бактерии группы кишечных палочек (БГКП) определяли методом посева в агаризованные селективно-диагностические среды предназначен для пищевых продуктов в соответствии с ГОСТ 31747⁹. Дрожжи и плесени (в сумме) определяли визуально методом посева десятикратных разведений, с использованием чашек Петри.

Массовую концентрацию свинца определяли в соответствии с ГОСТ 26932¹⁰; мышьяка в соответствии с ГОСТ 26930¹¹; кадмия в соответствии с ГОСТ 26933¹²; ртути по ГОСТ 26927¹³.

Для обработки полученных экспериментальных данных использовали матрицу рототабельного центрально-композиционного униформ-плана. Для анализа и обработки данных использовали программы Microsoft Excell, Statistica, MatStat и Biostat.

Процедура исследования

С целью разработки технологии функционального напитка на зерновой основе, были подобраны и научно обоснованы основное сырье, вкусовые и обогащающие ингредиенты. Основным сырьем был выбран овес, поскольку он отличается высоким содержанием нутриентов, снижает уровень холестерина, балансирует уровень сахара и инсулина в крови, обладает профилактическими свойствами. Овёс имеет высокий функциональный потенциал, отличается хорошо сбалансированной белковой фракцией. Он содержит больше белка, клетчатки, кальция, железа, цинка и незаменимых аминокислот, чем другие цельнозерновые культуры.

Для получения однородного напитка с высокими потребительскими свойствами овес ферментируют мультиэнзимным комплексом ферментов, действия которых приводят к расщеплению крахмала из овса на глюкозу и мальтозу (простые сахара).

Для обогащения напитка витаминами и минеральными веществами был подобран премикс «Customix Immunity» UF27512375 в состав которого входят витамины и минеральные вещества (Табли-

⁶ ГОСТ 6687.5–86. (1994). *Продукция безалкогольной промышленности. Методы определения органолептических показателей и объема продукции.* М.: Стандартинформ.

⁷ ГОСТ 6687.4–86. (2015). *Напитки безалкогольные, квасы и сиропы. Методы определения кислотности.* М.: Стандартинформ.

⁸ ГОСТ 10444.15–94. (2010). *Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов.* М.: Стандартинформ.

⁹ ГОСТ 31747–2012. (2013). *Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий).* М.: Стандартинформ.

¹⁰ ГОСТ 26932–86. (2010). *Сырье и продукты пищевые. Методы определения свинца.* М.: Стандартинформ.

¹¹ ГОСТ 26930–86. (2010). *Сырье и продукты пищевые. Метод определения мышьяка.* М.: Стандартинформ.

¹² ГОСТ 26933–86. (2010). *Сырье и продукты пищевые. Методы определения кадмия.* М.: Стандартинформ.

¹³ ГОСТ 26927–86. (2010). *Сырье и продукты пищевые. Методы определения ртути.* М.: Стандартинформ.

Таблица 1

Состав витаминного премикса «Customix Immunity»
UF27512375

Наименование вещества	Содержание в 1 кг
Витамин Е, мг	33 000
Витамин В ₁ , мг	5 460
Витамин В ₂ , мг	6 240
Витамин В ₆ , мг	7 200
Ниацинамид (В ₃ /PP), мг	59 400
Витамин В ₉ , мг	1 320
Витамин В ₅ (пантотеновая кислота), мг	34 200
Биотин (В ₇), мг	495
Витамин В ₁₂ , мкг	3 900
Витамин С, мг	234 000
Цинк, мг	45 000
Селен, мг	165

ца 1). Он применяется в пищевой промышленности, в том числе при производстве функциональных пищевых продуктов. Количество вносимого премикса определяется фирмой-производителем.

С целью определения количества вносимых вкусовых добавок (сахар-белый и кокосовый порошок) и технологической добавки (яблочный пектин) готовили экспериментальные образцы овсяной ферментированной основы, в которых варировали содержание этих добавок. Критерием оценки для вкусовых добавок служил вкус напитка, для технологической добавки — консистенция напитка.

Содержание лимонной кислоты в рецептуре напитка было определено исходя из ТР ТС 026/2011. Оценку качества зернового напитка определяли в соответствии с действующими стандартами. Срок годности напитка был установлен исходя из изменений общей кислотности и органолептической оценки в процессе исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Особенность безалкогольных напитков заключается в том, что они являются сложносоставленными продуктами и открывают возможности введения в них разнообразных пищевых ингредиентов с заданными функциональными свойствами (Теплов & Боряев, 2020). Следовательно, получение напитка на зерновой основе функционального назначения, который включает в себя различные пищевые ингредиенты с заданными функциональными свойствами, явилось одной из задач нашего исследования. Однако, технологическая обработка, действующая на зерновое сырье, может привести к полной или частичной потере лабильных витаминов, особенно витамина В₁, а жирорастворимые витамины могут окисляться в процессе хранения. В связи с этим, в процессе получения функциональных продуктов на зерновой основе особое внимание следует уделять подбору технологических режимов и выбору упаковочных материалов, способствующих лучшей сохранности, как природных свойств сырья, так и вносимых добавок. Соблюдая вышеуказанные критерии при разработке напитка на зерновой основе и технологии его изготовления, которая будет включать в себя щадящие режимы обработки сырья, с учетом правильно подобранной упаковки, мы можем сохранить лабильные компоненты, как в процессе производства, так и в процессе хранения напитка.

Отечественные и зарубежные исследователи (Позняковский и соавт., 2011; Догаева & Пехтерева, 2011; Романенко и соавт., 2014. Теплов & Боряев, 2020; Хасанов & Матвеева 2017; Angelov et al., 2018; Chavan et al., 2018; Mridula, & Sharma, 2015; Iserliyska et al., 2015; Vasudha, & Mishra, 2013) предлагают рассматривать безалкогольные напитки на основе натурального растительного сырья как функциональные продукты¹⁴. По мнению авторов, зерно служит основным и незаменимым источником питательных и биологически активных веществ, а также продукты переработки зерна — крупа и мука содержат полный набор пищевых веществ, необходимых для нормальной жизнедеятельности организма. Они являются наиболее ценным источ-

¹⁴ Доронин, А. Ф., Ипатова, Л. Г., & Кочеткова, А. А. (2009). Функциональные пищевые продукты. Введение в технологии: Учебник. М.: ДелИ принт.

ником растительного белка, пищевых волокон, макро- и микроэлементов.

Рассмотрев множество зерновых культур по химическому составу, основным рецептурным ингредиентом напитка была выбрана овсяная мука (Таблица 2).

Таблица 2
Химический состав овсяной муки (г, мг/100 г)

Пищевые вещества	Количество
Белки, г	13,0 ± 1,8
Жир, г	6,8 ± 0,7
Углеводы, г	64,9 ± 18,2
Пищевые волокна, г	4,5 ± 0,5
Калий, мг	280,0 ± 34,6
Кальций, мг	56,0 ± 17,3
Магний, мг	110,0 ± 22,4
Фосфор, мг	350,0 ± 38,8
Железо, мг	3,6,0 ± 0,3
Витамин Е, мг	1,5 ± 0,09
B ₁ , мг	0,35 ± 0,01
B ₂ , мг	0,10 ± 0,09
РР, мг	4,3 ± 0,4

Был получен однородный напиток функционального назначения, путем проведения гидролиза овсяной муки до полного расщепления веществ. Известна технология безалкогольного функционального напитка на основе растительного сырья, обогащенного молочнокислыми микроорганизмами (Лизогубова, 2021). Однако автор использует комплекс сухих пробиотических микроорганизмов «Эвиталия», которые не позволяют расщепить некрахмалистые полисахариды.

Был разработан новый ферментированный напиток без глютена на основе пророщенной овсяной муки (Aparicio-García, 2021). В работе в качестве основы для приготовления напитка было использовано 18% (по массе) муки из пророщенного овса. В работе использовались очищенные и безглютеновые зерна овса сорта Меери. Отсутствие глютена в зернах овса и ферментированном на основе про-

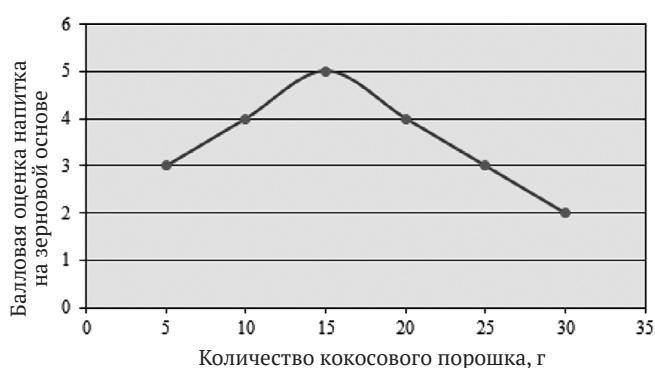
росшего зерна напитке было подтверждено двумя коммерческими наборами для ИФА: Glutentox ELISA Competitivo (Biomedal, Севилья, Испания) и INgezim Gluten Quick (Ingenasa, Мадрид, Испания). Исходя из вышесказанного, мы можем судить о том, что в зерне овса отсутствует или содержится минимальное количество глютена. Для определения содержания глютена в отечественном сырье, используемом в наших исследованиях, потребуются дополнительные исследования, с возможностью дальнейшего нанесение на упаковку разработанного напитка функционального назначения информацию об отсутствии глютена и безопасности его употребления для людей с непереносимостью глютена.

В ходе изучения научной литературы, базы данных сети Intenet и патентов, нами не было обнаружено исследований в области разработки напитков функционального назначения на ферментированной овсяной основе, которая бы подвергалась ферментированию мультиэнзимной композицией.

Для того чтобы напиток на овсяной ферментированной основе приобрел функциональные свойства и имел сбалансированный состав, необходимо добавление функциональных ингредиентов. С целью расширения ассортимента и улучшения потребительских свойств продукта — вкуса, запаха и цвета в рецептуру вносили кокосовый порошок. Зависимость балловой оценки качества напитка на зерновой основе от количества добавляемого кокосового порошка представлена на Рисунке 1. Образец № 1, с содержанием кокосового порошка 5 г — имеет слабо выраженный вкус и аромат ко-

Рисунок 1

Зависимость балловой оценки напитка на зерновой основе от количества добавляемого кокосового порошка



коса; образец № 2, с содержанием кокосового порошка 10 г — имеет недостаточно выраженный вкус и аромат добавляемого ингредиента, образец № 3, с содержанием кокосового порошка 15 г — имеет выраженный приятный вкус и аромат кокоса, добавление такого количества кокосового порошка является наиболее гармоничным. Образец № 4, с содержанием кокосового порошка 20 г — имеет ярко выраженный вкус и аромат кокоса, что отвлекает дегустатора от основного вкуса и аромата напитка на овсяной основе. Образцы № 5, 6 соответственно — оказались с чрезмерно выраженным кокосовым вкусом и ароматом.

В результате изучения органолептических свойств опытного образца зерновой основы для напитка выяснилось, что сладость слабо выражена. В этой связи в рецептуру напитка вносили сахарный сироп с массовой долей сухих веществ 65–70 %. Сироп готовили следующим образом: 1 кг сахарного песка заливали 300 см³ воды, нагревали до кипения при перемешивании. При этом сахар, должен перейти в раствор. Полученный сахарный сироп фильтровали и доливали горячей воды до объёма 1 л. Полученный сироп тщательно перемешивали. Для эксперимента было приготовлено семь образцов ферментированной овсяной основы, в которых варьировали содержание сахарного сиропа в количестве от 0,5 до 3,5 г с шагом 0,5. Критерием оценки служил вкус продукта. Зависимость балловой оценки качества напитка на зерновой основе от количества добавляемого сахарного сиропа представлена на Рисунке 2. Образец № 1, с содержанием сахарного сиропа 0,5 г — оказался безвкусным; образцы № 2, 3 и 4 с содержанием сахарного сиропа 1, 1,5

и 2 г соответственно — слегка сладковатыми, приятными. Образец № 5, с содержанием сахарного сиропа 2,5 г был мягким по вкусу без лишней приторности по сладости. Образцы № 6 и 7, с содержанием сахарного сиропа 3 и 3,5 г соответственно оказались чрезмерно сладкими. После дегустации этих образцов во рту оставался неприятный сладкий привкус. Таким образом, наиболее оптимальным количеством сахарного сиропа в рецептуре напитка было выбрано 2,5 г/100 см³.

В результате изучения органолептических свойств опытного образца зерновой основы оказалось, что консистенция напитка была жидкой в результате недостаточного количества добавленного пектина. Для эксперимента было приготовлено семь образцов напитка, в которых варьировали содержание яблочного пектина в пределах от 0,5 до 3,0 г с шагом 0,5; содержание остальных компонентов было стабильным. Критерием оценки служила консистенция напитка. Зависимость балловой оценки качества напитка на зерновой основе от количества добавленного яблочного пектина представлена на Рисунке 3. Образцы № 1, 2 и 3 с содержанием пектина от 0,5 до 1,5 г — оказались достаточно жидкими, неудовлетворительной консистенции; образец № 4 с содержанием пектина 2,0 г был лучшим по консистенции, с приятной текстурой. Образцы № 5, 6, 7 с содержанием пектина 2, 2,5 и 3 г соответственно оказались чрезмерно густыми. Таким образом, наиболее оптимальным количеством яблочного пектина в рецептуре напитка было выбрано 2,0 г/100 см³.

Для увеличения срока годности готового продукта вносили лимонную кислоту в количестве 1,2 %. Для

Рисунок 2

Зависимость балловой оценки напитка на зерновой основе от количества добавляемого сахарного сиропа

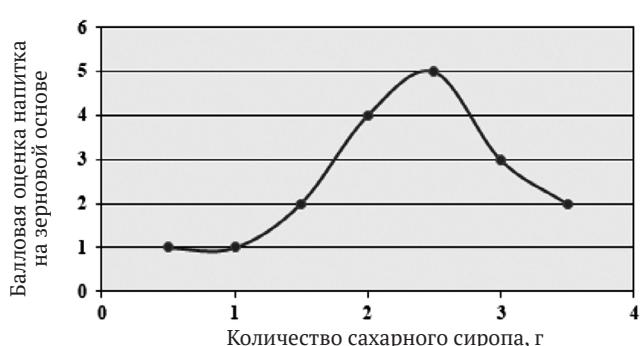
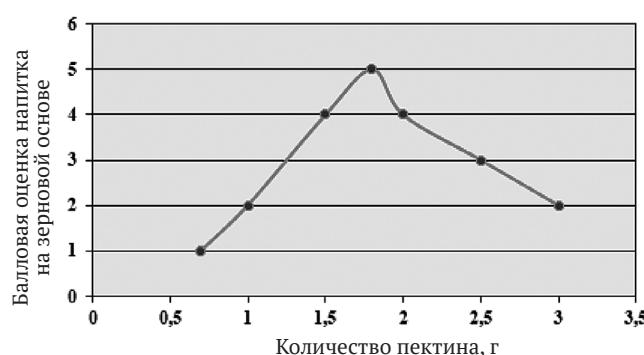


Рисунок 3

Зависимость балловой оценки напитка на зерновой основе от количества добавляемого яблочного пектина



повышения пищевой ценности и придания продукту функциональных свойств в ферментированную зерновую основу вносится витаминный премикс в количестве 0,048 % (рекомендации фирмы-производителя).

В Таблице 3 приведена рецептура напитка на зерновой основе.

