

ISSN 2072-9669

eISSN 2658-767X

№ 3 2022

Хранение и переработка сельхозсырья
Storage and Processing of Farm Products

ХИПС

SPFP

Пищевые системы.
Био- и здоровьесберегающие технологии



ХиПС

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 3 | 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

eISSN 2658-767X

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 агроинженерных систем;

06.00.00 — Сельскохозяйственные науки;

06.01.00 — Агрономия.

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 30.09.2022. Свободная цена.

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

SPFP

THEORETICAL AND RESEARCH & PRACTICE JOURNAL

№ 3 | 2022

Periodicity of publication — 4 issues per year
Published since 1993

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

EDITORIAL TEAM

Head of Editorial Team and Academic Editor —

Elena V. Tikhonova

Issue Editor — Nataliya M. Shlenskaya

Social Media and Product Editor — Anastasia A. Karnaukhova

ISSN 2072-9669

eISSN 2658-767X

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.

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 30.09.2022. Free price.

© FSBEI HE «Moscow State University of Food Production», 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 Ксенофонович	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, niimmp@mail.ru
Гудковский Владимир Александрович	доктор сельскохозяйственных наук, профессор академик РАН, Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина, info@fnc-mich.ru
Добровольский Виктор Францевич	доктор технических наук, НИИ пищекокцентратной промышленности и специальной пищевой технологии — филиал ФИЦ питания и биотехнологии, gnuniipspt@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@gosnihp.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
Кульнева Надежда Григорьевна	доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный университет инженерных технологий, ngkulneva@yandex.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. Bitukov	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, niimmp@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, gnuniippspt@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@gosnihp.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
Nadezhda G. Kulneva	Doctor of Technical Science, Professor, Voronezh State University of Engineering Technologies, ngkulneva@yandex.ru

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Главный редактор **БАЛЫХИН Михаил Григорьевич** — доктор экономических наук, профессор, ректор

Члены редакционного совета:

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 Николаевич	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, mer5@mail.ru
Неверов Евгений Николаевич	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 Николаевич	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.vsau.ru
Пасынкова Елена Николаевна	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 Николаевич	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 сыроделия» Московского государственного университета пищевых производств, tikhomirovaNA@mgupr.ru
Тужилкин Вячеслав Иванович	доктор технических наук, член-корреспондент РАН. ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», titov@mgupr.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@mgupr.ru

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief **Mikhail G. BALYKHIN** – Doctor of Economics, Professor, Rector

Members of the Editorial Board:

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. Ozherelev	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 Univerity, hramtsov@nsctu.ru
Mikhail P. Schetinin	Doctor of Technical Science, Professor, Moscow State University of Food Production, shchetininmihail@mgupp.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКТОРА

Александр Васильевич Акулич (к 65-летию со дня рождения)	8
Е. В. Тихонова, М. А. Косычева Заголовок научной статьи: лучшие практики конструирования	11

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

О. А. Подвигина, Л. Н. Путилина, Н. А. Лазутина Влияние лазерного облучения семян сахарной свёклы на продуктивность, технологическое качество и сохранность корнеплодов.	26
А. Б. Абуова, Н. Ж. Муслимов, А. И. Кабылда Показатели качества и безопасности нетрадиционных видов муки для производства безглютеновых макаронных изделий	40

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

Е. С. Бычкова, Е. М. Подгорбунских, Л. Н. Рождественская, В. А. Бухтояров, П. В. Кудачёва Разработка технологии хлебоулочных изделий с введением горохового гидролизата	56
--	----

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ И ПРОДУКЦИИ АПК

М. А. Царёва, Е. В. Казанцев, И. В. Протункевич, Е. Д. Горячева Исследование влияние предварительной обработки жома сахарной свёклы (<i>Beta vulgaris L.</i>) на молекулярную структуру лигнина	67
---	----

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

О. П. Свердлова, Н. Ю. Шарова, А. О. Причеп, С. И. Лоскутов, А. А. Принцева Идентификация аборигенной микрофлоры пшеничных отрубей: Бактериальные изоляты — потенциальные промышленные продуценты	78
А. Н. Петров, Т. Ю. Кондратенко О введении принципа насыщающей дополнительной ферментативного процесса в методологию глубокой переработки растительного сырья.	93
Т. Н. Занданова Исследование пробиотических свойств бактериального концентрата	109

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

А. А. Гончарова, В. И. Ущеповский, И. Э. Миневич Влияние продуктов переработки семян конопли на потребительские свойства мучных кондитерских изделий	120
Е. М. Щетинина, Н. Б. Гаврилова, Н. Б. Чернопольская, М. П. Щетинин Мягкий сыр на основе козьего молока для специализированного питания.	134
К. Н. Нициевская, Е. В. Бородай, С. В. Станкевич Возможность применения хвои пихты (<i>Abies sibirica</i>) в технологии получения овощного соуса из плодов тыквы (<i>Cucurbita moschata Duch</i>)	147
И. В. Калинина, Н. В. Науменко, Р. И. Фаткуллин, Н. В. Попова, Е. Е. Науменко Оценка эффективности инкапсуляции полифенолов в клетки дрожжей <i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	161

СЫРЬЕ И ДОБАВКИ

Мазукабзова Э. В. , Зайцева Л. В. Влияние плодовоовощных порошков на кристаллизационные и реологические свойства кондитерской глазури	170
---	-----

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ НАУКИ В АПК

А. В. Акулич, М. Н. Костюченко, М. Г. Балыхин, Т. Д. Самуйленко, И. И. Шапошников Особенности рынка хлебопечения и перспективные направления развития хлебопекарной отрасли Беларуси и России	187
---	-----

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ И НОВЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ

Ф. А. Кулиев, М. М. Баширов, С. И. Магеррамова, М. А. Магеррамов Исследование биологической особенности и химического состава кинкана (<i>Fortunella Swingle</i>), прорастающего в Азербайджанской Республике и пути использования его как продукта питания	210
---	-----

CONTENT

EDITORIAL

Alexander V. Akulich (congratulation on the 65th birthday)	8
Elena V. Tikhonova, Marina A. Kosycheva Research Paper Title: Best Design Practices	12

THEORETICAL ASPECTS OF FARM PRODUCTS STORAGE AND PROCESSING

Olga A. Podvigina, Lyudmila N. Putilina, Nadezhda A. Lazutina Influence of Laser Radiation Treatment of Sugar Beet Seeds on Productivity, Technological Quality and Safety of Beet Roots	27
Altynay B. Abuova, Nurzhan Zh. Muslimov, Anar I. Kabylda Quality and Safety Indicators of Non-Traditional Types of Flour for the Production of Gluten-Free Pasta	41

PHYSICAL AND CHEMICAL METHODS OF FARM RAW MATERIAL PROCESSING

Elena S. Bychkova, E.M. Podgorbunskikh, L.N. Rozhdestvenskaya, Vladimir A. Buchtoyarov, Polina V. Kudacheva Development of Technology for Bakery Products with the Introduction of Pea Hydrolyzate.	56
--	----

RESEARCH ON TRAITS OF SUBSTANCES AND AGRIBUSINESS PRODUCTS

Maria A. Tsareva, Egor V. Kazantsev, Irina V. Protunkevich, Elena D. Goryacheva Study on the Effect of Sugar Beet Pulp Pretreatment (<i>Beta Vulgaris L.</i>) on the Molecular Structure of Lignin.	68
--	----

BIOTECHNOLOGICAL AND MICROBIOLOGICAL ASPECTS

Olga P. Sverdllova, Nataliya Yu. Sharova, Artem O. Prichepa, Svetoslav I. Loskutov Identification of Native Microflora of Wheat Bran: Bacterial Isolates are Potential Industrial Producers	79
Andrey N. Petrov, Tatyana Yu. Kondratenko Introduction the Principle of Saturation Additionality for Enzymatic Process into the Methodology of Plant Raw Materials Complete Processing	94
Tuyana N. Zandanova Probiotic Properties Study of Bacterial Concentrate.	110