На основании проведенных исследований была разработана технологическая схема напитка на зерновой основе функционального назначения (Рисунок 4). Способ получения напитка на зерновой основе включает просеивание овсяной муки, смешивание ее в вакуумном миксере с очищенной водой температурой 70–75 °C в соотношении 1:1 в течение 10–20 мин, добавление в овсяную муку мультиэнзимного комплекса ферментов, проведение гидролиза в течение 90–120 мин при перемешивании, сепарирование ферментированной зерновой муки с разде-

Таблица 3

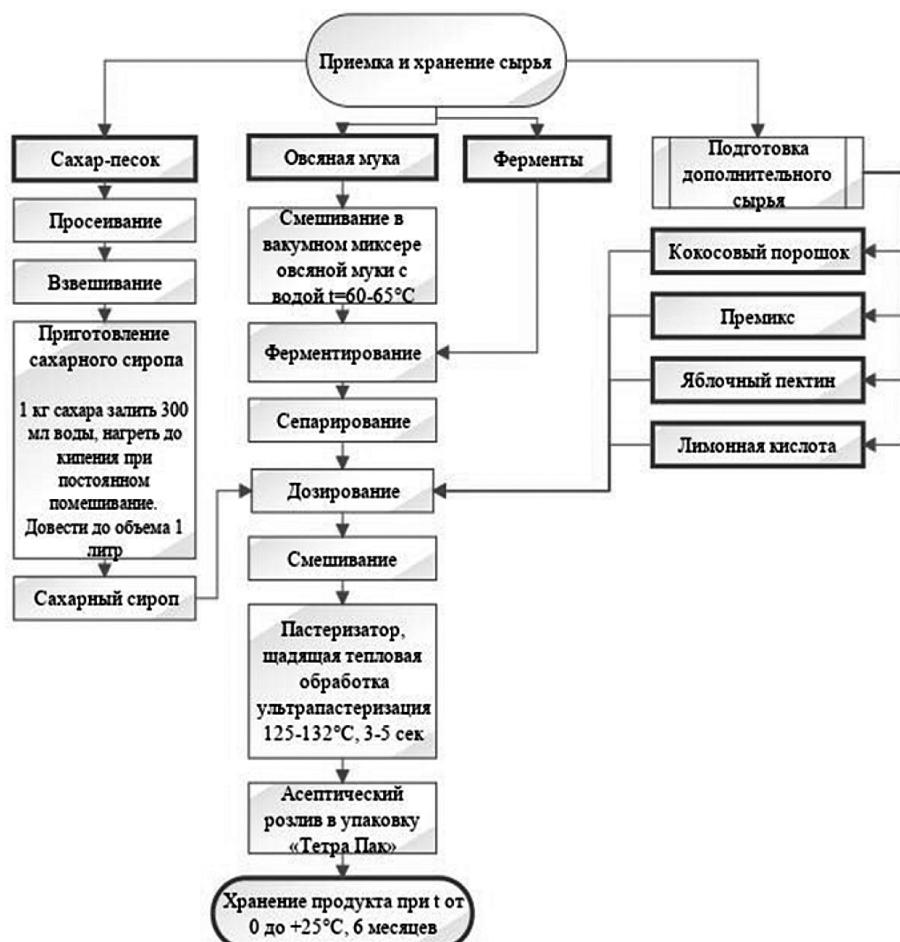
Рецептура напитка на зерновой основе (на 100 см³)

Компоненты напитка на зерновой основе	Содержание г/100 см ³
Вода	63,0
Ферментированная овсяная основа	16,0
Натуральный кокосовый порошок	15,0
Пектин яблочный	2,0
Сахарный сироп	2,5
Лимонная кислота	1,2
Витаминный премикс «Customix Immunity» UF27512375	0,048

лением твердой и жидкой фракций. Параллельно приготавливается сахарный сироп. Сухие компоненты (яблочный пектин, кокосовый порошок, лимонную кислоту, премикс) просеивают и смешива-

Рисунок 4

Технология напитка на зерновой основе функционального назначения



ют между собой. Затем вносят в жидкую фракцию ферментированной зерновой основы сахарный сироп и сухие компоненты. На завершающем этапе проводится ультрапастеризация напитка при температуре 125–130 °С в течение 3–5 секунд и асептический розлив в упаковку «Тетра-пак».

Напиток на зерновой овсяной ферментированной основе представляет собой продукт густой консистенции, слегка сладковатого приятного вкуса, с ароматом кокоса, светло-бежевого цвета, без посторонних привкусов и запахов. Результаты исследования показателей качества продукта и сравне-

ние их с нормами представлены в Таблице 4. По данным, указанным в Таблице 4, результаты физико-химических показателей соответствуют установленным нормам по ГОСТ 28188–2014¹⁵. Микробиологические показатели соответствуют нормам (ТР ТС 021/2011 прил. 1, 2¹⁶). Таким образом, разработанный продукт — напиток на зерновой основе функционального назначения полностью соответствует требованиям и нормам СанПиН 2.3.2.1078–01 (п. 1.9.2., 1.9.2.2., 1.10.5.1.)¹⁷, что подтверждает правильность выбранных ингредиентов и разработанной технологии производства. Также напиток является безопасным для употребления.

Таблица 4

Результаты исследования показателей качества напитка на зерновой основе

Наименование показателя	Результаты испытаний	Установленные нормы в соответствии с	
<i>Физико-химические исследования</i>			
Массовая доля сухих веществ, %	36,5	ГОСТ 28188–2014 ¹⁸	В соответствии с рецептками
Кислотность, см ³ раствора гидроокиси натрия концентрацией 1,0 моль/дм ³ на 100 см ³	0,5	ГОСТ 28188–2014 ¹⁹	В соответствии с рецептками
<i>Микробиологические исследования</i>			
Количество мезофильных анаэробных микроорганизмов, КОЕ/100 см ³	менее 10	ГОСТ 10444.15–94 ²⁰	не более 100
Бактерии группы кишечных палочек (БГКП), не допускаются в массе, г	не обнаружено	ГОСТ 31747–2012 ²¹	в 0,1 не допускаются
Дрожжи и плесени (в сумме), КОЕ/100 см ³	не более 15	ГОСТ 10444.12–2013 ²²	менее 10
<i>Токсикологические исследования</i>			
Массовая концентрация свинца, мг/кг	менее 0,004	ГОСТ 26932–86 ²³	не более 0,3
Массовая концентрация мышьяка, мг/кг	менее 0,001	ГОСТ 26930–86 ²⁴	не более 0,1
Массовая концентрация кадмия, мг/кг	менее 0,001	ГОСТ 26933–86 ²⁵	не более 0,03
Массовая концентрация ртути, мг/кг	менее 0,002	ГОСТ 26927–86 ²⁶	не более 0,005

¹⁵ ГОСТ 28188–2014. (2019). Напитки безалкогольные. Общие технические условия. М.: Стандартинформ.

¹⁶ ТР ТС 021/2011. (2011). О безопасности пищевой продукции. <https://docs.cntd.ru/document/902320560>

¹⁷ СанПиН 2.3.2.1078–01. (2001). Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. <https://base.garant.ru/4178234/>

¹⁸ ГОСТ 28188–2014. (2019). Напитки безалкогольные. Общие технические условия. М.: Стандартинформ.

¹⁹ Там же.

²⁰ ГОСТ 10444.15–94. (2010). Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. М.: Стандартинформ.

²¹ ГОСТ 31747–2012. (2013). Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий). М.: Стандартинформ.

²² ГОСТ 10444.12–2013. (2014). Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов. М.: Стандартинформ.

²³ ГОСТ 26932–86. (2010). Сырье и продукты пищевые. Методы определения свинца. М.: Стандартинформ.

²⁴ ГОСТ 26930–86. (2010). Сырье и продукты пищевые. Метод определения мышьяка. М.: Стандартинформ.

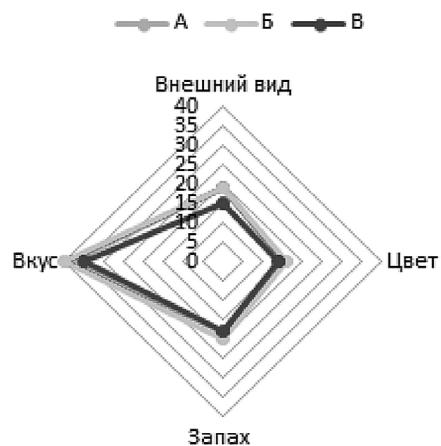
²⁵ ГОСТ 26933–86. (2010). Сырье и продукты пищевые. Методы определения кадмия. М.: Стандартинформ.

²⁶ ГОСТ 26927–86. (2010). Сырье и продукты пищевые. Методы определения ртути. М.: Стандартинформ.

Проведена дегустационная оценка напитка на зерновой основе с участием 30 дегустаторов. Объектами исследования явились: А — напиток «Nemoloko» овсяное классическое с жирностью 3,2%, изготовитель ОАО «Сады Придонья»; Б — экспериментальный образец — напиток на зерновой основе функционального назначения; В — напиток растительный овсяный «ВкусВилл», изготовитель ООО «Союзпищепром». Задачей исследования была сравнительная оценка потребительских свойств (внешнего вида, вкуса, цвета, запаха и консистенции) нового продукта и его аналогов (Рисунок 5). По результатам дегустационной оценки напитки на зерновой основе «Nemoloko» овсяное классическое, напиток растительный овсяный «ВкусВилл» и напиток на зерновой основе — экспериментальный образец относятся к продуктам высокого качества.

Пищевая ценность, калорийность и процент удовлетворения физиологической нормы (% от ФНП*) при употреблении порции напитка представлены в Таблице 5. Таким образом, при употреблении одной порции напитка (250 см³) удовлетворяется су-

Рисунок 5
Профили дегустационных образцов



точная потребность в витаминах на 16–100%; цинке на 46 %, селене на 29 %. Представленные данные подтверждают функциональные свойства продукта, которые обоснованы наличием функциональных ингредиентов в составе продукта в количестве не менее 15 % от НФП.

Таблица 5

Пищевая ценность, калорийность, % от ФНП при употреблении напитка на зерновой основе

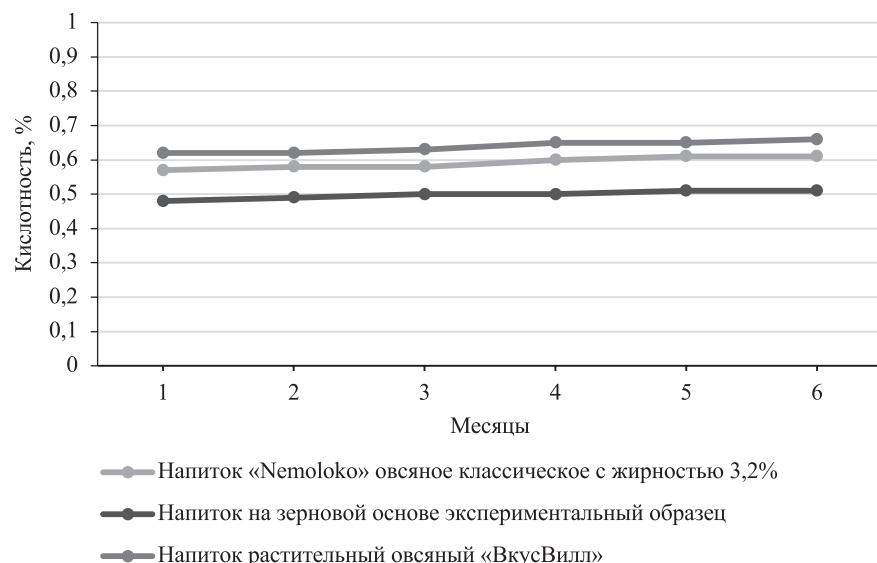
Показатели	Массовая доля компонента, на 100 см ³	Массовая доля компонента в одной порции на 250 см ³	% от ФНП*
Калорийность, ккал	63,8	166,496	7
Белки, г	1	2,576	4
Жиры, г	3	7,536	9
Углеводы, г	8,8	22,092	6
Витамин Е, мг	1,612	4,03	27
Витамин В ₁ , мг	0,268	0,67	45
Витамин В ₂ , мг	0,304	0,76	42
Витамин В ₆ , мг	0,352	0,88	44
Ниацинамид (В ₃ /PP), мг	2,9	7,25	36
Витамин В ₉ , мг	0,064	0,16	40
Витамин В ₅ (пантотеновая кислота), мг	1,668	4,17	83
Биотин (В ₇), мг	0,024	0,05	100
Витамин В ₁₂ , мкг	0,192	0,48	16
Витамин С, мг	11,424	28,56	32
Цинк, мг	2,196	5,49	46
Селен, мг	0,008	0,02	29

*% от НФП — нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для лиц от 18 до 29 лет²⁷.

²⁷ МР 2.3.1.2432–08. (2008). Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. <https://docs.cntd.ru/document/1200076084>

Рисунок 6

Изменение кислотности в напитках на зерновой основе от продолжительности хранения



Одной из задач исследования было получение продукта с длительным сроком годности. Срок годности продукта и сохранность его полезных свойств в значительной мере зависит от условий его хранения, включая упаковочный материал. Критериями оценки служила герметичность, прозрачность, способность сохранять биологически-активные вещества и др. качества. Для фасовки продукта была выбрана многослойная упаковка типа «Тетра Пак», которую отличает масса достоинств, по сравнению с другими видами. Так, многослойная упаковка сохраняет все питательные свойства продукта, обеспечивает его безопасность, защищает от ультрафиолетовых лучей и кислорода воздуха. Кроме того, она легко транспортируемая, легкая и удобная для использования потребителем. Для удобства употребления к пакету может прилагаться трубочка.

Экспериментальные образцы продукта были асептически упакованы в многослойную бумагу типа «Тетра Пак», объемом 0,25 дм³ и хранились в нерегулируемых условиях в течение 6 мес. Пробы для исследований отбирали каждые 30 дней. Критериями оценки служили титруемая кислотность и органолептические показатели продукта. Контрольными образцами являлись продукты-а-

налоги — напиток «Nemoloko» овсяное и напиток растительный овсяный «ВкусВилл». Влияние продолжительности хранения напитков на зерновой основе на изменение кислотности представлено на Рисунке 6. В процессе хранения было отмечено незначительное изменение общей титруемой кислотности во всех исследуемых образцах, однако данный показатель оставался в пределах нормы. За исследуемый период не было выявлено изменений во внешнем виде и консистенции, цвете, вкусе и запахе экспериментального образца. Установлено, что гарантированный срок годности напитков на зерновой основе составляет не менее 6 месяцев со дня выработки.

Комплексная оценка показателей безопасности, органолептических, физико-химических и микробиологических характеристик исследуемых видов напитков, изготовленных по новой технологии, подтвердила их соответствие требованиям ГОСТ 32940–2014²⁸ и СанПиН 2.3.2.1078–01²⁹.

²⁸ ГОСТ 32940–2014. (2019). Молоко козье сырое. Технические условия. М.: Стандартинформ.

²⁹ СанПиН 2.3.2.1078–01. (2001). Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. <https://base.garant.ru/4178234/>

ВЫВОДЫ

Разработана технология функционального напитка на зерновой основе, с основным ингредиентом – овсяной мукой, предварительно обработанной мультиэнзимным комплексом ферментов, с целью получения однородной консистенции. С содержанием витаминно-минерального комплекса: витамины группы В, С, фолиевая и пантотеновая кислоты, ниацин, минеральные вещества – цинк и селен. Подобраны оптимальные количества компонентов, входящих в состав напитка – сахарного сиропа 2,5 г, кокосового порошка 15 г и яблочного пектина 2,0 г. Разработаны рецептура, способ и технологическая схема получения напитка на основе ферментированной овсяной муки. Проведена комплексная оценка качества готового продукта по органолептическим, физико-химическим, микробиологическим и токсикологическим показателям безопасности напитков на зерновой основе, которая подтвердила их соответствие требованиям ГОСТ 28188–2014³⁰ и ТР ТС 021/2011³¹ и СанПиН 2.3.2.1078–01³². Исследована

пищевая ценность, свидетельствующая о том, что продукт отличается функциональными свойствами. Установлен срок хранения напитка на зерновой основе не более 6 месяцев. Таким образом, разработанный напиток функционального назначения на зерновой основе и технология его изготовления, соответствуют Целям Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года, а также расширяют ассортимент безалкогольных напитков.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Ионова К. С.: концептуализация, разработка методологии исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Бакуменко О. Е.: научное руководство исследованием.