DESIGNING AND MODELLING THE NEW GENERATION FOODS

Agata A. Goncharova, Valentin I. Uschapovsky, Irina E. Minevich The Influence of Hemp Seed Processing Products on Consumer Properties of Flour Confectionery Products.	121
Elena M. Shchetinina, Natalya B. Gavrilova, Natalya L. Chernopolskaya, Mikhail P. Shchetinin Soft Cheese Based On Goat's Milk For Specialized Nutrition.	135
Ksenia N. Nitsievskaya, Elena V. Borodai, Svetlana V. Stankevich The Possibility of Fir's Needles (<i>Abies sibirica</i>) Application in the Pumpkin-based (<i>Cucurbita moschata Duch.</i>) Vegetable Sauce Production Technology	148
Irina V. Kalinina, Natalya V. Naumenko, Rinat I. Fatkullin, Natalia V. Popova, Ekaterina E. Naumenko Evaluation of Encapsulation Efficiency of Polyphenols in the Cells of the Yeast of <i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	162

RAW MATERIALS AND ADDITIVES

Ella V. Mazukabzova, Larisa V. Zaitseva The Effect of Fruit and Vegetable Powders on the Crystallization and Rheological Properties of Confectionery Glaze.	171
---	-----

URGENT PROBLEM OF SCIENCE DEVELOPMENT IN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Alexander V. Akulich, Marina N. Kostyuchenko, Mikhail G. Balykhin, Tatyana D. Samuylenko, Igor I. Shaposhnikov Features of the Bakery Market and Promising Directions of Development of the Baking Industry in Belarus and Russia	188
--	-----

USING SECONDARY RESOURCES AND NEW TYPES OF RAW MATERIALS

Farman A. Guliyev, Miraziz M. Bashirov, Sevinj I. Maharramova, Mikail A. Maharramov Study of the Biological Characteristics and Chemical Composition of Kinkan (<i>Fortunella Swingle</i>), Sprouting in the Republic of Azerbaijan and Ways of Using it as a Food Product	211
---	-----

Александр Васильевич Акулич

(к 65-летию со дня рождения)

Alexander V. Akulich

Congratulation on the 65th birthday



24 октября 2022 года исполняется 65 лет известному ученому, проректору по научной работе Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий, доктору технических наук, профессору, заслуженному изобретателю Республики Беларусь, академику Международной академии холода

АЛЕКСАНДРУ ВАСИЛЬЕВИЧУ АКУЛИЧУ

Александр Васильевич родился 24 октября 1957 года в деревне Переколь Кличевского района Могилевской области. После окончания в 1972 году с похвальной грамотой 8 классов Перекольской СШ поступил в Молодечненский политехникум. В 1976 году окончил с отличием политехникум и начал трудовую деятельность слесарем-ремонтником Минского хлебозавода № 5. В этом же году поступил в Могилевский технологический институт, который окончил с отличием в 1981 году по специальности «Машины и аппараты пищевых производств», и, связав свою судьбу с институтом, начал работу в должности инженера научно-исследовательского сектора.

С 1983 по 1986г. обучался в аспирантуре Московского государственного текстильного института им. А.Н. Косыгина по специальности «Процессы и аппараты химической технологии». В июле 1987 года успешно защитил кандидатскую диссертацию. Работал в Могилевском технологическом институте в должностях ассистента, а затем доцента кафедры теплохладотехники. В 1990 году ему присвоено ученое звание доцента.

С 1996 по 1999г. обучался в докторантуре Московской государственной текстильной академии им. А.Н. Косыгина. Александр Васильевич первый из выпускников Могилевского технологического института в 41 год защитил докторскую диссертацию. С 1999 года продолжил работу в альма-матер в должностях профессора, а с 2003 года – заведующего кафедрой теплохладотехники. В 2003 году ему присвоено ученое звание профессора. С 2006 года – проректор по научной работе университета.

А.В. Акулич плодотворно занимается научной работой в области теории и техники закрученных потоков и разработкой аппаратов с активной гидродинамикой для пищевой и химической промышленности. В этой области он смог раскрыть свой интеллектуальный потенциал. Постоян-

но руководит госбюджетными и хоздоговорными научно-исследовательскими работами, занимается внедрением разработок в производство, является активным изобретателем. В 2001 году Указом Президента Республики Беларусь профессору Акуличу А.В. присвоено почетное звание «Заслуженный изобретатель Республики Беларусь».

По итогам конкурса 2001 года среди талантливых молодых ученых Акулич А.В. был стипендиатом Президента Республики Беларусь, награжден дипломом лауреата конкурса в области науки Московского государственного текстильного университета им. А.Н. Косыгина.

Александр Васильевич внес значительный теоретический и практический вклад в развитие научных исследований в области вихревых потоков, создание научно-педагогической школы по процессам и аппаратам. Дар фундаментального мышления со склонностью к изобретательству позволяют ему создавать новые научные подходы и технические решения, которые внедряются в промышленности. Под руководством А.В. Акулича выполнен ряд заданий в различных государственных научных программах: в ГПОФИ «Энергия» 39, ГППИ «Сушка» 10, ГКПНИ «Тепловые процессы» 76, ГПНИ «Энергоэффективность» 2.1.5, 2.1.35, ГПНИ «Инновационные технологии в АПК» 5.14; ГПНИ «Энергобезопасность, энергоэффективность и энергосбережение, атомная энергетика» 2.2.28; ГПНИ «Энергетические системы, процессы и технологии» 2.33, 2.77; ГПНИ «Энергетические и ядерные процессы и технологии» 2.10, ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» 5.8. Он принимал активное участие в разработке и реализации республиканской программы оснащения предприятий концерна «Белгоспищепром» машинами и оборудованием.

А.В. Акулич является председателем Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций при Белорусском государственном университете пищевых и химических технологий. Им организовано издание научно-методического журнала «Вестник Могилевского государственного университета продовольствия», в настоящее время «Вестник Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий», который признан ВАК как рецензируемое издание для опубликования результатов диссертационных исследований по пи-

щевым технологиям и оборудованию. В настоящее время А.В. Акулич выполняет обязанности главного редактора журнала, является членом редколлегии ряда научных и производственных журналов, издаваемых в Республике Беларусь и за рубежом: Пищевая промышленность (Москва); Хранение и переработка сельхозсырья (Москва); Пищевая наука и технологии (Одесса); Пищевая промышленность: наука и технологии (Минск).

А.В. Акулич – автор более 500 научных и учебно-методических работ, в т.ч. 2 монографий, 1 учебника и 3 учебных пособий с грифом Министерства образования Республики Беларусь, 70 авторских свидетельств и патентов. Подготовил 4-х кандидатов наук и 2 диссертации готовятся к защите. Является научным консультантом 3-х докторантов. Внедрил в производство более 60 вихревых пылеуловителей и сушилок различных типов и модификаций.

Крупным научным достижением А.В.Акулича является сформулированные и доказанные на большом научном материале теоретические основы создания новых классов комбинированных и многофункциональных аппаратов на основе взаимодействующих вихревых потоков, разработанные на их базе оригинальные эффективные способы и конструкции пылеулавливающих и сушильных аппаратов для пищевых дисперсных материалов, защищенные авторскими свидетельствами СССР, патентами Российской Федерации и Республики Беларусь, а также Евразийскими патентами и прошедшие широкую промышленную апробацию путем внедрения на промышленных предприятиях концерна «Белгоспищепром». За последние годы А.В. Акулич разработал и внедрил вихревые противочувствительные пылеуловители, групповые вихревые пылеуловители большой производительности и комбинированные аппараты на ОАО «Мозырь-соль», ОАО «Красный Мозырянин», ОАО «Лида-пищеконцентраты» и других перерабатывающих предприятиях республики.

А.В. Акулич внес существенный вклад в развитие международного научно-технического сотрудничества и проводит большую научно-организационную работу, принимает активное участие в международных конференциях и симпозиумах, является организатором и председателем Международной научной конференции «Техника и технология пищевых производств». Неоднократно выступал с до-

кладами и представлял научные разработки на международных выставках и ярмарках в Болгарии, Германии, России, Китае, Корее, ОАЭ, Италии, Казахстане, Сербии, Иране и других странах.

А.В. Акулич является членом комитета по сушке Российской Федерации и стран СНГ от Республики Беларусь, членом рабочей комиссии Научно-образовательного консорциума вузов и НИИ Республики Беларусь и Республики Казахстан, членом научно-технического совета концерна «Белгоспищепром», членом Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций при Белорусском государственном технологическом университете, членом Ассоциации предприятий индустрии микроклимата и холода, членом экспертного совета по проведению ведомственной научно-технической экспертизы проектов (работ, мероприятий), претендующих на финансирование за счет средств инновационного фонда Могилевского областного исполнительного комитета.