Бакуменко П. В.: подготовка черновика рукописи, проведение исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- Бакуменко, О. Е. (2013). *Технология обогащенных продуктов питания для целевых групп научные основы и технология*. М.: ДeЛи плюс.
- Бакуменко, О. Е. (2014). *Научное обоснование и разработка технологический обогащенной пищевой продукции для питания студенческой молодежи* [Докторская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Догаева, Л. А., & Пехтерева, Н. Т. (2011). Классификация и идентификационные признаки функциональных безалкогольных напитков. *Пиво и напитки*, (5), 62–65.
- Доронин, А. Ф., & Шендерев, Б. А. (2002). *Функциональное питание*. М.: ГРАНТЪ.
- Доронин, А. Ф., Соболева, Н. П., & Пахомова, Т. А. (2011). Комбинированные напитки на соевой основе. *Пищевая промышленность*, (8), 32–33.
- Егорова, С. В., Ахматзиаева, М. М., & Ростегаев, Р. С. (2018). Растительная пища будущего. В *ADVANCED SCIENCE: Сборник статей III Международной научно-практической конференции (с. 134–137)*. Пенза: Наука и просвещение.
- Коденцова, В. М., Бекетова, Н. А., Никитюк, Д. Б., & Тутельян, В. А. (2018). Характеристика обеспеченности витаминами взрослого населения Российской Федерации. *Профилактическая медицина*, (4), 32–37.
- Позняковский, В. М., Помозова, В. А., Киселева, Т. Ф., & Пермякова, Л. В. (2001). *Экспертиза напитков*. Новосибирск: Сибирское университетское издательство.
- Романенко, В. О., Помозова, В. А., & Исылова, К. А. (2014). Оценка пищевой ценности напитка на основе крахмалсодержащего сырья. *Современные проблемы науки и образования*, (5), 191.
- Самофалова, Л. А., Сафонова, О. В., & Симоненкова, А. П. (2016). Выбор технологических параметров получения устойчивой дисперсной системы растительной основы из биоактивированных двудольных семян. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, (1), 221–226. <https://www.doi.org/10.20914/2310-1202-2016-1-221-226>

³⁰ ГОСТ 28188–2014. (2019). *Напитки безалкогольные. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

³¹ ТР ТС 021/2011. (2011). *О безопасности пищевой продукции*. <https://docs.cntd.ru/document/902320560>

³² СанПиН 2.3.2.1078–01. (2006). *О содержании радионуклидов в рыбе и рыбной продукции*. https://mibio.ru/docs/110/sanpin_2.3.2.1078-01_gigienicheskie_trebovaniya_beziopasnosti.pdf

- Скурихин, И. М., Тутельян, В. А. (2007). *Химический состав российских пищевых продуктов*. М.: ДeЛи принт.
- Спиречев, В. Б., & Шатнюк, Л. Н. (2010). Обогащение пищевых продуктов микронутриентами: Научные принципы и практические. *Пищевая промышленность*, (4), 5.
- Теплов В.И., Боряев В.Е. *Физиология питания* (2020). *Физиология питания: учебное пособие / В. И. Теплов, В. Е. Боряев. — 2-е изд. — М.: Дашков и К, 2020. — 456 с.- с. 239 — ISBN 978-5-394-03891-4*
- Тырсин, Ю. А., & Казанцева, И. Л. (2015). Перспективы использования продуктов переработки нута в безглютеновой диете. *Вопросы детской диетологии*, 13(1), 5–10.
- Хасанов, А. Р., & Матвеева, Н. А. (2017). Разработка инновационного функционального напитка-анксиолитика на основе растительного сырья. В *Технические науки в России и за рубежом: Материалы VII Международной научной конференции* (с. 138–141). М.: Буки-Веди.
- Чугунова, О. В., & Соловьева, М. П. (2011). Национальные безалкогольные напитки в структуре питания уральского потребителя. *Управлениц*, (11–12), 56–60.
- Angelov, A., Yaneva-Marinova, T., & Gotcheva, V. (2018). Oats as a matrix of choice for developing fermented functional beverages. *Journal of Food Science and Technology*, 55(7), 2351–2360. <https://www.doi.org/10.1007/s13197-018-3186-y>
- Aparicio-García, N., Martínez-Villaluenga, C., Frias, J., Crespo Perez, L., Fernández, C. F., Alba, C., Rodríguez, J. M., & Peñas, E. (2021). A Novel Sprouted Oat Fermented Beverage: Evaluation of Safety and Health Benefits for Celiac Individuals. *Nutrients*, 13(8), 2522. <https://doi.org/10.3390/nu13082522>
- Collins, H. M., Burton, R. A., Topping, D. L., Liao, M. L., Bacic, A., & Fincher, G. B. (2010). Variability in fine structures of noncellulosic cell wall polysaccharides from cereal grains: Potential importance in human health and nutrition. *Cereal Chemistry*, 87(4), 272–282. <https://doi.org/10.1094/cchem-87-4-0272>
- Chavan, M., Gat, Y., Harmalkar, M., Waghmare, R. (2018). Development of non-dairy fermented probiotic drink based on germinated and ungerminated cereals and legume. *LWT – Food Science and Technology*, 91, 339–344. <https://www.doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.070>
- Mridula, D., & Sharma, M. (2015). Development of non-dairy probiotic drink utilizing sprouted cereals, legume and soymilk. *LWT – Food Science and Technology*, 62(1), 482–487. <https://www.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.07.011>
- Ekstrand, B., Gangby, I., Åkesson, G., Stöllman, U., Lingnert, H., & Dahl, S. (1993). Lipase activity and development of rancidity in oats and oat products related to heat treatment during processing. *Journal of Cereal Science*, 17(3), 247–254. <https://www.doi.org/10.1006/jcrs.1993.1023>
- Hu, X.-Z., Zheng, J.-M., Li, X., Xu, C., & Zhao, Q. (2014). Chemical composition and sensory characteristics of oat flakes: A comparative study of naked oat flakes from China and hulled oat flakes from western countries. *Journal of Cereal Science*, 60(2), 297–301. <https://www.doi.org/10.1016/j.jcs.2014.05.015>
- Iserliyska, D., Aleksandrov, S., Angacheva, E., Iliev, A., & Angelov, A. (2015). Acceptability of a nutritious flavoured oat based beverage “Biovessina”. In *Food, technology health: Conference proceedings* (pp. 54–59).
- Lampi, A.-M., Damerau, A., & Moisio, T. (2015). Changes in lipids and volatile compounds of oat flours and extrudates during processing and storage. *Journal of Cereal Science*, 62, 102–109. <https://www.doi.org/10.1016/j.jcs.2014.12.011>
- Londono, D. M., van't Westende, W. P. C., Goryunova, S., Salentijn, E. M. J., van den Broeck, H. C., van der Meer, I. M., Visser, R. G. F., Gilissen, L. J. W. J., & Smulders, M. J. M. (2013). Avenin diversity analysis of the genus Avena (oat). Relevance for people with celiac disease. *Journal of Cereal Science*, 58(1), 170–177. <https://www.doi.org/10.1016/j.jcs.2013.03.017>
- Gupta, M., & Sharma, S. (2016). Probiotics in limelight. *Journal of Innovative Biology*, 3(1), 276–280.
- Ryu, J. H., Lee, S., You, S. G., Shim, J. H., Ho, & Y. S. (2012). Effects of barley and oat β -glucan structures on their rheological and thermal characteristics. *Carbohydrate Polymers*, 89(4), 1238–1243. <https://www.doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.04.025>
- Sangwan, S., Singh, R., & Tomar, S. K. (2014). Nutritional and functional properties of oats: An update. *Journal: Journal of Innovative Biology*, 1, 3.
- Staka, A., Bodnieks, E., & Puķītis, A. (2015). Impact of oat-based products on human gastrointestinal tract. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 69, 145–151. <https://www.doi.org/10.1515/prolas-2015-0021>
- Shah, A., Masoodi, F. A., Gani, A., & Ashwar, B. A. (2016). Newly released oat varieties of himalayan region- technno-functional, rheological, and nutraceutical properties of flour. *LWT – Food Science and Technology*, 70, 111–118. <https://www.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.033>
- Tosh, S. M., & Chu, Y. (2015). Systematic review of the effect of processing of whole-grain oat cereals on glycaemic response. *The British Journal of Nutrition*, 114(8), 1–7. <https://www.doi.org/10.1017/S0007114515002895>
- Vasudha, S. & Mishra, H. N. (2013) Non dairy probiotic beverages. *Agricultural and Food Engineering Department, Indian Institute of Technology*, 20(1), 7–15.

REFERENCES

- Angelov, A., Yaneva-Marinova, T., & Gotcheva, V. (2018). Oats as a matrix of choice for developing fermented functional beverages. *Journal of Food Science and Technology*, 55(7), 2351–2360. <https://www.doi.org/10.1007/s13197-018-3186-y>
- Bakumenko, O. E. (2013). *Fortified food technology for target groups scientific background and technology*. M.: DeLi plus.
- Bakumenko, O. E. (2014). *Scientific substantiation and development of technologically enriched food products for the nutrition of student youth* [Doctoral dissertation, Moscow State University of Food Production]. M., Russia.
- Aparicio-García, N., Martínez-Villaluenga, C., Frias, J., Crespo Perez, L., Fernández, C. F., Alba, C., Rodríguez, J. M., & Peñas, E. (2021). A Novel Sprouted Oat Fermented Beverage: Evaluation of Safety and Health Benefits for Celiac Individuals. *Nutrients*, 13(8), 2522. <https://doi.org/10.3390/nu13082522>
- Chavan, M., Gat, Y., Harmalkar, M., Waghmare, R. (2018). Development of non-dairy fermented probiotic drink based on germinated and ungerminated cereals and legume. *LWT – Food Science and Technology*, 91, 339–344. <https://www.doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.070>
- Chugunova, O. V., & Solovieva, M. P. (2011). National non-alcoholic drinks in the diet of the Ural consumer. *Manager*, (11–12), 56–60.
- Collins, H. M., Burton, R. A., Topping, D. L., Liao, M. L., Bacic, A., & Fincher, G. B. (2010). Variability in fine structures of noncellulosic cell wall polysaccharides from cereal grains: Potential importance in human health and nutrition. *Cereal Chemistry*, 87(4), 272–282. <https://www.doi.org/10.1094/cchem-87-4-0272>
- Dogaeva, L. A., & Pekhtereva, N. T. (2011). Classification and identification features of functional soft drinks. *Beer and Drinks*, (5), 62–65.
- Dorонин, А. Ф., & Шендереев, Б. А. (2002). *Functional food*. M.: GRANT.
- Dorонин, А. Ф., Соболева, Н. П., & Пахомова, Т. А. (2011). Combined drinks based on soy. *Food Industry*, (8), 32–33.
- Egorova, S. V., Akhmatzaieva, M. M., & Rostegaev, R. S. (2018). Plant based food of the future. In *ADVANCED SCIENCE: Collection of articles of the III International Scientific and Practical Conference* (pp. 134–137). Penza: Science and education.
- Ekstrand, B., Gangby, I., Åkesson, G., Stöllman, U., Lingner, H., & Dahl, S. (1993). Lipase activity and development of rancidity in oats and oat products related to heat treatment during processing. *Journal of Cereal Science*, 17(3), 247–254. <https://www.doi.org/10.1006/jcrs.1993.1023>
- Gupta, M., & Sharma, S. (2016). Probiotics in limelight. *Journal of Innovative Biology*, 3(1), 276–280.
- Hu, X.-Z., Zheng, J.-M., Li, X., Xu, C., & Zhao, Q. (2014). Chemical composition and sensory characteristics of oat flakes: A comparative study of naked oat flakes from China and hulled oat flakes from western countries. *Journal of Cereal Science*, 60(2), 297–301. <https://www.doi.org/10.1016/j.jcs.2014.05.015>
- Iserliyska, D., Aleksandrov, S., Angacheva, E., Iliev, A., & Angelov, A. (2015). Acceptability of a nutritious flavoured oat based beverage “Biovessina”. In *Food, technology health: Conference proceedings* (pp. 54–59).
- Khasanov, A. R., & Matveeva, N. A. (2017). Development of an innovative functional anxiolytic drink based on vegetable raw materials. In *Technical Sciences in Russia and Abroad: Proceedings of the VII International Scientific Conference* (pp. 138–141). Moscow: Buki Vedi.
- Kodentsova, V. M., Beketova, N. A., Nikityuk, D. B., & Tutelian, V. A. (2018). Characteristics of provision with vitamins of the adult population of the Russian Federation. *Preventive Medicine*, (4), 32–37.
- Lampi, A.-M., Damerau, A., & Moisio, T. (2015). Changes in lipids and volatile compounds of oat flours and extrudates during processing and storage. *Journal of Cereal Science*, 62, 102–109. <https://www.doi.org/10.1016/j.jcs.2014.12.011>
- Londono, D. M., van't Westende, W. P. C., Goryunova, S., Salentijn, E. M. J., van den Broeck, H. C., van der Meer, I. M., Visser, R. G. F., Gilissen, L. J. W. J., & Smulders, M. J. M. (2013). Avenin diversity analysis of the genus Avena (oat). Relevance for people with celiac disease. *Journal of Cereal Science*, 58(1), 170–177. <https://www.doi.org/10.1016/j.jcs.2013.03.017>
- Mridula, D., & Sharma, M. (2015). Development of non-dairy probiotic drink utilizing sprouted cereals, legume and soymilk. *LWT – Food Science and Technology*, 62(1), 482–487. <https://www.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.07.011>
- Poznyakovsky, V. M., Pomozova, V. A., Kiseleva, T. F., & Permyakova, L. V. (2001). *Beverage review*. Novosibirsk: Siberian University Publishing House.
- Romanenko, V. O., Pomozova, V. A., & Isylova, K. A. (2014). Evaluation of the nutritional value of a drink based on starch-containing raw materials. *Modern problems of science and education*, (5), 191.
- Ryu, J. H., Lee, S., You, S. G., Shim, J. H., Ho, & Y. S. (2012). Effects of barley and oat β -glucan structures on their rheological and thermal characteristics. *Carbohydrate Polymers*, 89(4), 1238–1243. <https://www.doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.04.025>
- Samofalova, L. A., Safronova, O. V., & Simonenkova, A. P. (2016). Selection of technological parameters for obtaining a stable dispersed plant base system from bioactivated dicotyledonous seeds. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, (1), 221–226. <https://www.doi.org/10.20914/2310-1202-2016-1-221-226>
- Sangwan, S., Singh, R., & Tomar, S. K. (2014). Nutritional and functional properties of oats: An update. *Journal: Journal of Innovative Biology*, 1, 3.

- Shah, A., Masoodi, F. A., Gani, A., & Ashwar, B. A. (2016). Newly released oat varieties of himalayan region- technno-functional, rheological, and nutraceutical properties of flour. *LWT – Food Science and Technology*, 70, 111–118. <https://www.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.033>
- Skurikhin, I. M., Tutelyan, V. A. (2007). *Chemical composition of Russian food products*. M.: DeLi print.
- Spirichev, V. B., & Shatnyuk, L. N. (2010). Micronutrient fortification of foods: Scientific principles and practical. *Food industry*, (4), 5.
- Staka, A, Bodnieks, E, & Pukītis, A. (2015). Impact of oat-based products on human gastrointestinal tract. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 69, 145–151. <https://www.doi.org/10.1515/prolas-2015-0021>
- Teplov V.I., Boryaev V.E. Physiology of nutrition (2020). *Physiology of nutrition: textbook* / V. I. Teplov, V. E. Boryaev. – 2nd ed. — M.: Dashkov i K, 2020. — 456 p.- p. 239 — ISBN 978-5-394-03891-4
- Tosh, S. M., & Chu, Y. (2015). Systematic review of the effect of processing of whole-grain oat cereals on glycemic response. *The British Journal of Nutrition*, 114(8), 1–7. <https://www.doi.org/10.1017/S0007114515002895>
- Tyrsin, Yu. A., & Kazantseva, I. L. (2015). Prospects for the use of chickpea processed products in a gluten-free diet. *Pediatric Nutrition Issues*, 13(1), 5–10.
- Vasudha, S. & Mishra, H. N. (2013) Non dairy probiotic beverages. *Agricultural and Food Engineering Department, Indian Institute of Technology*, 20(1), 7–15.

УДК 637.5.037

Влияние процесса консервации на гистохимические показатели специального сырья

Орган по сертификации продукции и услуг КГБУ «Управление ветеринарии Алтайского края по городу Барнаулу», Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Разумовская Елена Сергеевна
Адрес: 650043, Россия, г. Барнаул,
улица Шевченко, 158
E-mail: Elenabar83@inbox.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:
данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Разумовская Е. С. (2022). Влияние процесса консервации на гистохимические показатели специального сырья. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 180–190. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.358>

ПОСТУПИЛА: 25.08.2022

ПРИНЯТА: 09.10.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 14.10.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



Е. С. Разумовская

АННОТАЦИЯ

Введение. Одним из важнейших продуктов убоя сельскохозяйственных животных является эндокринно-ферментное или специальное сырье, так как оно относится к значимым источникам биологически активных веществ. Способ применения в лечебных целях органопрепараторов, изготовленных из органов и тканей животных, получил название «органотерапия». Большая часть таких органопрепараторов широко используется в терапии целого ряда заболеваний. Очевидно, что качество органопрепараторов зависит не только от вида, возраста и условий содержания животных, но и от последующей технологии переработки и хранения сырья. На производстве, для продления сроков хранения продуктов убоя, используются различные методы консервации. Одним из традиционных способов консервирования, является процесс замораживания.

Цель. В настоящей работе представлены исследования физико-химических и морфологических структур органопрепараторов, на примере тимуса и головного мозга крупного рогатого скота, в процессе хранения при отрицательных температурах, для уточнения диапазона низких температур при длительном хранении эндокринно-ферментного сырья.

Материалы и методы. На первом этапе были проведены испытания при помощи лабораторных методов, характеризующие влияние замораживания на пока-затели качества сырья. На втором этапе было определено морфологическое строение органов при обработке холодом.

Результаты. Из полученных результатов видно, что физико-химические показатели исследуемых образцов неодинаковы. Как показали результаты эксперимента, в замороженных образцах органов содержание влаги увеличилось в пределах 3%. На втором этапе было определено морфологическое строение органов при обработке холодом. В ходе эксперимента установлено, что исследуемые образцы претерпевают изменения гистологического строения, в сравнении и исходным образцом, а именно: отмечено образование повреждений, разрыхление слоев ткани, образование микропустот в форме кристаллов льда.