За многолетнюю плодотворную работу по развитию научных исследований, активную изобретательскую деятельность и подготовку научно-педагогических кадров высшей квалификации Александр Васильевич награжден Почетными грамотами

Совета Министров Республики Беларусь (2008), Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь (2009), ВАК Республики Беларусь (2008), Национальной академии наук Беларуси (2014), Министерства образования Республики Беларусь (2006, 2017), Могилевского облисполкома (2007, 2013), Могилевского горисполкома (2017), концерна «Белгоспищепром» (2017, 2018). В 2008 году удостоен персональной надбавки Президента Республики Беларусь за выдающийся вклад в социально-экономическое развитие Республики Беларусь. В 2012 г. награжден нагрудным знаком «Отличник образования». Постановлением Президиума Национальной академии наук Беларуси от 11 октября 2016 года № 47 Акулич А.В. удостоен диплома лауреата премии имени академика А.В. Лыкова. В 2019 году награжден медалью «За трудовые заслуги». Эти награды — достойное признание добросовестного труда Александра Васильевича.

Александра Васильевича знают как высококвалифицированного специалиста, человека, отличающегося масштабностью мышления, перспективностью видения проблем и задач, пользующегося большим авторитетом и уважением у преподавателей, сотрудников и студентов университета, коллег-ученых и производственников.

*Искренне желаем славному юбиляру долголетия, здоровья,
новых творческих успехов и благополучия.*

Академики РАН, отделение сельскохозяйственных наук;
редакция журнала "Хранение и переработка сельхозсырья"

УДК 004.91

Заглавие научной статьи: лучшие практики конструирования

¹ Московский государственный
университет пищевых производств

Е. В. Тихонова¹, М. А. Косычева¹

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Тихонова Елена Викторовна
Адрес: Москва, 125080,
Волоколамское шоссе, 11
E-mail: etihonova@mgupr.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Тихонова, Е. В., & Косычева, М. А. (2022).
Заглавие научной статьи: лучшие
практики конструирования. *Хранение
и переработка сельхозсырья*, (3), 11–25.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.374>

ПОСТУПИЛА: 02.09.2022

ПРИНЯТА: 15.09.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. Являясь одним из самых значимых элементов структурной организации эмпирической статьи, её заглавие имеет свои структурные, функциональные и стилистические особенности. Заглавие призвано точно отражать суть исследования, оставаясь лаконичным и понятным для читателя. Формулирование заглавия является одним из самых сложных этапов написания научной статьи и, к сожалению, авторам не всегда удается добиться его эффективного прочтения. Отсюда необходимым является изучение стратегий конструирования заглавия научной статьи.

Цель. Проанализировать структурные особенности заглавий научных статей и описать лучшие практики их конструирования.

Материалы и методы. На основании анализа заглавий статей из российских журналов по пищевой и перерабатывающей промышленности за 2019–2022 год были выявлены наиболее распространенные стратегии формулирования заглавий научных статей у российских авторов.

Результаты. Представлен анализ характеристик заглавий. Описаны стратегии формулирования заглавий. Проанализирован чек-лист и этапы формулирования заглавий. Даны комментарии относительно типичных недочетов при формулировании заглавий.

Выводы. Материал данной редакционной статьи поможет авторам оптимизировать стратегии формулирования заглавий научных статей и будет способствовать их продвижению в наукометрических базах данных и повышению их цитируемости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

заглавие научной статьи, стратегии формулирования заглавия, структурные особенности заглавия, характеристики заглавия

Research Paper Title: Best Design Practices

Moscow State University of Food
Production

Elena V. Tikhonova, Marina A. Kosycheva

CORRESPONDENCE:

Elena V. Tikhonova

E-mail: etihonova@mgupp.ru

FOR CITATIONS:

Tikhonova, E. V., & Kosycheva, M. A.
Research Paper Title: Best Design
Practices. *Storage and Processing
of Farm Products*, (3), 11-25.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.374>

RECEIVED: 02.09.2022

ACCEPTED: 15.09.2022

PUBLISHED: 30.09.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction. Being one of the most significant elements of the structural organization of a research article, its title has its own structural, functional and stylistic distinctions. The title should accurately reflect the essence of the study, while remaining concise and understandable to the reader. Research article title design is one of the most difficult stages of research article writing and, unfortunately, the authors do not always manage to enhance its efficient perception. Hence, it is necessary to study the strategies for a research article title design.

Purpose. The editorial aims at analyzing the structural features of the research articles titles and describing their best design practices.

Materials and Methods. Based on the analysis of research article titles from Russian journals on the food and processing industry from the period of 2019–2022, the most common strategies for the design of research articles titles by Russian authors were identified.

Results. The analysis of the title characteristics is presented. Strategies for title design are described. The checklist and stages of the research article title design are analyzed. Comments regarding typical shortcomings in the research article title design are given.

Conclusions. The material of this editorial will help the authors optimize their strategies for research article title design and will enhance their visibility in scientometric databases and increase their citation.

KEYWORDS

research article title, strategies for formulating a title, structural features of a title, title characteristics

ВВЕДЕНИЕ

Функция заглавия

Постоянное приращение потока информации, «интернетизация» коммуникации и ее «прагматизация» обуславливают рост значимости корректного формулирования заглавия статьи (Рябцева, 2018). Заглавие — один из важнейших коммуникативно значимых элементов структурной организации любого, в том числе научного, текста, обладающий функциональными, стилистическими, прагматическими и другими характеристиками. Его первостепенная функция — выражать основную идею статьи, представлять ее тему и привлекать к ней внимание читателя (Hallock & Bennet, 2021). Для читателя заглавие является критически значимой точкой контакта с текстом статьи на этапе принятия решения о возможности ее прочтения (Goodman et al., 2001; Hartley 2005; Pearson, 2021). Иными словами, заглавие задает перспективу изложения и настраивает читателя на восприятие текста особым образом.

Заглавие научной статьи должно представлять собой особый вид текста — краткий, понятный и информативный. К факторам, определяющим особенности конструирования заглавий статей относятся объект исследования, персональный стиль автора, сложившиеся академические традиции конкретной страны, а также специфика области исследования. Рекомендованная длина заглавия — 15 слов. Подавляющее большинство (98 %) заглавий статей носят номинативный (назывной) характер. 2 % заглавий имеют субъектно-предикатную структуру¹, будучи в основном, вопросительными. Средняя длина слова в заглавии — около 7 символов. Существительные, служебные слова и прилагательные выступают как наиболее частотные части речи в заглавиях. Числительные, наречия и глаголы — наименее частотны. Самыми распространенными пунктуационными знаками являются дефис, запятая и двоеточие (Hartley, 2005; Филясова, 2020; Hyland & Zou, 2022).

В настоящее время исследование эффективной структуры заглавия статьи, как правило, сводится к показателям её успешности, измеряемой количеством просмотров и цитирований текста статьи

(Rostami et al., 2014; Nair & Gibbert, 2016). В частности, в максимальное внимание исследователей получили длина заглавия, использование двоеточий и сокращений (Jacques & Sebire, 2010), вопросительных знаков (Ball, 2009; Haggan, 2004), юмористическое измерение (Michel, 2017), клише (Goodman, 2012). И это далеко не полный список.

Характеристики заглавий

Типология и структура заглавия

Активно исследуется влияние типа заглавия статьи на количество её цитирований и загрузок (Jamali & Nikzad, 2011). Наиболее частотными исследователи называют следующие типы заглавий статей: утвердительные (представляют основные выводы исследования в форме утверждения, описательные/нейтральные (описывают предмет исследования) и вопросительные (представляют основные акценты исследования в вопросительной форме). Hartley (2005) выделил 13 типов заглавий:

- (1) Заглавия, обобщающие тему. Например,
 - *Характеристика сортов и гибридов хурмы восточной (Diospyros kaki L.) по признакам продуктивности.*
 - *Разработка технологии пищевой добавки на основе соевого сырья биотехнологической модификации.*
 - *Применение ягод красной смородины в качестве осно вы льдов пищевых.*
- (2) Заглавия, конкретизирующие основную тему исследования. Например,
 - *Кератиказы Streptomyces и Bacillus: свойства и направления использования.*
 - *Овощеводство открытого грунта юга России. Состояние и тенденции развития.*
 - *Особенности селекции томата в Приамурье. Итоги и перспективы.*
- (3) Заглавие-вопрос. Например,
 - *Какой должна быть экономика России?*
 - *Риски организации: угроза или возможность?*

¹ Под субъектно-предикатной структурой понимают наличие главных членов предложения: субъекта (подлежащего) и предиката (сказуемого).