Выводы. Полученные результаты воздействия процесса замораживания на исследуемые органопрепараторы, свидетельствуют о том, что такой способ консервирования позволяет продолжительное время сохранять ценность биологического сырья без потери его основных качеств. Областью применения полученных результатов являются фундаментальные исследования в области морфологического строения органов и тканей продуктивных животных, результаты которых могут быть внесены в учебный процесс.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

тимус; головной мозг; консервирование; замораживание; показатели качества; морфологическая структура; хранение; микроповреждение тканей; кристаллы льда

The Effect of the Conservation Process on the Histochemical Parameters of Special Raw Materials

Certification body for products and services of the Regional state budgetary institution "Veterinary Administration of the Altai Territory in the city of Barnaul"

CORRESPONDENCE:

Elena S. Razumovskaya
158, Shevchenko st., Barnaul,
650043, Russian Federation
E-mail: Elenabar83@inbox.ru

FOR CITATIONS:

Razumovskaya E. S. (2022). The effect of the conservation process on the histochemical parameters of special raw materials. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 180–190. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.358>

RECEIVED: 25.08.2022

ACCEPTED: 09.10.2022

PUBLISHED: 14.10.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Elena S. Razumovskaya

ABSTRACT

Background. One of the most important products of slaughter of farm animals is endocrine-enzymatic or special raw materials, as they are significant sources of biologically active substances. The method of using organ preparations made from animal organs and tissues for medicinal purposes is called "organotherapy". Most of these organic preparations are widely used in the treatment of a number of diseases. It is obvious that the quality of organ preparations depends not only on the type, age and conditions of keeping animals, but also on the subsequent technology of processing and storage of raw materials. In production, to extend the shelf life of slaughter products, various preservation methods are used. One of the traditional ways of canning is the freezing process.

Purpose. This paper presents studies of the physicochemical and morphological structures of organ preparations, using the thymus and brain of cattle as an example, during storage at negative temperatures, to clarify the range of low temperatures during long-term storage of endocrine-enzyme raw materials.

Materials and Methods. At the first stage, tests were carried out using laboratory methods characterizing the effect of freezing on the quality indicators of raw materials. At the second stage, the morphological structure of the organs during cold treatment was determined.

Results. From the results obtained, it can be seen that the physicochemical parameters of the studied samples are not the same. As the results of the experiment showed, in the frozen samples of organs, the moisture content increased within 3%. At the second stage, the morphological structure of the organs was determined during cold treatment. During the experiment, it was established that the studied samples undergo changes in the histo-logical structure, in comparison with the original sample, namely: the formation of damage, loosening of tissue layers, and the formation of microvoids in the form of ice crystals were noted.

Conclusion. The obtained results of the impact of the freezing process on the studied organ preparations indicate that this method of preservation allows for a long time to preserve the value of biological raw materials without losing its basic qualities. The scope of the results obtained is fundamental research in the field of the morphological structure of organs and tissues of productive animals, the results of which can be introduced into the educational process.

KEYWORDS

thymus; brain; organ preparations; biological value; canning; freezing; quality indicators; morphological structure; storage

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие мясоперерабатывающей отрасли требует внедрения безотходных технологий производства не только мясных изделий, но и рациональное использование побочного, малооцененного сырья (Лисицин и соавт., 2015; Рогов, 2000).

Одним из важнейших продуктов убоя сельскохозяйственных животных является эндокринно-ферментное и специальное сырье, так как оно относится к значимым источникам биологически активных веществ (Насонова и соавт., 2021). Способ применения в лечебных целях органо-препаратов, изготовленных из органов и тканей животных, получил название «органотерапия» (Гладских, 2011).

Большая часть таких препаратов широко используется в терапии целого ряда заболеваний. Например, препарат «Липоцеребрин», произведенный из головного мозга крупного рогатого скота, применяется при некоторых заболеваниях пищеварительного тракта и печени, а экстракт, полученный из тимуса крупного рогатого скота, обладает выраженным антиоксидантным действием. Очевидно, что качество органов зависит не только от вида, возраста и условий содержания животных, но и от последующей технологии переработки и хранения сырья (Иванкин, 2013).

На производстве для продления сроков хранения продуктов убоя используются различные методы консервации. Одним из традиционных способов консервирования, является процесс замораживания. Обработка органов и тканей продуктивных животных низкими температурами, позволяет сохранить качество и биологическую ценность сырья (Мойсенко, 2019).

Вопрос переработки и хранения эндокринно-ферментного сырья был повсеместным еще в СССР¹. Так, в 1972 году был предложен способ замораживания биопрепаратов путем их выдержки в охлаждающей среде, например, фреоне-12, с последующим воздействием на них ультразвуком (Молдованов, 2021).

В настоящее время доказана эффективность способа консервации путем криообработки сырья с использованием хладогентов и криопротекторов. Среди известных схем криогенного замораживания, наиболее перспективным является метод «обдув+орошение» при помощи жидкого азота (Шегельман и соавт., 2018; Ишевский и соавт., 2009).

Перспективным способом замораживания сырья является, использование твердого гранулированного или жидкого диоксида углерода, при этом температура замораживания варьируется от минус 18 °С до минус 79 °С (Сязин, 2011). Также, в литературных источниках, можно встретить сведения об использовании комбинированного метода «азот-воздух», которое обеспечивает высокую скорость процесса и позволяет исключить потери массы продукта за счет усушки, так как моментально образующийся замерзший слой, препятствует испарению влаги с поверхности продукта (Феськов & Танченко, 2019).

Из всех существующих способов замораживания органов и тканей убойных животных самым доступным и распространенным является воздушное замораживание (Лобанов и соавт., 2013; Крал и соавт., 2016). Многолетние исследования, как российских, так и зарубежных авторов посвящены изучению воздействия процессов холодильного хранения на качественные, влагоудерживающие и окислительные характеристики сырья животного происхождения (Лисицын и соавт., 2014; Cheng et al., 2018; Augustinska-Preisnar et al., 2018; Sabikun et al., 2019; Ji V. et al., 2021; Ji W. et al., 2021; Wang et al., 2021; Lee et al., 2022; Маковеев & Козак, 2022).

Установлено влияние процессов замораживания на снижение общего количества незаменимых и заменимых аминокислот белков тканей продуктивных животных на 13,5 и 8,2% соответственно (Бройко и соавт., 2020). Одним из самых достоверных методов оценки, позволяющих судить об особенностях строения эндокринно-ферментного сырья, а так же его пригодности к длительному хранению, является метод микроструктурного анализа (Хвыля и соавт., 2019).

¹ Илюхин, В. В., Цюпа, В. И., Титов, Е. И., & Ермаков, Ю. П. (1972). Патент СССР № 395060. Способ замораживания пищевых продуктов и биопрепаратов. М.: Московский технологический институт мясной и молочной промышленности.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

В связи с вышеизложенным была сформулирована цель исследования: проанализировать влияние процесса консервирования низкими температурами на показатели морфологических и физико-химических характеристик исследуемых органов убойных животных.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- (1) провести лабораторные исследования физико-химических показателей исследуемых органов крупного рогатого скота до и после процесса замораживания;
- (2) оценить морфологические характеристики побочного сырья на примере тимуса и головного мозга крупного рогатого скота после убоя;
- (3) провести анализ влияния процесса замораживания на показатели качества тимуса и головного мозга крупного рогатого скота.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Исследовательская работа проведена в период с сентября 2021 г по июль 2022 г. Объектом исследования явилось специальное сырье (головной мозг, тимус), полученное при убое клинически здорового крупного рогатого скота в количестве 12 голов, подвергнутое консервированию согласно СТО 10.11.60–953 – 37676459–2019² на мясоперерабатывающих предприятиях Алтайского края.

Оборудование

Определение белка, жира, влаги и золы проводили с помощью автоматического титратора Titroline 5000/20 M2, производства компании SI Analytics (Германия, 2019), электронных весов АС-121S производства компании «Sartorius» AG, (Германия, 2017) и сушильного шкафа ШС-80–01 СПУ производства компании Смоленское СКТБ СПУ (Россия, 2019).

Методы

Использовались физико-химические и гистологические методы оценки качества сырья (Хвыля и соавт., 2011).

Содержание белка проводили согласно ГОСТ 25011³, жира по ГОСТ 23042⁴, влаги по ГОСТ 9793⁵, золы — ГОСТ 31727⁶.

Совместно с общепринятыми методиками исследовали морфологическую структуру сырья по ГОСТ 19496–2013⁷. Для статистической обработки полученных данных вычисляли среднюю арифметическую (M), ошибку средней арифметической ($\pm m$). Полученные данные подвергались биометрической обработке с вычислением критерия достоверности по Стьюденту (t)⁸.

Процедура исследования

Для проведения физико-химических исследований были отобраны образцы органов от каждой туши целым куском массой нетто не менее 200 грамм, спустя не более трех часов после охлаждения, а также от замороженных блоков с сроком хранения 6 месяцев.

Образцы замораживали с помощью традиционного метода в холодильной камере POLAIR KХН-6,61 (Россия, 2020), при температуре воздуха минус

² ТУ 10.11.60–953–37676459–2019. (2019). Сырье специальное. Технические условия. <https://kupi-tu.ru/сырье-специальное-2>

³ ГОСТ 25011–2017. (2017). Мясо и мясные продукты. Методы определения белка. М.: Стандартинформ.

⁴ ГОСТ 23042–2015. (2015). Мясо и мясные продукты. Методы определения жира. М.: Стандартинформ.

⁵ ГОСТ 9793–2016. (2016). Продукты мясные. Методы определения влаги. М.: Стандартинформ.

⁶ ГОСТ 31727–2012. (2013). Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли общей золы. М.: Стандартинформ.

⁷ ГОСТ 19496–2013. (2013). Мясо и мясные продукты. Метод гистологического исследования. М.: Стандартинформ.

⁸ Лакин, Г. Ф. (1990). Биометрия: Учебное пособие. М.: Высшая школа.

18 °C, скорости его движения 0,1–0,2 м/с и относительной влажности воздуха 90–95 %. Время на замораживание составило 35–40 ч, скорость замораживания — 0,2–1,0 см/ч.

Для гистологического анализа кусочки полученных органов размером не более 1,0 × 1,0 × 0,5 см, подвергались фиксации в 10–12 %-ном растворе формалина после 3-х часового охлаждения, а так же спустя 6 месяцев после консервации путем замораживания при температуре — 18 °C.

Фиксированный и промытый материал подвергали дальнейшему обезвоживанию в восходящих спиртах согласно схеме Меркулова с дальнейшей их заливкой в парафиновые блоки. С каждого блока получали серийные срезы толщиной не более 9 мкм⁹.

Для изготовления парафиновых срезов использовали ротационный микротом МПС-2 (Россия, 2014). Полученные гистологические срезы окрашивали гематоксилином и эозином¹⁰. Окрашенные препараты переносили на предметные стекла, с последующим заключением в канадский бальзам, далее помещали под покровные стекла. Изучение микропрепараторов и их дальнейшее фотографирование осуществлялось на световом бинокулярном микроскопе Micros MC 100 XP (Австрия, 2016) при помощи линзового адаптера ToupTek Photonics FMA050 (Китай, 2018), соединяющего микроскоп и цифровую камеру AxioCam MRc 5 (Германия, 2016). При последующей обработке полученного видеоизображения и морфометрических данных использовалась программное обеспечение Toup View 4.10 (США, 2016).

Анализ данных

Физико-химические показатели сырья, исследовались в химико-токсикологическом отделе аккредитованной испытательной лаборатории КГБУ «Алтайский краевой ветеринарный центр по предупреждению и диагностике болезней животных» (г. Барнаул).

Гистологические исследования выполнялось на кафедре общей биологии, физиологии и морфологии

животных биолого-технологического факультета ФГБОУ Алтайского ГАУ (г. Барнаул).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты показателей качества исследуемых органов убойных животных охлажденных в течении 3 часов при t 0–6 °C и замороженных в течении 6 месяцев при t —18 °C, приведены в Таблице 1.

Анализ данных, полученных в ходе эксперимента, свидетельствует о происходящих качественных изменениях физико-химических свойств в органах под воздействием замораживания и дальнейшего хранения (Petrovic et al., 1993; Hergenreder et al., 2011; Горбунова, 2013).

Наибольшее содержание белка отмечено в образце головного мозга крупного рогатого скота ($10,2 \pm 0,01$), что свидетельствует о его принадлежности к ценному белковому сырью, а по содержанию массовой доли жира превосходит тимус ($24,2 \pm 0,01$). Показатель наличия золы (0,1–1,2 %) свидетельствует о присутствии в органах минеральных веществ.

Исследование показателей физико-химического состава сырья свидетельствуют о том, что не смотря на разное морфологическое строение, органы имеют общий химический состав.

Наряду с содержанием белка, не менее важным показателем является показатель влаги. Как показали результаты эксперимента, в замороженных образцах органов содержание влаги увеличилось в пределах 3 %. Сравнительная оценка результатов показателей доли воды согласуется с исследованиями, применяемыми к мясу крупного рогатого скота, где расчетные данные повышаются до 3,5 % (Герасимов, 2021).

В целом, данные, полученные в ходе проведенного исследования по воздействию низких температур на сырье, служат свидетельством сохранности

⁹ Меркулов, Г. А. (1969). Курс патологогистологической техники. Л.: Медицина.

¹⁰ Домницкий, И. Ю. (2017). Секционный курс и методы патогистологических исследований: метод: Пособие по выполнению лабораторных работ для студентов по специальности 36.05.01 Ветеринария. Саратов: Саратовский ГАУ.

Таблица 1

Изменения физико-химических показателей тимуса и головного мозга клинически здорового крупного рогатого скота в процессе хранения при температуре минус 18 °С

№ п/п	Наименование органо-препарата	Ед. изм.	Показатели качества			
			Белок	Зола	Массовая доля жира	Влага
<i>Результат испытаний до процесса замораживания</i>						
1	Тимус	%	2,8	0,1***	22,1	37,6***
2	Головной мозг	%	10,2**	1,2	5,2***	77,8
<i>Результат испытаний после хранения при температуре минус 18 °С</i>						
3	Тимус	%	2,60	0,024	24,2**	40,5
4	Головной мозг	%	9,81**	1,1***	3,2	80,8

Примечание: достоверность разницы * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

всех исследуемых показателей химического состава органов.

Полученные в ходе эксперимента данные, не противоречат аналогичным результатам соавторов, а лишь подтверждают наличие содержания исследуемых химических веществ (Ульзытуева, 2018; Заико и соавт., 2014). При анализе влияния процессов заморозки, особое внимание уделяется параметрам жидкости, содержащейся в тканях и этапам формирования льда (Баранов, 2014; Эрлихман & Фатыхов, 2018; Дибирауслаев и соавт., 2018; Березовский и соавт., 2018).

Установлено, что морфологическая структура тимуса до замораживания представлена дольками,

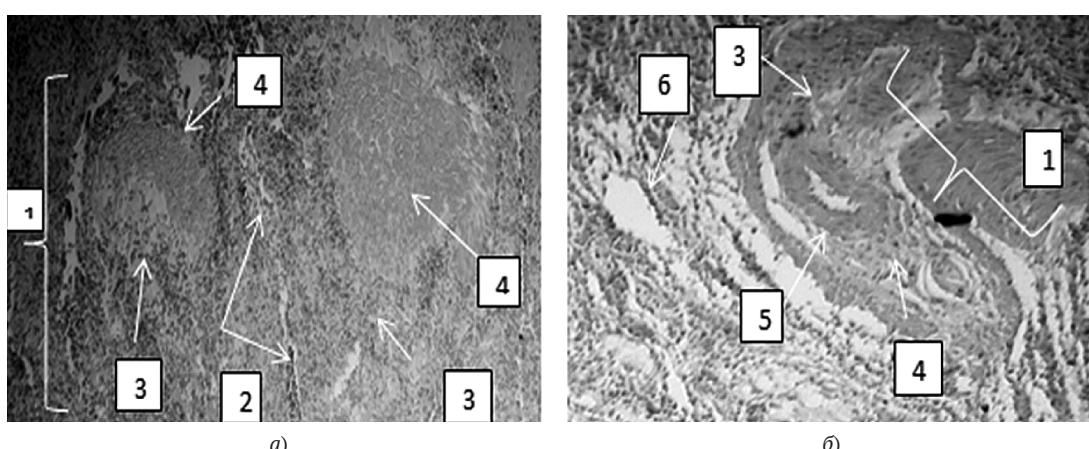
состоящими из мозгового вещества, клеток-тимоцитов и кровеносных сосудов. Каждая доля разделена междольковой соединительной тканью.

В результате процесса замораживания произошли заметные изменения органа в сравнении с контрольным образцом. Несмотря на сохранность структурных элементов образца, было установлено расслоение ткани органа, сдавливание долек и кровеносных сосудов замерзшей влагой, образовавшейся под действием отрицательных температур (Рисунок 1).

При обработке холодом исследуемый образец головного мозга также претерпел изменения гистологического строения, в сравнении с исходным

Рисунок 1

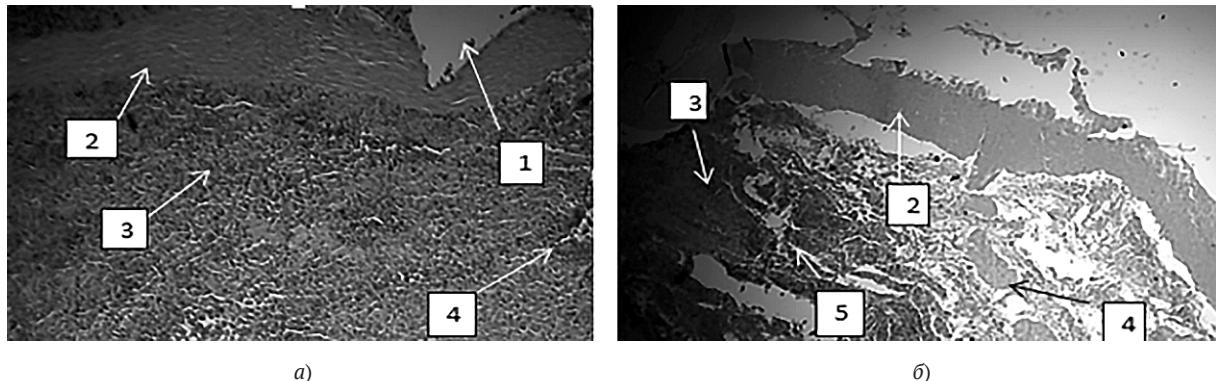
Тимус крупного рогатого скота, 18 месяцев.



Примечание. Гематоксилин с эозином. Ув. 40 раз: а) до замораживания (контрольный образец); б) спустя 6 месяцев после замораживания. 1 – долька; 2 – междольковая соединительная ткань; 3 – клетки-тимоциты коркового вещества; 4 – мозговое вещество; 5 – кровеносный сосуд; 6 – поврежденная структура органа кристаллами льда

Рисунок 2

Головной мозг крупного рогатого скота, 18 месяцев. Гематоксилин с эозином. Ув. 40 раз:



Примечание. а) до замораживания (контрольный образец); б) спустя 6 месяцев после замораживания. 1 – просвет борозды между извилинами; 2 – молекулярный слой (большое количество волокон, малое количество клеток); 3 – наружный зернистый слой (высокая концентрация мелких пирамидальных клеток); 4 – кровеносный сосуд; 5 – поврежденная структура органа кристаллами льда

образцом, а именно: отмечено образование пустот, разрыхление зернистого слоя, образование повреждений в форме кристаллов льда (Рисунок 2).

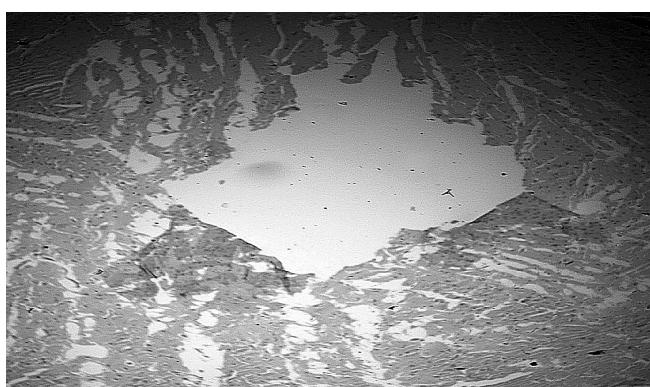
Проведенный эксперимент подтверждает факт образования кристаллов льда вследствие переохлаждения воды (Li & Sun, 2002; Онищенко и соавт., 2011), что приводит к повреждению окружающих тканей, тем самым деформируя и образуя микропустоты (Рисунок 3).

Далее, с помощью программного обеспечения Toup View 4.10 была измерена порозность замороженных образцов органов.

Площадь микропустот в замороженных образцах различна и зависит от вида исследуемого органа. Так, средняя площадь порозности ткани тимуса крупного рогатого скота составила $1841,9 \text{ мкм}^2$ ($1,8 \text{ мм}$), а площадь, занимаемая микротрецинами в ткани головного мозга крупного рогатого скота

Рисунок 3

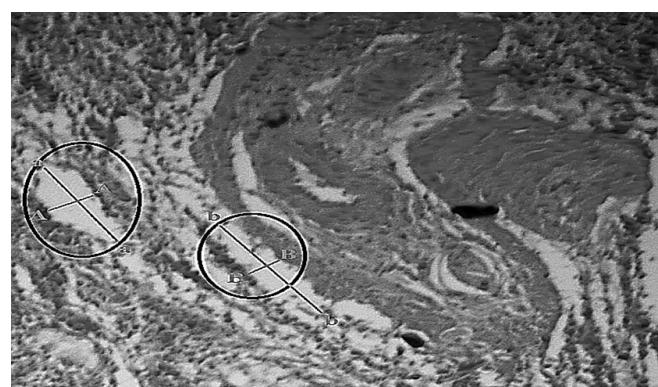
Головной мозг крупного рогатого скота, 18 месяцев.



Примечание. Гематоксилин с эозином. Ув. 100 раз: 1 – микропустоты; 2 – поврежденная ткань органа в виде микротрецин

Рисунок 4

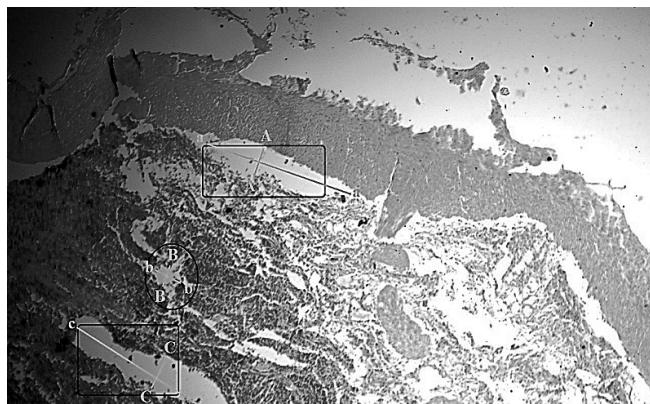
Измерение порозности ткани тимуса крупного рогатого скота, подвергнутого замораживанию:



Примечание. А-А (ширина) – $25,4 \text{ мкм}$;
 а-а (длина) – $68,54 \text{ мкм}$; В-В (ширина) – $17,98 \text{ мкм}$;
 б-б (длина) – $108,61 \text{ мкм}$

Рисунок 5

Измерение порозности ткани головного мозга крупного рогатого скота, подвергнутого замораживанию:



Примечание. A-A (ширина) – 47,8 мкм; а-а (длина) – 171,2 мкм; B-B (ширина) – 26,9 мкм; b-b (длина) – 38,8 мкм; C-C (ширина) – 46,0 мкм; с-с (длина) – 244,2 мкм.

после замораживания равна $6820,0 \text{ мкм}^2$ (6,8 мм) (Рисунки 4 и 5).

Исходя из того, что значения перечисленных показателей качества исследуемых замороженных органов носит незначительное отклонение от исходного образца, следует, что данный метод консервации может быть рекомендован, как эффективный способ сохранности продуктов убоя.

ЛИТЕРАТУРА

- Баранов, П. Н. (2014). К вопросу о факторах, влияющих на низкотемпературную обработку пищевых продуктов. В Наука ЮУрГУ: Материалы 66-й научной конференции. Секции экономики, управления и права (с. 307–310). Челябинск: Южно-Уральский государственный университет.
- Березовский, Ю. М., Королёв, И. А., & Саранцев, Т. А. (2018). Анализ и совершенствование подходов определения доли вымороженной воды в мясе. Хранение и переработка сельхозсырья, (4), 20–28. <https://www.doi.org/10.36107/spfp.2018.36>
- Бройко, Ю. В., Колодязная, В. С., Бараненко, Д. А., Киприушкина, Е. И., & Шестопалова, И. А. (2020). Влияние замораживания на динамику аминокислотного состава белков телятины. Холодильная техника, 109(3), 49–55. <https://doi.org/10.17816/RF104082>
- Герасимов, А. В. (2021). Разработка технологии мясопродуктов, обогащенных растительными антиоксидантами [Кандидатская диссертация, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления]. Улан-Удэ, Россия.
- Горбунова, Н. А. (2013). Влияние холодильной обработки на качество и безопасность сырья. Все о мясе, (3), 44–46.
- Гладских, Л. В. (2011). Новые подходы биомедицины к коррекции адаптационных механизмов оздоровления и омоложения. Пластическая хирургия и косметология, (2), 321–325.
- Дибрасулаев, М. А., Белозеров, Г. А., Дибрасулаев, Д. М., & Орловский, Д. Е. (2016). Влияние субкриоскопической температуры хранения на количество вымороженной воды в ног и DFD говядине. Теория и практика переработки мяса, (2), 18–24.
- Заико, М. В., Павлова, Л. А., & Козин, С. В. (2014). История и перспективы медицинского применения сырья животного происхождения на примере органопрепараторов селезенки свиньи. Традиционная медицина, (1), 42–48.

ВЫВОДЫ

В процессе консервации низкими температурами происходят некоторые изменения, характеризующиеся увеличением количества влаги на 3%, при этом физико-химический состав не ухудшается по отношению с контрольным образцом. Степень изменения микроструктуры зависит от исходного строения испытуемого образца.

Анализируя степень воздействия процесса замораживания на исследуемые органопрепараторы, можно сделать вывод, что такой способ консервирования позволяет продолжительное время сохранять структуру биологического сырья без потери его основных качеств.

Данные, полученные в результате научного исследования, могут быть применимы для уточнения диапазона низких температур при длительном хранении эндокринно-ферментного сырья. Целесообразность проведения дальнейших исследований в данном направлении, не вызывает сомнения и обусловлена выбором оптимального способа консервации, предназначенного для сохранения биологической ценности исследуемого сырья.

- Ишевский, А. А., Шульга А. С., Гришина И. В., & Родионова А. Л. (2009). Криогенное замораживание пищевых продуктов. *Мясные технологии*, (4), 30–32.
- Иванкин, А. Н. (2013). Переработка животного сырья в пищевые и технические продукты. *Все о мясе*, (3), 28–30.
- Крал, К., Хонзиркова, М., Постпич, Б., Тремлова, М., & Здарский, М. Влияние традиционного или шокового замораживания на потери при размораживании и структурно-механические характеристики говядины. *Теория и практика переработки мяса*, (1), 6–9.
- Лисицын, А. Б., Иванкин, А. Н., Вострикова, Н. Л., & Станинова, И. А. (2014). Изучение фракционного состава белков мяса в процессе длительного холодильного хранения. *Все о мясе*, (2), 36–40.
- Лисицын А. Б., Небурчилова, Н. Ф., Петрунина, И. В., & Чернова, А. С. (2015). Использование субпродуктов в медицинских целях. *Все о мясе*, (2), 6–9.
- Лобанов, Д. А., Беднарская, Е. А., & Мишта, Е. А. (2013). Современные способы замораживания пищевых продуктов. Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции в условиях ВТО. В *Материалы международной научно-практической конференции* (с. 310–311). Волгоград: Волгоградский государственный технический университет.
- Маковеев, И. И., & Козак, С. С. (2022). Влияние субкриокопической температуры хранения на срок годности охлажденного мяса бройлеров. В *Наука о Земле и окружающей среде: IOP Conference series* (Article 012047). London: IOP Publishing.
- Молдованов, Г. Г. (2021). Видовая идентификация эндокринно-ферментного сырья крупного рогатого скота и свиней. *Пищевые системы*, 4(3S), 204–207. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-204-207>
- Мойсеенко, Р. А. (2019). Краткий обзор патентов в области консервирования пищевых продуктов методами охлаждения и замораживания. *NovaUm.Ru*, (18), 23–25.
- Насонова, В. В., Мотовилина, А. А., Бабурина, М. И., & Иванкин, А. Н. (2021). Нетрадиционные источники эндокринно-ферментного сырья для производства варёных колбасных изделий. *Мясная индустрия*, (1), 42–45. <https://doi.org/10.37861/2618-8252-2021-01-42-45>
- Онищенко, В. П., Желиба, Ю. А., & Зинченко, В. Д. (2011). Состояние воды в мясе говядины при его замораживании и размораживании. *Вестник Международной академии холода*, (2), 39–42.
- Рогов Н.А., Забашта А.Г., & Казюлин, Г. П. (2000). Общая технология мяса и мясопродуктов. М.: Колос.
- Сязин, И. Е. (2011). Особенности криоконсервирования и криосепарации пищевого сырья. *Политехнический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, (2), 572–583.
- Улзытуева, Д. А. (2018). *Разработка технологии пептидного биорегулятора из тимуса свиней* [Кандидатская диссертация, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики]. СПб., Россия.
- Феськов, О. А., & Танченко, Т. Н. (2019). Перспективы использования комбинированного метода замораживания пищевых продуктов. *Молодой ученый*, (21), 120–124.
- Хвыля, С. И., Пчелкина, В. А., & Бурлакова, С. С. (2011). Стандартизованные гистологические методы оценки качества мяса и мясных продуктов. *Все о мясе*, (6), 32–35.
- Шегельман, И. Р., Васильев, А. С., & Смирнова, Л. О. (2018). Перспективные технологии охлаждения и замораживания пищевых продуктов. В *Новое слово в науке: Стратегии развития: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции* (с. 112–114). Чебоксары: Интерактив плюс.
- Эрлихман, В. Н., & Фатыхов Ю. А. (2018). Методика расчета скорости усушки пищевого продукта в зависимости от активности воды в процессах холодильной технологии. *Вестник Международной академии холода*, (4), 10–14.
- Augustinskaya-Preisnar, A., Ormian, M., & Sokolovich, Z. (2018). Physico-chemical and organoleptic properties of broiler chicken breast meat when stored frozen and thawed in various ways. *Journal of Food Quality*, 2018, Article 6754070. <https://doi.org/10.1155/2018/6754070>
- Cheng, W., Song, D.-W., Po, H., & Wei, X. (2018). Heterospectral two-dimensional correlation analysis with hyperspectral imaging in the near infrared range for monitoring oxidative damage to pork myofibrils during frozen storage. *Food Chemistry*, 248, 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.050>
- Hergenreder, J. E., Hosch, J. J., Varnold, K. A., Haack, A. L., Senaratne, L. S., Pokharel, S., Beauchamp, C., Lobaugh, B., & Calkins, C. R. (2011). The effects of freezing and thawing rates on tenderness and sensory quality of beef subprimals. *Journal of Animal Science*, 91(1), 483–490. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5223>
- Ji, V., Bao, Y., Wang, K., Yin, L., & Zhou, P. (2021). Protein changes in shrimp (*Metapenaeus ensis*) frozen during storage at different temperatures, and the relationship with water retention capacity. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(8), 3924–3937. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15009>
- Ji, W., Bao, L., Wang, K., Ping, L., & Zhou, P. (2021). Protein changes in shrimp (*Metapenaeus ensis*) frozen during storage at various temperatures, and their ability to retain water. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(8), 3924–3937. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15009>
- Lee, S., Jo, K., Jeong, H. G., & Choi, Y.-S. (2022). Freeze-induced denaturation of myofibrillar proteins in frozen meat. *Critical Reviews in Food Sciences and Nutrition*, 2022, Article 2116557. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2116557>
- Li, B., & Sun, D.-W. (2002). Novel methods for rapid freezing and thawing of foods – a review. *Journal of Food Engineering*, 54(3), 175–182. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00209-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00209-6)
- Petrovic, L., Grujio, R., & Petrovic M. (1993). Definition of the optimum freezing rate-2. Investigation of the phys-

- ico-chemical properties of beef m. longissimusdorsi frozen at different freezing rates. *Meat Science*, 33(3), 319–331.
- Sabikun, N., Bakhsh, A., Ismail, S., Hwan, Y.-H., Rahmanson, M. S., & Joo, S.-T. (2019). Changes in the physico-chemical characteristics and oxidative stability of frozen chicken muscles before and after freezing during storage in

the refrigerator. *Journal of Food Science and Technology*, 56(11), 4809–4816. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03941-0>

Wang, J., Wang, H., Potoroko, I., & Tsirulnichenko, L. (2021). The effect of storage conditions on the texture of beef. *Bulletin of the South Ural State University*, 9(2), 65–74.