(4) Заглавие, указывающее на результаты исследования. Например,

- *Качественные характеристики мяса кроликов при включении в рацион экстракта эхинацеи пурпурной (Echinacea purpurea L.).*
- *Результаты исследования технических характеристик отходов зерновых культур, применяемых в качестве биотоплива.*
- *Гибриды огурца, рекомендуемые для выращивания в защищенном грунте в условиях искусственного освещения.*

(5) Заглавие, свидетельствующее, что будет дан ответ на вопрос. Например,

- *Возможности использования листьев культивируемого цикория обыкновенного (Cichorium intybus L.) в качестве лекарственного растительного сырья.*
- *Эффективность применения различных видов удобрений и способов их использования при выращивании арбуза столового.*
- *Обоснование и разработка кисломолочных продуктов, обогащенных ламинарией.*

(6) Заглавие, указывающее направление аргументации автора. Например,

- *Молочнокислые микроорганизмы, создающие оптимальные стартовые условия для процесса ферментации капусты белокочанной.*
- *Качество и оптимальный срок лежкости капусты белокочанной позднего срока созревания.*

(7) Заглавие, акцентирующее методологию исследования. Например,

- *Потенциометрическая сенсорная система на основе модифицированных толстопленочных электродов для определения антиоксидантной активности напитков.*
- *Определение токоферолов в соевой окаре методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.*

- *Фотометрический метод в исследованиях реакции устойчивости сортов картофеля к азотному стрессу.*

(8) Заглавие-руководство. Например,

- *10 способов объединить логический и художественный типы мышления.*

(9) Заглавие, построенное с акцентом на эффекте неожиданности. Например,

- *Смертельный кислород².*

(10) Заглавие, построенное на аллитерации³. Например,

- *Ключевая функция Банка России: противоречия и проблемы.*

(11) Заглавие, построенное на аллюзии⁴. Например,

- *Мусорные акции: сыр в мышеловке или алмаз без огранки.*
- *Бюджетная политика в 2019–2021 гг.: между Сциллой и Харибдой.*

(12) Заглавие-каламбур⁵. Например,

- *«Оцифрована-околдована». Университет в эпоху цифры и ее культурного осмысления.*

(13) Заглавие, которое интригует. Например,

- *Микробиом и биохакинг: парадигма управления здоровьем.*
- *Энтомоиндустрия черной львинки.*
- *Тренды и перспективы создания стартап-единорогов.*

Достаточно часто исследователи приходят к противоположным выводам, трактуя предпочтительный тип заглавия. Например, отдельные авторы указывают, что заглавия, сформулированные как вопрос, как правило, получают мало цитат (Paiva et al., 2012). Им противостоят результаты исследований, обосновавших, что названия, сформулированные в виде вопроса, привлекают потенциальную ауди-

² При первом прочтении может показаться, что статья о проблемах окружающей среды, когда на самом деле в ней рассказывается о взрыве баллонов с кислородом.

³ **Аллитерация** — это особый стилистический прием, основанный на повторении согласных звуков для придания тексту большей музыкальности и выразительности.

⁴ **Аллюзия** — стилистическая фигура, содержащая указание, аналогию или намёк на некий литературный, исторический, мифологический или политический факт, закреплённый в текстовой культуре или в разговорной речи.

⁵ **Каламбур** — литературный приём с использованием в одном контексте разных значений одного слова или разных слов, или словосочетаний, сходных по звучанию.

торию к чтению и поиску ответа на вопрос, поставленный в названии (Haggan, 2004; Hyland, 2002).

Корпусные исследования свидетельствуют, что авторы склонны к длинным и информативным заглавиям (Cheng et al., 2012; Moattarian и Alibabae, 2015; Pearson, 2020). Например,

- (1) *Влияние добавки муки из корнеклубней сортов батата (Ipomoea batatas Lam.) с окрашенной мякотью на хлебопекарные и потребительские качества пшеничного хлеба.*
- (2) *Исследование качества и безопасности мяса диких животных, полученного в условиях биоценоза Белоосиповского ртутного месторождения.*

Вместе с тем, не рекомендуется включать в заглавия слова «исследование», «влияние». Читателю важно понимать методологию исследования, характеристики влияния, а не получать неинформативный контент. Иными словами, если заглавие содержит слова, которые хочется уточнить и конкретизировать, то их лучше заменить.

Особенно распространены заглавия, состоящие из двух сегментов (Cheng et al., 2012; Lewison & Hartley, 2005; van Wesel et al., 2014). Такое заглавие предлагает широкий спектр возможностей для исследователей, которые подбирают привлекательные, информативные заглавия для своих исследовательских текстов. Например,

- (1) *Трансформационная модель качества электронных услуг: теоретическое обоснование.*
- (2) *Бытовые машины для поддержания гигиены быта: эффективность, энергосбережение и экологический дизайн.*

Как правило, первый сегмент заявляет тему, а второй — конкретизирует ее (может описывать дизайн исследования, его методологию, участников, регион проведения исследования) (Cheng et al. 2012; Moattarian & Alibabae 2015; Pearson, 2020). Двусегментные заглавия зачастую «смешивают» различные типы заглавий. Jacques & Sebire (2010) установили, что заглавия с двоеточиями цитируются чаще. Использование двоеточий в заглавии статьи — это инструмент, который позволяет авторам представлять больший объем информации максимально организованным способом⁶. Составные заглавия

обычно используются для краткого представления взаимосвязи между двумя частями, составляющими заглавие (Swales & Feak 1994). Buter & Van Raan (2011) также обнаружили положительную корреляцию между наличием небуквенно-цифровых символов в заглавиях, таких как дефис и двоеточие, с частотой цитирования, однако, отметили, что другие важные факторы, такие как авторитет авторов, престиж журнала и продолжительность публикации, могут положительно повлиять на количество цитирований, и эти факторы должны приниматься во внимание.

Номинативные конструкции

Популярны заглавия, которые содержат информацию, выраженную существительными с определениями до и после определяемого слова: номинативные конструкции (Cheng et al., 2012 ; Moattarian & Alibabae, 2015; Pearson, 2020). Например,

- (1) *Биотехнологические аспекты подготовки ферментированных сливок для обогащения творожного продукта пробиотическими культурами.*
- (2) *Повышение урожайности дыни в теплице при вегетативной прививке на подвое кабачка.*

Номинативными (назывными) называются односоставные безглагольные предложения, обозначающие предметы, явления, состояния, мыслимые или имеющиеся в действительности с главным членом, выраженным именительным падежом существительного (номинативом). В формировании номинативных предложений основную роль играют слова, называющие явления и предметы, которые поддаются наглядно-чувственному восприятию. Номинативные конструкции, как правило, фиксируют предпосылки исследования (Bavdekar, 2016). Этот тип заглавия представляет собой фрагмент предложения, а не полное предложение; он основан на словосочетаниях с существительными и не содержит избыточных глаголов. Такой тип заглавия только указывает на то, что описывается в статье, но не дает никакой информации о выводах.

Длина заглавия

Длина заглавия имеет различное прочтение в контексте его эффективности. С одной стороны, согласно проведенным исследованиям, более краткие

⁶ Интересно, что в контексте академического письма в теле статьи рекомендовано избегать предложений с двоеточием или точкой с запятой внутри. Они трактуются как неумение автора четко изложить мысль.

заглавия в различных дисциплинах, как правило, получают больше цитирований (Gnewuch & Wohlrabe 2017; Subotic & Mukherjee 2014, Paiva, Lima & Paiva, 2012). Эти результаты позволяют предположить, что многие читатели отдают первенство лаконичности, а не информативности заглавия. Однако многие исследования свидетельствуют об обратном (Jacques & Sebire, 2010; Milojevic, 2017), или указывают, что такая взаимосвязь не была установлена (Nair & Gibbert, 2016; Pearson 2020).

Представим достаточно типичную ситуацию: исследователь подбирает источники для обзора предметного поля. Маловероятно, что его обрадует длинный список статей с броскими короткими заглавиями, на основании которых сложно судить о содержании статьи. Ему необходимо будет даже на этапе предварительного скрининга списка открывать каждую статью, чтобы ознакомиться с аннотацией и понять, имеет ли смысл оставлять статью в списке источников.

Конвенции разных сфер научного знания тоже определяют авторские предпочтения в сфере формулирования заглавий статей. Habibzadeh & Yadollahie (2010) и Jacques & Sebire (2010) зафиксировали, что статьи с более длинными заглавиями имеют более высокое количество цитирований в журналах по общей медицине и в междисциплинарных журналах. В психологии, например, был обнаружен противоположный эффект: статьи с более короткими заглавиями имели более высокое количество цитирований (Subotic & Mukherjee, 2014).