REFERENCES

- Baranov, P. N. (2014). K voprosu o faktorakh, vliyayushchikh na nizkotemperatur-nuyu obrabotku pishchevykh produktov [On the issue of factors affecting the low-temperature processing of food products]. In Nauka YuUrGU: Materialy 66-i nauchnoi konferentsii. Sektsii ekonomiki, upravleniya i prava [SUSU Science: Materials of the 66th Scientific Conference. Economics, Management and Law Sections] (pp. 307–310). Chelyabinsk: Yuzhno-Ural'skii gosudarstvennyi universitet.
- Berezovskii, Yu. M., Korolev, I. A., & Sarantsev, T. A. (2018). Analiz i sover-shenstvovanie podkhodov opredeleniya doli vymorozhennoi vody v myase [Analysis and improvement of approaches for determining the proportion of frozen water in meat]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (4), 20–28. <https://www.doi.org/10.36107/spfp.2018.36>
- Broiko, Yu. V., Kolodyaznaya, V. S., Baranenko, D. A., Kiprushkina, E. I., & She-stopalova, I. A. (2020). Vliyanie zamorazhivaniya na dinamiku aminokislotnogo sostava belkov telyatiny [The effect of freezing on the dynamics of the amino acid composition of chicken proteins]. *Kholodil'naya tekhnika* [Refrigeration Equipment], 109(3), 49–55. <https://doi.org/10.17816/RF104082>
- Dibirasulaev, M. A., Belozerov, G. A., Dibirasulaev, D. M., & Orlovskii, D. E. (2016). Vliyanie subkrioskopicheskoi temperatury khraneniya na koliche-stvo vymorozhennoi vody v nor i DFD govyadine [The effect of subcriosopic storage temperature on the amount of frozen water in nor and DFD beef]. *Teoriya i praktika pere-rabotki myasa* [Theory and Practice of Meat Processing], (2), 18–24.
- Erlikhman, V. N., & Fatykhov Yu. A. (2018). Metodika rascheta skorosti usushki pishchevogo produkta v zavisimosti ot aktivnosti vody v protsessakh kholodil'noi tekhnologii [The method of calculating the rate of shrinkage of a food product depending on the activity of water in the processes of refrigeration technology]. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda* [Bulletin of the International Cold Academy], (4), 10–14.
- Fes'kov, O. A., & Tanchenko, T. N. (2019). Perspektivnye ispol'zovaniya kombi-nirovannogo metoda zamorazhivaniya pishchevykh produktov [Prospects of using the combined method of freezing food products]. *Molodoi uchenyi* [Young Scientist], (21), 120–124.
- Gerasimov, A. V. (2021). Razrabotka tekhnologii myasoproduktov, obogashchennykh rastitel'nymi antioksidantami [Development of technology of meat products enriched with plant antioxidants] [Candidate Dissertation, Vostochno-Sibirskii gosudarstvennyi universitet tekhnologii i upravleniya]. Ulan-Ude, Russia.
- Gladskikh, L. V. (2011). Novye podkhody biomeditsiny k korrektsi adaptatsion-nykh mekhanizmov ozdorovleniya i omolozheniya [New approaches of biomedicine to the correction of adaptive mechanisms of recovery and rejuvenation]. *Plasticheskaya khirurgiya i kosmetologiya* [Plastic Surgery and Cosmetology], (2), 321–325.
- Gorbunova, N. A. (2013). Vliyanie kholodil'noi obrabotki na kachestvo i bez-opasnost' syr'ya [The influence of refrigeration treatment on the quality and safety of raw materials]. *Vse o myase* [All about Meat], (3), 44–46.
- Ishevskii, A. A., Shul'ga A. S., Grishina I. V., & Rodionova A. L. (2009). Kriogennoe zamorazhivanie pishchevykh produktov [Cryogenic freezing of food products]. *Myasnye tekhnologii* [Meat Technologies], (4), 30–32.
- Ivankin, A. N. (2013). Pererabotka zhivotnogo syr'ya v pishchevye i tekhnicheskie produkty [Processing of animal raw materials into food and technical products]. *Vse o myase* [All about Meat], (3), 28–30.
- Khvylya, S. I., Pchelkina, V. A., & Burlakova, S. S. (2011). Standardizovannye histologicheskie metody otsenki kachestva myasa i myasnykh produktov [Standardized histological methods for assessing the quality of meat and meat products]. *Vse o myase* [All about Meat], (6), 32–35.
- Kral, K., Khonzirkova, M., Pospich, B., Tremlova, M., & Zdarskii, M. Vliyanie traditsionnogo ili shokovogo zamorazhivaniya na poteri pri razmorazhiva-nii i strukturno-mekhanicheskie kharakteristiki govyadiny [The effect of traditional or shock freezing on losses during freezing and structural and mechanical characteristics of beef]. *Teoriya i praktika pererabotki myasa* [Theory and Practice of Meat Processing], (1), 6–9.
- Lisitsyn A. B., Neburchilova, N. F., Petrunina, I. V., & Chernova, A. S. (2015). Ispol'zovanie subproduktov v meditsinskikh tselyakh [The use of by-products for medical purposes]. *Vse o myase* [All about Meat], (2), 6–9.
- Lisitsyn, A. B., Ivankin, A. N., Vostrikova, N. L., & Stanovova, I. A. (2014). Izuchenie fraktsionnogo sostava belkov myasa v protsesse dlitel'nogo kho-lodil'nogo khraneniya [The study of the fractional composition of meat proteins in the process of long-term storage]. *Vse o myase* [All about Meat], (2), 36–40.
- Lobanov, D. A., Bednarskaya, E. A., & Mishta, E. A. (2013). Sovremennye sposo-by zamorazhivaniya pishchevykh produktov. Innovatsionnye tekhnologii v proizvodstve i pererabotke sel'skokhozyaistvennoi produktsii v uslovi-

- yakh WTO [Modern methods of freezing food products. Innovative technologies in the production and processing of agricultural products in the WTO]. In Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [The materials of the international scientific and practical conference] (pp. 310–311). Volgograd: Volgogradskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet.
- Makoveev, I. I., & Kozak, S. S. (2022). Vliyanie subkrioscopicheskoi temperatury khraneniya na srok godnosti okhlazhdennogo myasa broilerov [The effect of subcrescopic storage temperature on the shelf life of chilled broiler meat]. In Nauka o Zemle i okruzhayushchei srede: IOP Sonference series [Earth and Environmental Science: IOP Conference series] (Article 012047). London: IOP Publishing.
- Moiseenko, R. A. (2019). Kratkii obzor patentov v oblasti konservirovaniya pishchevykh produktov metodami okhlazhdeniya i zamorazhivaniya [A brief overview of patents in the field of food preservation by cooling and freezing methods]. NovaUm.Ru [NovaUm.Ru], (18), 23–25.
- Moldovanov, G. G. (2021). Vidovaya identifikatsiya endokrino-fermentnogo syr'ya krupnogo rogatogo skota i svinei [Species identification of endocrine-enzyme raw materials of cattle and pigs]. Pishchevy sistemy [Food Systems], 4(3S), 204–207. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-204-207>
- Nasonova, V. V., Motovilina, A. A., Baburina, M. I., & Ivankin, A. N. (2021). Netraditsionnye istochniki endokrino-fermentnogo syr'ya dlya proizvodstva varenykh kolbasnykh izdelii [Non-traditional sources of endocrine-enzyme raw materials for the production of boiled sausages]. Myasnaya industriya [Meat Industry], (1), 42–45. <https://doi.org/10.37861/2618-8252-2021-01-42-45>
- Onishchenko, V. P., Zheliba, Yu. A., & Zinchenko, V. D. (2011). Sostoyanie vody v myase govyadiny pri ego zamorazhivani i razmorazhivani [The state of water in beef meat during its freezing and thawing]. Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda [Bulletin of the International Academy of Cold], (2), 39–42.
- Rogov N.A., Zabashta A.G., & Kazyulin, G. P. (2000). Obshchaya tekhnologiya myasa i myasoproduktov [General technology of meat and meat products]. Moscow: Kolos.
- Shegel'man, I. R., Vasil'ev, A. S., & Smirnova, L. O. (2018). Perspektivnye tekhnologii okhlazhdeniya i zamorazhivaniya pishchevykh produktov [Promising technologies for cooling and freezing food products]. In Novoe slovo v naune: Strategii razvitiya: Materialy VI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [A new word in science: development strategies: Materials of the 6th all-russian scientific and practical conference] (pp. 112–114). Cheboksary: Interaktiv plus.
- Syazin, I. E. (2011). Osobennosti kriokonservirovaniya i krioseparatsii pishche-vogo syr'ya [Features of cryopreservation and cryoseparation of food raw materials]. Politekhnicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [The thematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University], (2), 572–583.
- Ulzytueva, D. A. (2018). Razrabotka tekhnologii peptidnogo bioregulyatora iz timusa svinei [Development of peptide bioregulator technology from pig thymus] [Candidate Dissertation, Sankt-Peterburgskii natsional'nyi issledovatel'skii universitet informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki]. S-Petersburg, Russia.
- Zaiko, M. V., Pavlova, L. A., & Kozin, S. V. (2014). Iстория и перспективы медицинского применения сырья животного происхождения на примере органопрепараторов селезенки свиньи [The history and prospects of medical use of raw materials of animal origin on the example of organopreparations of pig spleen]. Traditsionnaya meditsina [Traditional Medicine], (1), 42–48.

УДК 664.696

Всероссийский
научно-исследовательский институт
пищевой биотехнологии – филиал
Федерального исследовательского
центра питания, биотехнологии
и безопасности пищи, г. Москва,
Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Амелякина Мария Валентиновна
 Адрес: 111033, г. Москва,
 ул. Самокатная, 4Б
 E-mail: masha.am@mail.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:
 данные текущего исследования
 доступны по запросу
 у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
 Шариков, А. Ю., Соколова, Е. Н., Амелякина, М. В., Поливановская, Д. В., & Серба, Е. М. (2022). Использование брусники в экструдированных продуктах, готовых к употреблению. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 191–200. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.379>

ПОСТУПИЛА: 01.10.2022

ПРИНЯТА: 10.10.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 14.10.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
 авторы сообщают об отсутствии
 конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:
 Исследование выполнено
 за счет гранта Российского научного
 фонда № 22-16-00100.
<https://rscf.ru/project/22-16-00100/>



Использование брусники в экструдированных продуктах, готовых к употреблению

А Ю. Шариков, Е. Н. Соколова, М. В. Амелякина,
 Д. В. Поливановская, Е. М. Серба

АННОТАЦИЯ

Введение. Использование ягод и продуктов их переработки в рецептурах готовых к употреблению продуктов, получаемых методом экструзии, является перспективным направлением повышения пищевой ценности за счет увеличения содержания пищевых волокон, фенольных соединений и других биологически активных веществ. Брусника является традиционной для потребления в России ягодой, проявляющей противовоспалительное, антиоксидантное, противомикробное и антипопулятивное свойства.

Цель. Для расширения ассортимента продукции, готовой к употреблению, и повышения ее пищевой ценности разработаны экструдированные продукты с добавлением ягод брусники без предварительной их подсушки, изучено влияние дозировки ягод брусники в экструдируемую смесь на основе рисовой крупы на процесс экструзии, потребительские свойства получаемой продукции и содержание фенольных соединений.

Материалы и методы. Ягоды брусники вносились в экструдируемую смесь на основе рисовой крупы в количестве до 15 %. Смеси перерабатывали на двухшнековом экструдере в диапазоне температур 150–165 °C и оценивали влияние содержания брусники в рецептуре на режимные параметры экструзии, показатели пищевой ценности, структурно-механические, цветовые и органолептические характеристики экструдатов.

Результаты. Установлено, что с ростом доли ягод в рецептуре перерабатываемой смеси снижаются основные технологические показатели процесса: температура, момент сдвиговых деформаций и давление в камере установки, что связывается с повышением общего влагосодержания в камере экструдера. Инструментальная оценка структурно-механических свойств показала, что внесение до 10 % ягод брусники незначимо влияет на твердость гранул продукта и количество микроразломов, косвенном показателе пористости продукта. Более высокое содержание повышает твердость экструдата практически вдвое с 6,2 до 11,7 Н. С повышением доли ягод в рецептуре значительно изменяются хроматические составляющие цвета: хроматическая составляющая «a» в сторону красного цвета с 0,32 до 8, хроматическая составляющая «b» менее интенсивно в сторону синего. Установлено кратное увеличение содержания фенольных соединений в продуктах, содержащих ягоду брусники. Отмечено, что при этом потеря фенольных веществ в результате экструдирования увеличивается с повышением доли ягод в рецептуре с 9 до 55 %. Максимальной дегустационной оценке соответствует образец с 5 % ягоды брусники.

Выводы. С учетом потерь фенольных соединений и изменения структурно-механических свойств получаемых экструдатов внесение более 5 % ягод брусники в экструдируемые смеси нецелесообразно.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

экструзия, режимы, структурно-механические свойства, брусника, *Vaccinium vitis-idaea*, фенольные соединения, пищевые волокна, готовые к употреблению продукты, пищеконцентраты

The Use of Cranberries in Extruded Products Ready for Consumption

All-Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology, branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Maria V. Amelyakina

4B, Samokatnaya Str., Moscow, 111033, Russian Federation
E-mail: masha.am@mail.ru

FOR CITATIONS:

Sharikov, A. Yu., Sokolova, E. N., Amelyakina, M. V., Polivanovskaya, D. V., & Serba E. M. (2022). The use of cranberries in extruded products ready for consumption. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 191–200. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.379>

RECEIVED: 01.10.2022

ACCEPTED: 10.10.2022

PUBLISHED: 14.10.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FUNDING:

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 22-16-00100.



ABSTRACT

Introduction. The use of berries and products of their processing in the formulations of ready-to-eat products obtained by extrusion is a promising direction for increasing the nutritional value by increasing the content of dietary fiber, phenolic compounds and other biologically active substances. Lingonberry is a traditional berry for consumption in Russia, which exhibits anti-inflammatory, antioxidant, antimicrobial and antiproliferative properties.

Purpose. To expand the range of ready-to-eat products and increase their nutritional value, extruded products with the addition of lingonberries without prior drying have been developed, the effect of the dosage of lingonberries in an extrudable mixture based on rice groats on the extrusion process, consumer properties of the resulting products and the content of phenolic compounds has been studied.

Materials and Methods. Mountain cranberries (lingonberries) were introduced into the extruded mixture based on rice groats in an amount of up to 15 %. The mixtures were processed on a twin-screw extruder in the temperature range of 150–165 °C and the influence of the lingonberry content in the recipe on the regime parameters of extrusion, nutritional value indicators, structural-mechanical, color and organoleptic characteristics of the extrudates was evaluated.

Results. It has been established that with an increase in the proportion of lingonberries in the recipe of the processed mixture, the main technological parameters of the process decrease: temperature, shear deformation moment and pressure in the installation chamber, which is associated with an increase in the total moisture content in the extruder chamber. An instrumental assessment of the structural and mechanical properties showed that the introduction of up to 10% lingonberries does not significantly affect the hardness of the product granules and the number of microfractures, an indirect indicator of the product's porosity. A higher content almost doubles the hardness of the extrudate from 6.2 to 11.7 N. With an increase in the proportion of berries in the recipe, the chromatic components of the color change significantly: the chromatic component "a" towards red from 0.32 to 8, the chromatic component "b" is less intense towards blue. A multiple increase in the content of phenolic compounds in products containing lingonberries has been established. It is noted that in this case, the loss of phenolic substances as a result of extrusion increases with an increase in the proportion of berries in the recipe from 9 to 55 %. The maximum tasting score corresponds to a sample with 5 % lingonberries.

Conclusion. Taking into account the loss of phenolic compounds and changes in the structural and mechanical properties of the obtained extrudates, the introduction of more than 5% of lingonberries into extruded mixtures is not advisable.

KEYWORDS

extrusion, modes, structural and mechanical properties, lingonberries, mountain cranberries, *Vaccinium vitis-idaea*, phenolic substances, dietary fiber, ready-to-eat products

ВВЕДЕНИЕ

Основным сырьем для производства востребованных потребителями продуктов, готовых к употреблению, таких как сухие завтраки, снеки, является крахмалсодержащее сырье. Основным способом производства такой продукции вследствие ряда технологических преимуществ является варочная экструзия (Adekola, 2016; Navale et al., 2015). Важным негативным аспектом пищевой ценности экструдированных продуктов, произведенных из ингредиентов с высокой степенью переработки, является их высокий гликемический индекс, низкое содержание фенольных соединений, витаминов и макроэлементов (Al-Rabadi et al., 2011; Brennan et al., 2013). Поэтому разработка новых экструдированных продуктов, готовых к употреблению и обогащенных различными нутриентами, является актуальной задачей (Brennan et al., 2012; Brennan et al., 2013). Для повышения пищевой ценности экструдированных продуктов может использоваться различное плодово-ягодное сырье или продукты его переработки в виде экстрактов, жмыхов и т.д. (Hirth et al., 2014; Pranabendu et al., 2022; Schmid et al., 2021; Lohani & Muthukumarappan, 2017). Такие ингредиенты могут оказывать различное влияние на пищевую ценность и органолептические показатели экструдатов. Например, снижение содержания крахмала — основного структурообразователя в данной продукции может негативно повлиять на текстурные свойства (Moraru & Kokini, 2003). Добавление плодово-ягодного сырья и увеличение его концентрации в рецептурах повышает содержание пищевых волокон, фенольных соединений, антицианы сырья могут выступать в качестве натуральных красителей (Brennan et al., 2011; Schmid et al., 2021).