Но, даже привязывая длину заглавия к конвенциям конкретной области знания, исследователи рассуждают преимущественно о простоте для понимания и четкой фокусировке коротких заглавий (Paiva et al., 2012; Subotic & Mukherjee, 2014), или же, наоборот, о количестве информации, доступной в более длинных заглавиях, способной обусловить большее количество просмотров и цитирований (Habibzadeh & Yadollahie, 2010; Jacques & Sebire, 2010; Hallock & Dillner, 2016; Moody, 2006; Whissell, 2012). В любом случае, важно следить, чтобы заглавие не было скучным из-за информационной пе-

регруженности, но в то же время отражало содержание статьи, с чем не могут справиться слишком короткие заглавия (Hartley, 2005).

Креативность заглавия

Стремление сформулировать «необычные» заглавия статей также не всегда является оправданным. Например,

- (1) *Бифуркация⁷ корпоративного управления: традиционная и инновационная логика.*

Юмор в тексте заглавия, например,

- (1) *Фантастические дрожжи и где они обитают: потаённое разнообразие диморфных грибковых патогенов (Fantastic yeasts and where to find them: the hidden diversity of dimorphic fungal pathogens).*
- (2) *Как рождественский ужин с тёщей влияет на состав кишечной микробиоты (The effect of having Christmas dinner with in-laws on gut microbiota composition)⁸* (Subotic & Mukherjee, 2014).

и новые слова, например,

- (1) *Кринж по-русски: англицизмы в ментальном лексиконе билингвов* (Stremersch et al., 2007).

далеко не всегда помогают авторам получить дополнительное количество цитирований, так как при поиске необходимого исследования читатели, как правило, пользуются традиционными ключевыми словами, и подобные статьи могут оказаться за пределами поиска.

Использование метафор и аллитераций (*Мусорные акции: сыр в мышеловке или алмаз без огранки*) и игра слов (*Now take this PIL (Patient Information Leaflet)* (Keating et al., 2019; Lockwood, 2016)⁹ могут оказать медвежью услугу, не привлекая внимание читателя к тексту статьи, а скорее подрывая авторитет авторов (Sagi & Yechiam, 2008). Подобные заглавия в восприятии читателей могут стать символом стремления замаскировать слабую методологию, ограниченные результаты или неубедительные аргументы (Keating et al., 2019). Более того, креатив-

⁷ Термин, заимствованный из синергетики, означает «раздвоенность», «точку перехода от хаоса к порядку».

⁸ Флешмоб этого лета: ученые выкладывают смешные названия статей (2019). <https://22century.ru/allsorts/81323>

⁹ Игра слов заключается в одинаковом произнесении аббревиатуры PIL и английского слова «pill» — лекарство. Выражение «take a pill» переводится как «принять лекарство».

ность трудна для восприятия не носителями языка (Hartley, 2005).

Результаты в фокусе

Статьи с заглавиями, описывающими результаты исследования, цитируются чаще, чем статьи, описывающие методы исследования, так как они представляют более исчерпывающую информацию, позволяющую судить о релевантности статьи (Paiva et al., 2012). Например,

- (1) *Стимулирование корнеобразования при черенковании винограда сортов Виктория и Коринка русская действием калиевой соли индол-3-уксусной кислоты.*
- (2) *Влияние регуляторов роста на сроки созревания, урожайность и качество дыни среднеспелого сорта Осень.*

Второй пример также описывает результат исследования, но при этом авторы не указали, какое именно влияние регуляторы роста имеют на определенные показатели. Использование более точных слов значительно усилило бы его эффективность.

Интерес к подобным заглавиям может обусловлен стремлением читателей оперативно найти необходимую информацию. Зачастую всё, что хотят знать читатели, это именно основные результаты исследования. Однако, Hyland & Zou (2022) пришли к выводу, что представление результатов в заглавии не побуждает читателей ознакомиться со статьей дальше.

География в фокусе

Отсылка к конкретной географической точке в заглавии статьи возможно приводит к потере потенциальных цитат, поскольку читатели могут игнорировать информацию, которая, по их мнению, связана только с конкретным регионом или страной (Jacques & Sebire, 2010; Paiva et al., 2012). Например,

- (1) *Обследование гидротехнических сооружений Ахмат-Лавровского водохранилища Краснокутского муниципального района Саратовской области при оценке их безопасности.*

Отсылки к конкретной области могут ограничивать возможность применения результатов конкретного исследования в других регионах.

Упоминание места проведения исследования должно быть обусловлено обоснованной необходимостью. Но следует помнить, что такая мера считается необходимой только в том случае, если это обосновано социально-экономическими условиями или культурной традицией упомянутой страны и непосредственно оказывать влияние на результат исследования. Иначе, авторы сознательно ограничивают свою потенциальную читательскую аудиторию и снижают потенциальную значимость полученных результатов. Например,

- (1) *Анализ потребительского спроса при выборе плавленых сыров на рынке города Орла.*
- (2) *Сравнительная оценка результатов селекции винограда и биопрепаратов, применяемых при его выращивании в условиях Южного Урала.*

Аббревиатуры в заголовке

Рекомендуется избегать аббревиатур и сокращений в заглавиях, поскольку их наличие может обусловить трудности со считыванием информации (Debakey & Debakey, 1983; Gastel & Day, 2016; Hyland & Zou, 2022). Например,

- (1) *Применимость маркеров ISAP, ISSR и SSR в селекционных программах томата.*

Однако, отдельные исследования зафиксировали и иной тренд. Jacques & Sebire (2010) продемонстрировали, что статьи с аббревиатурами в названии цитировались чаще, чем статьи без сокращений в названиях. Авторы предполагают, что аббревиатуры могут легче распознаваться, в сравнении с их расшифровкой, и использоваться в качестве поискового запроса. Вместе с тем, речь идет скорее о тех аббревиатурах которые имеют однозначное прочтение независимо от области знания и являются общепринятыми на международном уровне. Подавляющее же число аббревиатур имеет разную расшифровку в разных предметных областях.

Использование аббревиатур в заглавии, за исключением общепринятых (ДНК, АПК, ПЦР, FDA, FAO, ВОЗ) или известных акронимов (ФАОСТАТ, UNESCO), следует избегать. Читатель, не знакомый с ними, не владеющий техническим жаргоном или не знающий сложных химических формул и т. п., может при поиске пропустить статью. Более того, нестандартные аббревиатуры и акронимы создают проблемы при индексации.

Инновационность в фокусе

Иногда авторы пытаются словами «инновационный подход», «первое в предметной области исследование» и др. привлечь внимание читателя. Например,

- (1) *Инновационный подход к разработке пищевых продуктов, ориентированных на потребителя;*
- (2) *Инновационный и конкурентный потенциал пищевых продуктов направленной эффективности;*
- (3) *Финансовые и инновационные решения для реализации инвестиционных программ в электроэнергетическом комплексе Российской Федерации.*

И это ошибочный ход! Именно читатель на основании прочтения рукописи должен судить о степени инновационности описанного подхода и его потенциальном вкладе в существующее по теме знание. Для рецензентов и редакторов подобные заявления скорее являются маркером низкой академической культуры авторов (Ball, 2015; Vinkers et al., 2015).

Стратегии формулирования заглавия

Эффективное заглавие статьи должно быть информативным, прямым, логичным, вовлекающим и не обещающим того, чего автор в тексте статьи не освещает. Заглавие статьи не должно содержать сокращений и числовых значений параметров (Bavdekar, 2016). Рекомендовано включать в него наиболее значимые ключевые слова, используемые для эффективной индексации рукописи в базах данных. Они должны быть лаконичными и уместными (Grant, 2013).

Сформулирован целый ряд рекомендаций, позволяющих усилить эффективность заглавия статьи. Swales & Feak (1994) рекомендуют в обязательном порядке указывать: (1) тему исследования, (2) предметную область исследования, (3) следить за считываемостью информации для читателей конкретной предметной области. Большая часть исследователей рекомендуют авторам делать заглавия короткими, избегать иронии, жаргона и юмора и стремиться сделать их четкими, информативными и конкретными (Hartley, 2005; Hyland & Zou, 2022).

Milind S. Tullu (2019) предлагают следующий алгоритм формулирования заглавия. В качестве первого шага они призывают описать содержание статьи в нескольких предложениях (достаточно трех). При

этом важно не сосредоточиваться на результатах исследования, а следить за тем, чтобы эти предложения содержали в себе ключевые слова и важные научные термины по теме, которые помогут раскрыть содержание статьи и ее предмет. В качестве второго шага предполагается объединение сформулированных предложений в одно, удаление избыточных слов, прилагательных, обобщающих фраз. Цель — добиться точности и краткости в изложении информации.

Ряд журналов предъявляют четкие требования к заглавиям статей. К числу таковых может относиться обязательное упоминание дизайна исследования с разбивкой заглавия на две части. Например, *Перспективы разработки твёрдых дисперсных систем антибиотиков: обзор предметного поля*. Дизайн исследования помогает читателю понять основной фокус и потенциал исследования, экономит время на формирование первого впечатления об успешности исследования. Редакции журналов *Nature* и *BMJ* указывают в информации для авторов, что заглавия должны занимать две строки и не содержать технических терминов, сокращений и активных глаголов. Например, *Snap and trap: DNA panels click together to form tiny virus catchers. Modular materials can be programmed to self-assemble into hollow shells with a wide variety of shapes* (Щелчок и ловушка: панели ДНК соединяются вместе, образуя крошечные ловушки для вирусов. Модульные материалы можно запрограммировать на самосборку в полые оболочки самых разных форм). Журнал *Cell* выдвигает требование о том, что заглавие должно отражать концептуальную значимость исследования для широкой аудитории. Также указывается, что наиболее эффективные заглавия не превышают 10–12 слов. Например, *Adaptive sequence divergence forged new neurodevelopmental enhancers in humans* (Дивергенция адаптивной последовательности создала новые стимуляторы нейроразвития у человека).

Отдельные издания не рекомендуют включать в заглавие описание участников / материалы исследования, применяемые методы, используемые сравнения или полученные результаты. Однако, многие авторы не следуют этим рекомендациям и продолжают использовать упомянутые сведения в заглавиях, как позволяющие наиболее прицельно описать суть проведенного исследования. Например,

- (1) *Сухие безглютеновые смеси с использованием риса и амаранта для детей старше трех лет с непереносимостью глютена.*

- (2) *Разработка дегустационных шкал для оценки качества холодных рыбных закусок.*
- (3) *Исследование повышения температуры частичек, образующихся при ультразвуковом измельчении листьев шпината.*

Упоминания размеров выборки или периода времени, затраченного на исследование, также должны быть оправданы. Например,

- (1) *Сравнительная характеристика пожаров и их последствий в сельской и городской местностях в 2019–2020 гг. с учётом общих сведений по ним.*

Авторы поясняют указание хронотопа тем, что цель их статьи – дать сведения по сравнительной характеристике пожаров и их последствий в сельской и городской местностях за 2019–2020 гг. Авторы на основе анализа конкретной ситуации и результатов исследований предлагают концепцию превентивной профилактики, базирующейся на инновационных методологических решениях и методах и средствах их реализации¹⁰.

Milind S. Tullu (2019) предлагает чек-лист хорошего заголовка:

1. Заголовок должен быть простым и понятным.
2. Он должен быть интересным и информативным.
3. Он должен быть конкретным, точным и функциональным (с необходимыми научными «ключевыми словами» для индексации).

4. Он должен быть кратким, точным и содержать основную тему статьи.
5. Он не должен вводить в заблуждение или искажать.
6. Он не должен быть слишком длинным или слишком коротким (или загадочным).
7. Следует избегать причудливых или забавных слов.
8. Следует избегать нестандартных сокращений и ненужных аббревиатур (или технического жаргона).
9. Заголовок должен включать предпосылку исследования, участников, методологию, конечный результат и дизайн.
10. Место проведения исследования и размер выборки следует указывать только в том случае, если это увеличивает научную ценность заголовка.
11. Важные термины / ключевые слова должны быть размещены в начале заголовка.
12. Описательные заголовки предпочтительнее декларативных или вопросительных.
13. Авторы должны придерживаться количества слов и других инструкций, указанных в целевом журнале.

Проанализируем базовые этапы формулирования заголовка, позволяющие отследить все пункты приведенного чек-листа и оптимизировать получившийся вариант заголовка.

Таблица 1

Этапы формулирования заголовка

Этап	Эволюция заголовка
Ответьте на вопросы: В чем специфика моего исследования? Какой ключевой результат я освещаю?	Статья посвящена исследованию, в рамках которого мы обнаружили, что студенты, склонные к потере концентрации внимания, принимая витамин D и занимаясь спортом, существенно улучшили свою способность к концентрации.
Ответьте на вопросы: Какова процедура исследования? Кто участники исследования?	Исследование представляет собой случайную выборку клинических испытаний, которое продолжалось 5 лет. В исследовании приняли участие 1500 пациентов¹¹ в возрасте от 18 до 22 лет, обратившихся в клиники по поводу сложностей с концентрацией внимания.
Определите ключевые слова и фразы для своего исследования.	рандомизированное клиническое исследование низкая концентрация внимания витамин D занятия спортом снижение концентрации внимания у студентов

¹⁰ Вместе с тем, цель включения хронотопа в заголовок не очевидна. Ранее подобные пожары не были характерны для региона? Они не охватывали такие значительные территории? Почему о профилактике заговорили только сейчас?

¹¹ Отметим, речь идет о гипотетическом исследовании с искусственно упрощенными результатами.

Этап	Эволюция заголовка
Вычленили ключевые аспекты в ответах на вышеуказанные вопросы, которые должны быть отражены в заголовке.	Пациенты с высоким риском снижения концентрации внимания, принимавшие витамин D и занимавшиеся спортом на регулярной основе, улучшили свою способность к концентрации на 27 %.
Составьте черновой вариант заголовка, включающий всю необходимую информацию.	В рамках клинического исследования, основанного на случайной выборке, у пациентов от 18 до 22 лет с высоким уровнем потери концентрации, которые принимали витамин D и регулярно занимались спортом, улучшили свою способность к концентрации на 27 %.
Перестройте заголовок таким образом, чтобы наиболее важная информация шла сначала. Используйте такие слова, которые позволяют передать максимально конкретную информацию (например, «уменьшает», а не «влияет»). Придайте заголовку форму утверждения, не используйте «пустые» фразы типа «Эффекты того то...».	Приём витамина D в совокупности с регулярными занятиями спортом снижает риск потери концентрации на 27 % у пациентов от 18 до 22 лет, у которых ранее фиксировался высокий риск потери концентрации в клиническом исследовании, основанном на случайной выборке.
Пересмотрите предложение, чтобы удалить лишние слова, которые отвлекают от информативной составляющей заголовка. Перепишите заголовок, чтобы уменьшить количество слов.	Витамин D в совокупности с занятием спортом уменьшают риск потери концентрации внимания у пациентов с высоким риском её снижения: клиническое исследование на основе случайной выборки. Витамин D в совокупности с занятием спортом снижают падение концентрации внимания у пациентов, склонных к децентрации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Предпосылки исследования

Зачастую заглавия российских авторов неинформативны и функционально неэффективны. Они не позволяют судить о реальном вкладе автора(ов) в исследуемую проблематику, не освещают фокус исследования, его методологию. Типичные примеры, «*Перец сладкий — полезный продукт*», «*К вопросу о высшем образовании*». Подобный подход воспринимается подготовленным читателем в качестве сигнала о низком уровне экспертности автора(ов) в теме и может быть воспринят как руководство НЕ знакомиться с текстом статьи. Логика проста: если автор не способен сформулировать эффективное заглавие, шансы, что текст статьи окажется значимым вкладом в развитие знания в предметной области очень низкие.

Источники

С целью анализа типичных стратегий российских авторов в формулировании заголовков были проанализированы заголовки статей российских авторов из журналов «Индустрия питания», «Техника и технология пищевых производств», «Аграр-

ный научный журнал», «Овощи России», «Вестник российского экономического университета имени Г. В. Плеханова», опубликованные с 2019 по 2022 год. Данные журналы входят в перечень ВАК и являются достаточно популярными и публикуют статьи по проблематике пищевой и перерабатывающей промышленности.

Процедура исследования

На первом этапе исследования методом сплошной выборки были отобраны заглавия статей для анализа. На втором этапе исследования все заглавия были распределены по типам. На третьем был произведен анализ их функциональности и эффективности с точки зрения предложенных стратегий формулирования заглавий.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ типичного подхода многих российских авторов, исследующих пищевую проблематику во всех ее измерениях, к формулированию заглавий для статей позволил зафиксировать ряд достаточно хрестоматийных акцентов.