В аспекте содержания некрахмалистых углеводов известно (Brennan et al., 2011; Шариков & Амелиякина, 2021), что в экструдатах относительно исходных смесей наблюдается увеличение доли растворимых пищевых волокон. Степень модификации и изменение содержания фенольных соединений в экструдатах зависят от химического состава перерабатываемых смесей и режимов экструзии.

В различных работах отмечается как отсутствие влияния на класс фенольных соединений в перерабатываемом сырье, так и их значимое уменьшение под влиянием комплексного гидротермомеханического экструзионного воздействия (Hirth et al., 2014; Pranabendu et al., 2022; Schmid et al., 2021).

Брусника (*Vaccinium vitis-idaea*) является одной из наиболее богатых фенольными соединениями ягодой, источником биологически активных веществ, обладающих противовоспалительным, антиоксидантным, противораковым, нейропротекторным, антицитокиновым и антиапоптотическим действием (Drozdz et al., 2017; Shamilov et al., 2020; Kowalska, 2021). Ее использование в продуктах, готовых к употреблению, позволит повысить их пищевую ценность и расширить ассортимент в товарной категории данной продукции.

Целью настоящего исследования являлись разработка экструдированных продуктов с добавлением ягод брусники, как источника фенольных соединений и пищевых волокон, и изучение влияния содержания брусники в экструдируемых смесях на режимы экструзии, потребительские свойства экструдатов и их пищевую ценность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Объектами исследования являлись смеси ингредиентов с варированием дозировки брусники, и экструдаты, полученные из данных смесей.

Материалы

При производстве экструдированных продуктов использовали крупу рисовую (ГОСТ 6292–93¹), бруснику замороженную (ГОСТ 33823–2016²), соль (ГОСТ Р 51574–2018³), стабилизатор карбонат кальция (ТР ТС 029/2012⁴).

¹ ГОСТ 6292–93. (2010). Крупа рисовая. Технические условия. М.: Стандартинформ.

² ГОСТ 33823–2016. (2016). Фрукты быстрозамороженные. Общие технические условия. М.: Стандартинформ.

³ ГОСТ Р 51574–2018. (2018). Соль пищевая. Общие технические условия. М.: Стандартинформ.

⁴ ТР ТС 029/2012. (2012). Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств. <https://docs.cntd.ru/document/902359401>

Оборудование

Анализатор влажности ML-50 (A&D, Япония), анализатор текстуры CT3 (Brookfield, USA), анализатор цвета CS-10 (Hangzhou CHNSpec Technology, Китай), спектрофотометр Specord 50 Analytic Yena (Германия), экструдер Werner&Phleiderer Continua 37 (Германия).

Методы и процедура исследования

Базовая сухая смесь включала 98,5 % рисовой крупы, 0,5 % соли и 1,5 % карбоната кальция. Брусники вносили в количестве 5, 10 и 15 %. Экструдированные продукты получали с использованием двухшнекового экструдера Werner&Phleiderer Continua 37 с диаметром шнека 37 мм и соотношением диаметра к длине шнека 1:27 и установленной фильтерой с двумя отверстиями прямоугольного сечения со сторонами 12 и 1,5 мм. Коэффициент взрыва экструдатов рассчитывали по соотношению площадей сечения экструдата и отверстия фильтры.

Термогравиметрическим методом с использованием анализатора ML-50 (A&D, Япония) определяли влажность исходных смесей и полученных продуктов. Изменение структурно-механических свойств оценивали с помощью анализатора текстуры Brookfield CT3 Texture Analyser, оснащенного металлическим цилиндрическим зондом диаметром 3 мм, работающего на глубину прокола 3 мм со скоростью 0,5 мм/с. В качестве инструментальных показателей структурно-механических свойств рассматривали твердость, характеризующую максимальную нагрузку, имитирующую сжатие образца между зубами, и количество микроразломов, косвенно характеризующее пористость экструдатов (Van Hecke et al., 1998; Шариков&Степанов, 2015). Цветовые характеристики экструдата определяли колориметрическим методом с использованием анализатора CS-10 (Hangzhou CHNSpec Technology, Китай) в системе CIE LAB, где L^* — является характеристикой светлоты от 0 до 100, a^* — хроматическая составляющая в диапазоне от зеленого до красного, b^* — хроматическая составляющая в диапазоне от синего до желтого (Yu et al., 2021). Хроматические составляющие ограничены диапазоном значений -100 / + 100. Инструментальные измерения проводили в 10-и повторностях.

Определение суммарного содержания фенольных соединений в экструдатах осуществляли спектрофотометрическим методом с использованием хлорида алюминия, 18-мolibдодифосфата и реагента Фолина-Чокальтеу (Денисенко и соавт., 2015) на спектрофотометре Specord 50 Analytic Yena при длине волны 720 нм.

Пищевые волокна определяли по ферментативно-гравиметрическим методом согласно ГОСТ Р 54014-2010⁵. Органолептический анализ проводился 9 дегустаторами, для которых были разработаны дескрипторы, описывающие следующие характеристики продукции: общая привлекательность, текстура, вкус, запах, горечь, цвет. Каждый дескриптор оценивался по 5-и бальной гедонистической шкале, где максимальному значению соответствовали наиболее привлекательные для дегустатора признаки.

Анализ данных

Достоверность различий средних проводили методом дисперсионного анализа с применением апостериорного анализа по критерию Тьюки при $p < 0,05$ с использованием пакета программ Statistica 6.0

РЕЗУЛЬТАТЫ

В рамках экспериментальной работы ягоды брусники вносили в смеси на основе рисовой крупы в количестве до 15 %, далее проводили экструдирование, в процессе которого фиксировали изменение режимных параметров переработки. Полученные экструдаты подсушивали и затем определяли их структурно-механические, цветовые характеристики, содержание фенольных соединений и пищевых волокон, органолептические показатели.

В Таблице 1 представлены данные по изменению режимных параметров экструзии в зависимости от содержания ягодного сырья в экструдируемой

⁵ ГОСТ Р 54014-2010. (2019). Продукты пищевые функциональные. Определение растворимых и нерастворимых пищевых волокон ферментативно-гравиметрическим методом. М.: Стандартинформ.

Таблица 1

Режимные параметры экструзии

Образец	Производительность	Влагосодержание	Температура	Момент сдвига	Давление
	кг/час	%	°C	%	МПа
Контроль	15,5	15,1 ± 0,4a	165 ± 2a	74 ± 3a	2,8 ± 0,2a
5% брусники	15,5	15,1 ± 0,3a	164 ± 2a	74 ± 3a	2,5 ± 0,2a
10% брусники	15,5	18,4 ± 0,5	150 ± 2b	52 ± 2	1,0 ± 0,1
15% брусники	15,5	24,1 ± 0,5	154 ± 3b	32 ± 2	0,6 ± 0,1

Примечание. * Различие значений, отмеченных одинаковыми буквенными символами для каждой диаграммы, статистически незначимо при $p < 0,05$.

Таблица 2

Влияние дозировки брусники на структурно-механические и цветовые характеристики экструдатов

Образец	Коэф. взрыва	Твердость, Н	Кол-во микроразломов	Цветовые характеристики		
				L	a	b
Контроль	13,7 ± 1,1a	6,2 ± 1,2a	9,2 ± 1,7a	52,8 ± 1,7a	0,32 ± 0,2	2,0 ± 0,8a
Брусника 5%	12,3 ± 1,3ab	6,2 ± 1,6a	9,3 ± 1,2a	52,8 ± 1,7a	2,9 ± 0,4	1,8 ± 1,1a
Брусника 10%	11,3 ± 0,8b	7,3 ± 1,4a	7,4 ± 2,2a	52,6 ± 0,9a	6,2 ± 0,5	0,4 ± 0,1b
Брусника 15%	4,2 ± 0,5	11,7 ± 2,5	2,9 ± 1,2	53,5 ± 0,8a	8,01 ± 0,6	0,5 ± 0,3b

Примечание. * Различие значений, отмеченных одинаковыми буквенными символами для каждой диаграммы, статистически незначимо при $p < 0,05$.

смеси. Отмечаемое значимое влияние дозировки брусники на показатели экструзии: снижение давления, крутящего момента, температуры, связано прежде всего с увеличением влагосодержания, которое определяет характер сдвиговых деформаций в камере экструдера при переработке смесей.

Установлено, что внесение 5 % ягод брусники не оказывает значимого влияния на режимы экструзии, дальнейшее же повышение вызывает снижение температуры со 165 °C до 150–154 °C, крутящий момент с 74 % до 52 %, и далее до 32 %. При этом самое сильное относительное изменение наблюдается для давления. Увеличение содержания ягодного

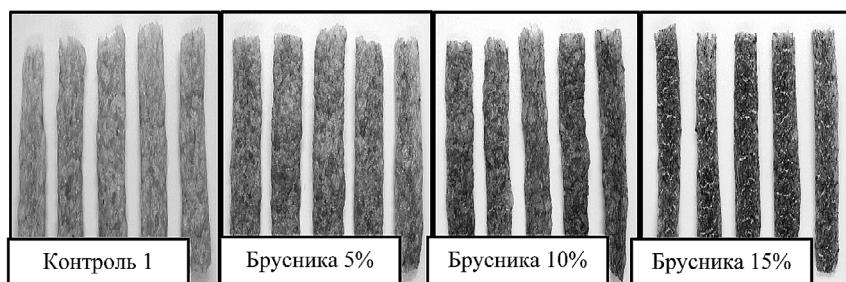
сырья в смеси с 5 до 15 % вызвало снижение давления с 2,5 до 0,6 МПа. На Рисунке 1 представлены фотографии полученных экструдатов, на которых даже визуально можно определить характер влияния дозировки брусники на органолептические свойства экструдатов.

В Таблице 2 представлены результаты инструментальных исследований структурно-механических свойств и цветовых характеристик полученных образцов продукта.

Внесение и повышение содержания брусники до 15 % в рецептурной смеси значимо, практически

Рисунок 1

Экструдированные продукты с добавлением ягод брусники



в 3 раза, снижает коэффициент взрыва, характеризующий расширение стренга экструдата, выходящего из отверстий фильтры экструдера. На таком же уровне, с 9,2 до 2,9, установлено снижение количества микроразломов, характеризующее пористость продукта. При этом увеличивается твердость продукта с 6,2 до 11,7 Н. Отмечено, что внесение 5 и 10% ягод брусники не значимо изменяет показатели текстуры относительно контрольного образца. Анализ изменения цветовых характеристик показывает, что показатель светлоты продукта не зависит от внесения ягод в рецептуру, увеличение их дозировки повышает значение хроматической составляющей «a» в сторону красного цвета с 0,32 до 8. Хроматическая составляющая «b» значимо снижается относительно контроля, но незначимо внутри группы образцов, содержащих бруснику.

На рисунке 2 представлено изменение содержания фенольных соединений и пищевых волокон в экструдате.

Из диаграммы видно, что статистически значимое увеличение содержания пищевых волокон с 3,2 до 3,6 г в 100 г экструдата отмечено при внесении в рецептуру 15% ягод брусники. Внесение 5 и 10% ягод изменяет содержание пищевых волокон незначимо. Для контрольной смеси и соответствующего ей экструдата значение содержания фенольных соединений незначимо и в среднем составляет 0,01 мг/г сухих веществ (СВ). Внесение брусники заметно увеличивает содержание фенольных соединений в исходных смесях и экструдатах относительно контроля до значений 0,24–0,68 мг/г СВ, которое повышается с ростом дозировки ягод. Но отмечено негативное влияние гидротермомеха-

Рисунок 2
Содержание фенольных веществ и пищевых волокон

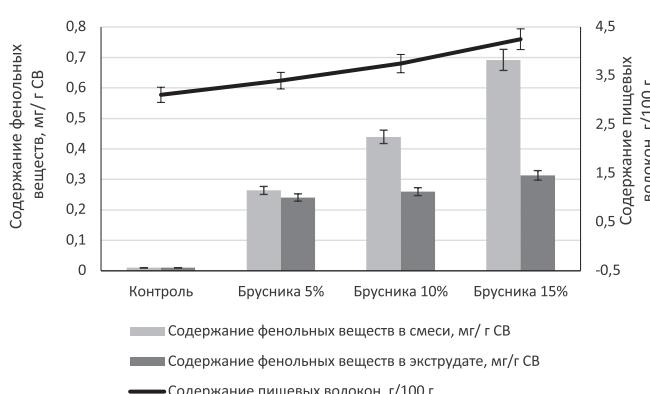
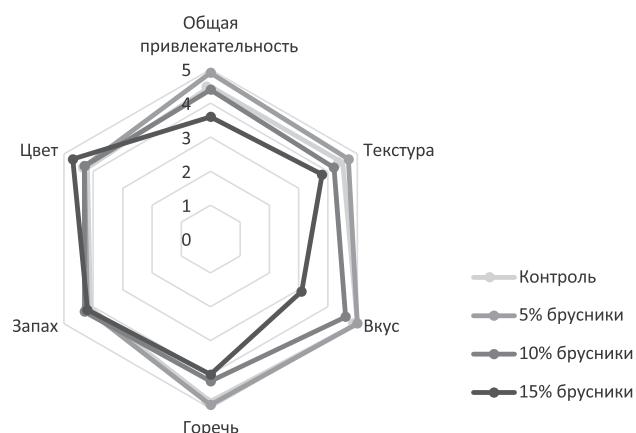


Рисунок 3
Дегустационная оценка экструдированных продуктов



нического воздействия на содержание фенольных соединений в образцах с брусникой. При этом потери увеличиваются с ростом начального количества фенолов. Так, для продукта с 5% содержанием брусники концентрация фенольных соединений в результате экструзии снижается на 9%, а для 15% – уже на 55%.

На Рисунке 3 представлена профилограмма результатов органолептического анализа экструдатов, по результатам которого суммарную максимальную оценку получил продукт с внесением 5% брусники, которая составила 28 баллов. Минимальная суммарная оценка соответствовала 15% внесению ягод в смесь. Единственный параметр, по которому данный образец имел преимущество, – это цвет, интенсивный, характерный для брусники.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Брусника является перспективным источником биологически активных веществ, имеющим потенциал практического применения в пищевой промышленности и фармацевтике (Лютикова & Ботиров, 2015; Shamilov et al., 2020). Отмечается как высокое содержание органических кислот и фенольных соединений, так и колебание их концентраций в широких пределах. Содержание полифенольных соединений в бруснике зависит от времени сбора (Vujor et al., 2018) и может достигать 1900 мг/100 г свежих ягод, количество антоцианов и лейкоантоцианов колебаться в диапа-

зоне 180–530 и 150–1060 мг/100 г, соответственно, катехинов — 20–1090 мг/100 г (Лютикова & Ботиров, 2015).

Сохранение фенольных соединений в составе экструдированных продуктов в результате достаточно жестких условий гидротермомеханической обработки в процессе экструзии является важным аспектом использования ягодного сырья в рецептурах сухих завтраков, снеков и других пищевых концентратов. Из литературы известно, что нет четко установленных тенденций изменения фенольного состава в экструдируемых продуктах, как в результате экструзии, так и в зависимости от ее режимов, варьирования температуры, влагосодержания (Brennan et al., 2011). Например, при экструдировании смесей красной фасоли с крахмалом наблюдалось 70 % снижение содержания фенольных соединений, а при экструдировании аналогичных смесей с фасолью жемчужной — только 10 % (Anton et al., 2009). Экструзия овса вызвала снижение общего содержания фенольных соединений на 24–46 % (Viscidi et al., 2004).

Оценка сохранности фенольных соединений при различных режимах экструзии смесей крахмала и жмыха клюквы показала увеличение содержание флавонолов на 30–34 % (White et al., 2010), а максимальная сохранность антоцианов наблюдалась при 150 °C и 30 % жмыха — наименьшей в опыте концентрации вносимого в экструдируемую смесь ягодного сырья.