Согласуясь с результатами исследования Tullu (2019), утверждающего, что описательные или нейтральные заглавия позволяют читателям непредвзято толковать выводы исследования, российские авторы отдают предпочтение именно таким заглавиям. Последние, вместе с тем, зачастую не отличаются креативностью, а их преобладающее большинство представлено номинативными конструкциями. Например,

- (1) *Изучение функционально-технологических свойств сиропы сахарного сорго и его использование в технологии мороженого;*
- (2) *Перспективы возделывания яровой пшеницы в условиях засушливого Поволжья;*
- (3) *Создание новых форм томата с генами устойчивости к грибным болезням на основе маркерной селекции.*

Заглавия (1) и (2) не в полной мере раскрывают для читателей потенциал статьи. Заглавие (3) значительно более функционально, но «полировка» первой его части еще более усилила бы его потенциал в трансляции вклада авторов в существующее в предметном поле знание.

Часть авторов формулируют заглавие в виде предложения. Например, *Жаростойкий сорт перца демонстрирует высокие показатели хлорофилла, фотосинтеза, устьичной проводимости и транспирации в режиме теплового стресса на стадии развития плодов*¹². Категорически не рекомендуется следовать указанной практике, поскольку формат предложения предполагает наличие избыточных слов, которые затрудняют понимание интенции авторов и превышают допустимый объем заглавия, несмотря на то, что Soler (2007) в своей классификации грамматических конструкций заглавий выделяет полные предложения в качестве заглавия.

Широко распространены и двусоставные конструкции, вторая часть которых конкретизирует исследование. Например,

- (1) *Налоговая задолженность местных бюджетов: масштабы и возможности сокращения.*
- (2) *Инновации и цифровизация российской экономики: проблемы и ограничения.*
- (3) *Опыт мировых банкротств: причины и решения;*

- (4) *Методы машинного обучения в малом бизнесе: содержание и управление.*
- (5) *Стратегическое планирование в Российской Федерации: теория, практика, методология.*
- (6) *Реклама и спам в электронной коммерции: повышение доверия.*
- (7) *Энергетическая ценность вин: сравнительная характеристик.*
- (8) *Специализированный продовольственный продукт с направленным системным действием: инновационные технологические решения, оценка эффективности.*
- (9) *Цифровая платформа: новая бизнес-модель в экономике России.*

Результаты нашего анализа согласуются с утверждениями Hyland & Zou (2022), что детализированные заглавия более информативны. Однако, в проанализированных изданиях нам не встретились двусоставные заглавия статей, которые бы описывали дизайн или методологию исследования. Отсюда, авторы не используют потенциал двусоставных заглавий в полную мощь. Подобное уточнение является лишь частичным, не дает читателям всю необходимую информацию, и не способствует, тем самым, прозрачности и оптимизации научной коммуникации.

В заглавиях крайне частотно встречаются слова — «особенности», «аспекты», «изучение», «исследование», «влияние». Например,

- (1) ***Изучение** структуры сбережений и инвестиций на примере выборочных фермерских хозяйств.*
- (2) ***Изучение** изолятов *Phytophthora infestans* Mont. de Bary в посадках картофеля.*
- (3) ***Особенности** товародвижения на предприятиях общественного питания.*
- (4) *Основные **аспекты** создания специализированных кондитерских изделий для питания детей дошкольного и школьного возраста.*
- (5) ***Особенности** использования белкового концентрата из зерен овса в технологии получения творожного продукта для спортивного питания.*
- (6) *Биотехнологические **аспекты** подготовки ферментированных сливок для обогащения творожного продукта пробиотическими культурами.*

¹² *Heat-tolerant pepper cultivar exhibits high rates of chlorophyll, photosynthesis, stomatal conductance and transpiration in heat stress regime at fruit developing stage.* Статья публиковалась на английском языке. Здесь и далее перевод авторский.

- (7) *Влияние природных регуляторов роста «Эколарикс» и «Биоларикс» на ранние этапы морфогенеза мягкой пшеницы.*
- (8) *Влияние типа телосложения на продуктивное долголетие коров.*
- (9) *Исследование и обоснование критерия оценки однородности кормосмесей.*
- (10) *Влияние процесса микронизации на содержание микронутриентов в пшенице и фасоли обыкновенной.*
- (11) *Доклинические исследования безопасности жирового компонента детских адаптированных сухих молочных смесей.*

В большинстве случаев это пустые слова, не способствующие уточнению сути описываемого исследования. Какое влияние изучается? О каком исследовании речь? Какие особенности попали в фокус? И это только первые вопросы, которые возникают при прочтении подобных заглавий.

Заглавия-вопросы также имеют хождение в российской научной периодике. Например,

- (1) *Переводы мигрантов: средство экономического роста? Какой должна быть экономика России?*
- (2) *Риски организации: угроза или возможность?*

Как правило, вопрос сопровождается ответом. В таком контексте подобное заглавие работает весьма эффективно, что согласуется с результатами исследования Nyland & Zou (2022), которые полагали, что вопросы подразумевают некую интерактивность разговорного дискурса и привлекают внимание читателя. Однако заглавие в форме вопроса, вне двучленной структуры — малоэффективен. Надежда авторов побудить читателя ознакомиться с текстом статьи, чтобы найти ответ на озвученный вопрос, как правило, не оправдывается. В ситуации ограниченного временного промежутка на ознакомление с доступными исследованиями по теме, читатель отдаст предпочтение более информативным заглавиям. Тем более, что наиболее частотно такие заглавия «обещают» намного больше, чем описывает исследование.

Популярны и заглавия, «обещающие» инновации, новые подходы и прорывные исследования. Например,

- (1) *Новое направление животноводства Ставрополья.*

- (2) *Инновационные технологии очистки сточных вод для ресурсосберегающей деятельности комбикормовых предприятий.*
- (3) *Селекционные линии огурца — перспективный материал при создании новых сортов для открытого грунта юга России.*

Остается только согласиться с результатами опубликованных ранее исследований в том, что подобные заглавия скорее свидетельствуют об амбициях авторов, нежели о реальном прорыве и поворотных точках в исследовании (Ball, 2015). Лишь время, валидация и апробация представленных результатов смогут ответить, насколько новаторским был подход авторов.

В проанализированных выпусках журналов не встречаются заглавие-руководство, а также заглавие, построенное на основе эффекта неожиданности. Для русскоязычного научно-технического дискурса не характерно и использование стилистических приемов, таких как аллюзия, аллитерация и каламбур, в формулировании заглавия. Только три проанализированных заглавия были построены через образность. Например,

- (1) *Россия расправила крылья. Феноменология развертывания глобального системного противоречия современной эпохи.*
- (2) *Мусорные акции: сыр в мышеловке или алмаз без огранки.*
- (3) *Бюджетная политика в 2019–2021 гг.: между Сциллой и Харибдой.*

ВЫВОДЫ

Формулирование заглавия статьи требует тщательного подхода и следования устоявшимся конвенциям в предметной области исследования. Всегда лучше ориентироваться на наиболее авторитетные журналы в своей тематике: стратегии конструирования текста, которые редакции предлагают авторам своих журналов, эффективны и повышают качество научной коммуникации. Редакционные статьи журналов также являются значимым источником информирования читателей и потенциальных авторов о наиболее значимых тенденциях в указанной сфере. Данная статья преследует именно эту цель.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Тихонова Е. В.: концептуализация; методология; администрирование данных; создание черновика рукописи; создание рукописи и её редактирование; визуализация; руководство исследованием; администрирование проекта.

Косычева М. А.: верификация данных; формальный анализ; проведение исследования; создание рукописи и её редактирование.