Исследование влияния режимов экструзии на изменение содержания антоцианов, процианидинов и гидроксикоричных кислот смесей крахмала и жмыхов рябины показало, что варьирование скорости вращения шнеков в диапазоне 300 и 500 об/мин, температуры 100–140 °C и влагосодержания 15–22 % не оказывало значимого влияния на сохранение процианидинов и гидроксикоричных кислот (Hirth et al., 2015). Более высокая скорость шнека увеличивала удельную механическую энергию и температуру процесса, что привело к потере антоцианов, сохранность которых находилась в обратной корреляционной зависимости от температуры экструзии. Максимальная сохранность цианидиновых гликозидов, составившая 60 %, была отмечена при самом высоком содержании воды 22 %. Высокую сохранность фенольных соединений 91–99 % в процессе экструзии показала переработка куку-

рузного крахмала с 2 % экстракта черники в широких пределах варьирования режимами — скорости вращения шнеков 180–270 об/мин, влажности 18–28 %, температуры 100–160 °C (Hirth et al., 2015). Сохранность антоцианов при этом колебалась в более широких пределах 49–90 %.

В условиях нашего эксперимента сохранность фенольных соединений при 5 % внесении ягод брусники составила 91 %, а при 15 % — только 45 %. Таким образом, показано, что добавление в рецептуру более 5 % ягод не является целесообразным в аспекте повышения пищевой ценности за счет фенольных соединений. Чтобы добиться значимого увеличения содержания пищевых волокон необходимо внесение 15 % ягод.

С ростом дозировки ягод отмечаются негативные тенденции для потребительских характеристик продукта, повышение твердости, снижение пористости, ухудшение общей органолептической оценки. Такие результаты коррелируют с аналогичными исследованиями, например, при экструдировании смесей рисовой муки и жмыха клюквы, добавляемого к рисовой муке в количестве до 25 %, отмечалось увеличение твердости экструдатов с 23 до 157 Н (Pranabendu et al., 2022). Это обусловлено увеличением влажности экструдируемой смеси за счет повышения доли ягод в рецептуре и соответствующим влиянием данного параметра на режимы экструзии и на структурно-механические свойства экструдатов.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования подтверждена возможность использования ягод брусники в технологии экструдионных продуктов, готовых к употреблению. Повышение содержания ягод в перерабатываемой смеси снижает температуру экструзии, момент сдвига и давление в камере установки. По результатам инструментального анализа структурно-механических свойств показано, что внесение до 10 % ягод брусники незначимо влияет на твердость гранул продукта и количество микроразломов в тестах, имитирующих раскусывание образца. Хроматические составляющие цвета продукта значительно изменяются с повышением дозировки ягод, хроматическая составляющая «а» в сторону красного цвета с 0,32 до 8, хроматическая составляю-

щая «b» менее интенсивно в сторону синего. Установлено снижение содержания фенольных соединений в результате экструзии, при этом потери увеличиваются с повышением содержания ягод в рецептуре, следовательно, рационально добавлять не более 5% ягод в экструдируемую смесь. Данной рекомендации, соответствует и максимальная суммарная дегустационная оценка образцу с 5% ягоды брусники.

Полученные результаты исследования показывают, что влагосодержание смеси, обусловленное увеличением содержания ягод брусники в рецептуре, негативно влияет на структурно-механические показатели продукции. В связи с этим перспективным направлением исследований является разработка экструзионных технологий с использованием продуктов переработки ягод брусники, например, жмыхов после отжима сока. Это позволит снизить количество воды, вносимой с ингредиентом в экструдируемую смесь, что положительно скажется на структурно-механических свойствах, и, что яв-

ляется важным фактором повышения экологизации и ресурсосбережения переработки ягод, утилизировать влажные отходы производства.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Шариков А. Ю.: концептуализация; проведение исследования; формальный анализ; создание рукописи и ее редактирование.

Соколова Е. Н.: проведение исследования.

Амелякина М. В.: проведение исследования; создание рукописи и ее редактирование.

Поливановская Д. В.: проведение исследования; визуализация данных.

Серба Е. М.: руководство исследованием.

ЛИТЕРАТУРА

- Денисенко, Т. А., Вишниkin, А. Б., & Цыганок, Л. П. (2015). Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия, 18-молибдо-дифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу. *Аналитика и контроль*, 19(4), 373–380. <https://doi.org/10.15826/analitika.2015.19.4.012>
- Лютикова, М. Н., & Ботиров, Э. Х. (2015). Химический состав и практическое применение ягод брусники и клюквы. *Химия растительного сырья*, (2), 5–27. <https://doi.org/10.14258/jcprm.201502429>
- Шариков, А. Ю., & Степанов, В. И. (2015). Инструментальные методы исследования текстуры экструдированных продуктов. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, (5), 3–9.
- Шариков, А. Ю., & Амелякина, М. В. (2021). Модификация углеводов сельскохозяйственного сырья в процессе термопластической экструзии (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*, 22(6), 795–803. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.795-803>
- Adekola, K. A. (2016). Engineering review food extrusion technology and its applications. *Journal of Food Science and Engineering*, 6, 149–168. <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2016.03.005>
- Al-Rabadi, G. J., Torley, P. J., Williams, B. A., Bryden, W. L., & Gidley, M. J. (2011). Effect of extrusion temperature and pre-extrusion particle size on starch digestion kinetics in barley and sorghum grain extrudates. *Animal Feed Science and Technology*, 168(3–4), 267–279. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.097>
- Anton, A. A., Fulcher, R. G., & Arntfield, S. D. (2009). Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry*, 113(4), 989–996. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.050>
- Brennan, C. S., Brennan, M. A., Derbyshire, E. J., & Tiwari, B. K. (2011). Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 22(10), 570–575. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.05.007>
- Brennan, M. A., Derbyshire, E., Brennan, C. S., & Tiwari, B. K. (2012). Impact of dietary fibre-enriched ready to eat extruded snacks on the postprandial glycaemic response of non-diabetic patients. *Molecular Nutrition and Food Research*, 56(5), 834–837. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100760>
- Brennan, M. A., Derbyshire, E. J., Tiwari, B. K., & Brennan, C. S. (2013). Ready-to-eat snack products: The role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(5), 893–902. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
- Bujor, O. C., Ginies, C., Popa, V. I., & Dufour, C. (2018). Phenolic compounds and antioxidant activity of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) leaf, stem and fruit at different harvest periods. *Food chemistry*, 252, 356–365. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.052>
- Dróżdż, P., Šežienė, V., & Pyrzynska, K. (2017). Phytochemical properties and antioxidant activities of extracts from wild blueberries and lingonberries. *Plant Foods for Hu-*

- man Nutrition, 72(4), 360–364. <https://doi.org/10.1007/s11130-017-0640-3>
- Hirth, M., Leiter, A., Beck, S. M., & Schuchmann, H. P. (2014). Effect of extrusion cooking process parameters on the retention of bilberry anthocyanins in starch based food. *Journal of Food Engineering*, 125(1), 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.034>
- Hirth, M., Preiß, R., Mayer-Miebach, E., & Schuchmann, H. P. (2015). Influence of HTST extrusion cooking process parameters on the stability of anthocyanins, procyanoanidins and hydroxycinnamic acids as the main bioactive chokeberry polyphenols. *LWT – Food Science and Technology*, 62(1), 511–516. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.032>
- Kowalska, K. (2021). Lingonberry (Vaccinium vitis-idaea L.) Fruit as a source of bioactive compounds with health-promoting effects-a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(10), Article 5126. <https://doi.org/10.3390/ijms22105126>
- Lohani, U.C., & Muthukumarappan, K. (2017). Effect of extrusion processing parameters on antioxidant, textural and functional properties of hydrodynamic cavitating corn flour, sorghum flour and apple pomace-based extrudates. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), Article e12424. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12424>
- Moraru, C. I., & Kokini, J. L. (2003). Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(4), 147–165. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00020.x>
- Lovegrove, A., Edwards, C. H., de Noni, I., Patel, H., El, S. N., Grassby, T., Zielke, C., Ulmius, M., Nilsson, L., Butterworth, P. J., Ellis, P. R., & Shewry, P. R. (2017). Role of polysaccharides in food, digestion, and health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(2), 237–253. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.939263>
- Navale, S. A., Swami, S. B. & Thakor, N. J. (2015). Extrusion cooking technology for foods: A review. *Journal of Ready to Eat Food*, 2(3), 66–80.
- Pranabendu, M., Sagar, K., Sai, S., & Kaushal, S. (2022). Conversion of industrial food wastes cranberry pomace into foods blending with rice flour using single-screw extrusion process. *Journal of Food Industry*, 5(1), 44–61. <https://doi.org/10.5296/jfi.v5i1.19427>
- Shamilov, A. A., Bubenchikova, V. N., Chernikov, M. V., Pozdnyakov, D. I., & Garsiya, E. R. (2020). Vaccinium Vitis-idaea L.: Chemical contents, pharmacological activities. *Pharmaceutical Sciences*, 26(4), 344–362. <https://doi.org/10.34172/PS.2020.54>
- Shmid, V., Steck, J., Mayer-Miebach, E., Behsnilian, D., Bunzel, M., Karbstein, H. P., & Emin, M. A. (2021). Extrusion processing of pure chokeberry (Aronia melanocarpa) pomace: Impact on dietary fiber profile and bioactive compounds. *Foods*, 10(3), Article 518. <https://doi.org/10.3390/foods10030518>
- Van Hecke, E., Allaf, K., & Bouvier, J. M. (1998). Texture and structure of crispy-puffed food products. Mechanical properties in puncture. *Journal of Texture Studies*, 29(6), 617–632. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1998.tb00189.x>
- Viscidi, K. A., Dougherty, M. P., Briggs, J., & Camire, M. E. (2004). Complex phenolic compounds reduce lipid oxidation in extruded oat cereals. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie-Food Science and Technology*, 37(7), 789–796. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.03.005>
- White, B. L., Howard, L. R., & Prior, R. L. (2010). Polyphenolic composition and antioxidant capacity of extruded cranberry pomace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4037–4042. <https://doi.org/10.1021/jf902838b>
- Yu, H., Liu, H., Erasmus, S.W., Zhao, S., Wang, Q., & Van Ruth, S. M. (2021). An explorative study on the relationships between the quality traits of peanut varieties and their peanut butters. *LWT – Food Science and Technology*, 151, Article 112068. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112068>

REFERENCES

- Denisenko, T. A., Vishnkin, A. B., & Tsyganok, L. P. (2015). Spektrofotometricheskoe opredelenie summy fenol'nykh soedinenii v rastitel'nykh ob'ektakh s ispol'zovaniem khlorida alyuminiya, 18-molibdodifosfata i reaktiva Folina-Chokal'teu [Spectrophotometric determination of the amount of phenolic compounds in plant objects using aluminum chloride, 18-molybdenum diphosphate and Folin-Chocalteu reagent]. *Analitika i kontrol'* [Analytics and Control], 19(4), 373–380. <https://doi.org/10.15826/analitika.2015.19.4.012>
- Lyutikova, M. N., & Botirov, E. Kh. (2015). Khimicheskii sostav i prakticheskoe primenie yagod brusniki i klyukvy [Chemical composition and practical application of cranberries and cranberries]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Materials], (2), 5–27. <https://doi.org/10.14258/jcprm.201502429>
- Sharikov, A. Yu., & Amelyakina, M. V. (2021). Modifikatsiya uglevodov sel'skokhozyaistvennogo syr'ya v protsesse termoplasticheskoi ekstruzii (obzor) [Modification of carbohydrates of agricultural raw materials in the process of thermoplastic extrusion (review)]. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* [Agricultural Science of the Euro-North-East], 22(6), 795–803. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.795–803>
- Sharikov, A. Yu., & Stepanov, V. I. (2015). *Instrumental'nye metody issledovaniya tekstury ekstrudirovannykh produktov* [Instrumental methods for studying the texture of extruded products]. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov* [Technology and Commodity Science of Innovative Food Products], (5), 3–9.
- Adekola, K. A. (2016). Engineering review food extrusion technology and its applications. *Journal of Food Science and Engineering*, 6, 149–168. <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2016.03.005>
- Al-Rabadi, G. J., Torley, P. J., Williams, B. A., Bryden, W. L., & Gidley, M. J. (2011). Effect of extrusion temperature

- and pre-extrusion particle size on starch digestion kinetics in barley and sorghum grain extrudates. *Animal Feed Science and Technology*, 168(3–4), 267–279. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.097>
- Anton, A. A., Fulcher, R. G., & Arntfield, S. D. (2009). Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry*, 113(4), 989–996. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.050>
- Brennan, C. S., Brennan, M. A., Derbyshire, E. J., & Tiwari, B. K. (2011). Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 22(10), 570–575. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.05.007>
- Brennan, M. A., Derbyshire, E., Brennan, C. S., & Tiwari, B. K. (2012). Impact of dietary fibre-enriched ready to eat extruded snacks on the postprandial glycaemic response of non-diabetic patients. *Molecular Nutrition and Food Research*, 56(5), 834–837. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100760>
- Brennan, M. A., Derbyshire, E. J., Tiwari, B. K., & Brennan, C. S. (2013). Ready-to-eat snack products: The role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(5), 893–902. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
- Bujor, O. C., Ginies, C., Popa, V. I., & Dufour, C. (2018). Phenolic compounds and antioxidant activity of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) leaf, stem and fruit at different harvest periods. *Food chemistry*, 252, 356–365. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.052>
- Dróżdż, P., Šežienė, V., & Pyrzynska, K. (2017). Phytochemical properties and antioxidant activities of extracts from wild blueberries and lingonberries. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(4), 360–364. <https://doi.org/10.1007/s11130-017-0640-3>
- Hirth, M., Leiter, A., Beck, S. M., & Schuchmann, H. P. (2014). Effect of extrusion cooking process parameters on the retention of bilberry anthocyanins in starch based food. *Journal of Food Engineering*, 125(1), 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.034>
- Hirth, M., Preiß, R., Mayer-Miebach, E., & Schuchmann, H. P. (2015). Influence of HTST extrusion cooking process parameters on the stability of anthocyanins, procyanidins and hydroxycinnamic acids as the main bioactive chokeberry polyphenols. *LWT – Food Science and Technology*, 62(1), 511–516. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.032>
- Kowalska, K. (2021). Lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) fruit as a source of bioactive compounds with health-promoting effects—a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(10), Article 5126. <https://doi.org/10.3390/ijms22105126>
- Lohani, U.C., & Muthukumarappan, K. (2017). Effect of extrusion processing parameters on antioxidant, textural and functional properties of hydrodynamic cavitated corn flour, sorghum flour and apple pomace-based extrudates. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), Article e12424. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12424>
- Moraru, C. I., & Kokini, J. L. (2003). Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(4), 147–165. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00020.x>
- Lovegrove, A., Edwards, C. H., de Noni, I., Patel, H., El, S. N., Grassby, T., Zielke, C., Ulmius, M., Nilsson, L., Butterworth, P. J., Ellis, P. R., & Shewry, P. R. (2017). Role of polysaccharides in food, digestion, and health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(2), 237–253. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.939263>
- Navale, S. A., Swami, S. B. & Thakor, N. J. (2015). Extrusion cooking technology for foods: A review. *Journal of Ready to Eat Food*, 2(3), 66–80.
- Pranabendu, M., Sagar, K., Sai, S., & Kaushal, S. (2022). Conversion of industrial food wastes cranberry pomace into foods blending with rice flour using single-screw extrusion process. *Journal of Food Industry*, 5(1), 44–61. <https://doi.org/10.5296/jfi.v5i1.19427>
- Shamilov, A. A., Bubenchikova, V. N., Chernikov, M. V., Pozdnyakov, D. I., & Garsiya, E. R. (2020). *Vaccinium Vitis-idaea* L.: Chemical contents, pharmacological activities. *Pharmaceutical Sciences*, 26(4), 344–362. <https://doi.org/10.34172/PS.2020.54>
- Shmid, V., Steck, J., Mayer-Miebach, E., Behsnilian, D., Bunzel, M., Karbstein, H. P., & Emin, M. A. (2021). Extrusion processing of pure chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace: Impact on dietary fiber profile and bioactive compounds. *Foods*, 10(3), Article 518. <https://doi.org/10.3390/foods10030518>
- Van Hecke, E., Allaf, K., & Bouvier, J. M. (1998). Texture and structure of crispy-puffed food products. Mechanical properties in puncture. *Journal of Texture Studies*, 29(6), 617–632. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1998.tb00189.x>
- Viscidi, K. A., Dougherty, M. P., Briggs, J., & Camire, M. E. (2004). Complex phenolic compounds reduce lipid oxidation in extruded oat cereals. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie-Food Science and Technology*, 37(7), 789–796. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.03.005>
- White, B. L., Howard, L. R., & Prior, R. L. (2010). Polyphenolic composition and antioxidant capacity of extruded cranberry pomace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4037–4042. <https://doi.org/10.1021/jf902838b>
- Yu, H., Liu, H., Erasmus, S.W., Zhao, S., Wang, Q., & Van Ruth, S. M. (2021). An explorative study on the relationships between the quality traits of peanut varieties and their peanut butters. *LWT – Food Science and Technology*, 151, Article 112068. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112068>