ЛИТЕРАТУРА

- Рябцева Н. К. (2018). Особенности названий научных статей на русском и английском языке : контрастивный аспект. *Научный диалог*, 6, 32–42. <https://doi.org/10.24224/2227-1295-2018-6-32-42>
- Рябцева Н. К. (2018). Название как доминантный компонент научного текста: русско-английские межъязыковые «несоответствия». *Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 2: Языкознание*, 17(2), 33–43. <https://doi.org/10.15688/jvolsu2.2018.2.4>
- Филясова, Ю. А. (2020). Лингвистический анализ английских названий научных статей по нефтегазовой тематике. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Теория языка. Семантика. Семастика*, 11(1), 120–134. <https://doi.org/10.22363/2313-2299-2020-11-1-120-134>
- Ball, P. (2015). ‘Novel, amazing, innovative’: Positive words on the rise in science papers. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/nature.2015.19024>
- Ball, R. (2009). Scholarly communication in transition: The use of question marks in the titles of scientific articles in medicine, life sciences and physics 1966–2005. *Scientometrics*, 79(3), 667–679. <https://doi.org/10.1007/s11192-007-1984-5>
- Bavdekar, S. B. (2016). Formulating the Right Title for a Research Article. *The Journal of the Association of Physicians of India*, 64(2), 53–56.
- Buter, R. K., & van Raan, A. F. (2011). Non-alphanumeric characters in titles of scientific publications: An analysis of their occurrence and correlation with citation impact. *Journal of Informetrics*, 5(4), 608–617. <https://dx.doi.org/10.1016/j.joi.2011.05.008>
- Cheng, S. W., Kuo, C. W., & Kuo, C. H. (2012). Research article titles in applied linguistics. *Journal of Academic Language and Learning*, 6(1), A1–A14.
- Debaek, S., & Debaek, L. (1983). The title. What’s in a name? *International Journal of Cardiology*, 2(3–4), 401–406.
- Fumani, M. R. F. Q., Goltaji, M., & Parto, P. (2015). The impact of title length and punctuation marks on article citations. *Annals of Library and Information Studies*, 62(3), 126–132.
- Gastel, B., & Day, R. A. (2016). *How to prepare the title. In How to write and publish a scientific paper* (8th ed., pp. 41–46). Cambridge University Press.
- Gnewuch, M., & Wohlrabe, K. (2017). Title characteristics and citations in economics. *Scientometrics*, 110(3), 1573–1578. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-2216-7>
- Goodman, R. A., Thacker, S. B., & Siegel, P. Z. (2001). A descriptive study of article titles in peer-reviewed medical journals. *Science Editor*, 24, 75–78.
- Habibzadeh, F., & Yadollahie, M. (2010). Are shorter article titles more attractive for citations? Cross-sectional study of 22 scientific journals. *Croatian Medical Journal*, 51(2), 165–170. <http://dx.doi.org/10.3325/cmj.2010.51.165>
- Haggan, M. (2004). Research paper titles in literature, linguistics and science: Dimensions of attraction. *Journal of Pragmatics*, 36(2), 293–317.
- Hallock, R. M., & Bennett, T. N. (2021). I’ll Read That!: What Title Elements Attract Readers to an Article? *Teaching of Psychology*, 48(1), 26–31. <https://doi.org/10.1177/0098628320959948>
- Hallock, R. M., & Dillner, K. M. (2016). Should title lengths really adhere to the American psychological association’s twelve word limit? *American Psychologist*, 71(3), 240.
- Hartley, J. (2005). To attract or to inform: What are titles for? *Journal of Technical Writing and Communication*, 35, 203–213.
- Hartley, J. (2007a). Colonic titles. *Journal of the European Medical Writers Association*, 16(4), 147–149.
- Hartley, J. (2007b). Planning that title: Practices and preferences for titles with colons in academic articles. *Library and Information Science Research*, 29(4), 553–568.
- Hyland, K. (2002). What do they mean? Questions in academic writing. *Text*, 22(4), 529–557.
- Hyland, K., & Zou, H. (2022). Titles in research articles. *Journal of English for Academic Purposes*, 56, 101094. <https://doi.org/10.1016/j.jeap.2022.101094>
- Jacques, T. S., & Sebire, N. J. (2010). The impact of article titles on citation hits: An analysis of general and specialist medical journals. *JRSM Short Reports*, 1(1), 2.
- Jamali, H. R., & Nikzad, M. (2011). Article title type and its relation with the number of downloads and citations. *Scientometrics*, 88(2), 653–661.
- Keating, D. M., Richards, A. S., Palomares, N. A., Banas, J. A., Joyce, N., & Rains, S. A. (2019). Titling practices and their implications in communication research 1970–2010: Cutesy cues carry citation consequences. *Communication Research*, 1–22. <https://doi.org/10.1177/0093650219887025>
- Lewis, G., & Hartley, J. (2005). What’s in a title? Numbers of words and the presence of colons. *Scientometrics*, 63(2), 341–356
- Li, Z., & Xu, J. (2019). The evolution of research article titles: The case of journal of pragmatics 1978–2018. *Scientomet-*

- rics, 121(3), 1619–1634. <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03244-3>
- Lockwood, G. (2016). Academic clickbait: Articles with positively-framed titles, interesting phrasing, and no word-play get more attention online. *The Winnower*, 1–13. <https://doi.org/10.15200/winn.146723.36330>
- Michel, A. (2017). Do funny article titles garner more citations? *APS Observer*, 30(4).
- Milojević, S. (2017). The length and semantic structure of article titles — evolving disciplinary practices and correlations with impact. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 2, 1–10. <https://doi.org/10.3389/fma.2017.00002>.
- Moattarian, A., & Alibabae, A. (2015). Syntactic structures in research article titles from three different disciplines: Applied linguistics, civil engineering, and dentistry. *Journal of Teaching Language Skills*, 7(1), 27–50.
- Moody, J. (2006). Trends in sociology titles. *The American Sociologist*, 37(1), 77–80.
- Nair, L.B., Gibbert, M. (2016). What makes a ‘good’ title and (how) does it matter for citations? A review and general model of article title attributes in management science. *Scientometrics*, 107, 1331–1359. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-1937-y>
- Paiva, C. E., Lima, J. P. S. N., & Paiva, B. S. R. (2012). Articles with short titles describing the results are cited more often. *Clinics*, 67(5), 509–513. [https://doi.org/10.6061/clinics/2012\(05\)17](https://doi.org/10.6061/clinics/2012(05)17)
- Pearson, W. S. (2020b). Research article titles in written feedback on English as a second language writing. *Scientometrics*, 123(2), 997–1019. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03388-7>
- Pearson, W. S. (2021). Quoted speech in linguistics research article titles: Patterns of use and effects on citations. *Scientometrics*, 126(4), 3421–3442. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03827-5>
- Rostami, F., Mohammadpoorasl, A., & Hajizadeh, M. (2014). The effect of characteristics of title on citation rates of articles. *Scientometrics*, 98(3), 2007–2010.
- Sagi, I., & Yechiam, E. (2008). Amusing titles in scientific journals and article citation. *Journal of Information Science*, 34(5), 680–687.
- Stremersch, S., Verniers, I., & Verhoef, P. C. (2007). The quest for citations: Drivers of article impact. *Journal of Marketing*, 71(3), 171–195.
- Soler, V. (2007). Writing titles in science: An exploratory study. *English for Specific Purposes*, 26(1), 90–102.
- Subotic, S., & Mukherjee, B. (2014). Short and amusing: The relationship between title characteristics, downloads, and citations in psychology articles. *Journal of Information Science*, 40(1), 115–124.
- Swales, J., & Feak, C. B. (2012). *Academic writing for graduate students. A course for nonnative speakers of English*. The University of Michigan Press.
- van Wesel, M., Wyatt, S., & ten Haaf, J. (2014). What a difference a colon makes: How superficial factors influence subsequent citation. *Scientometrics*, 98, 1601–1615. <https://doi.org/10.1007/s11192-013-1154-x>
- Vinkers, C. H., Tjeldink, J. K. & Otte, W. M. (2015). Use of positive and negative words in scientific PubMed abstracts between 1974 and 2014: retrospective analysis. *BMJ*, 351, h6467. <https://doi.org/10.1136/bmj.h6467>
- Whissell, C. (2012). The trend toward more attractive and informative titles: American psychologist 1946–2010. *Psychological Reports*, 110(2), 427–444.
- Xie, S. (2020). English research article titles: Cultural and disciplinary perspectives. *SAGE Open*, 10(2) <https://doi.org/10.1177/2158244020933614>

REFERENCES

- Ryabtseva, N. K. (2018). Features of the titles of scientific articles in Russian and English: A contrastive aspect. *Nauchnyj dialog [Scientific dialogue]*, 6, 2–42. <https://doi.org/10.24224/2227-1295-2018-6-32-42>
- Ryabtseva, N. K. (2018). Name as a dominant component of a scientific text: Russian-English interlingual «inconsistencies». *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 2, Yazykoznanie [Bulletin of the Volgograd State University. Series 2, Linguistics]*, 17(2), 33–43. <https://doi.org/10.15688/jvolsu2.2018.2.4>
- Filyasova, Yu. A. (2020). Linguistic analysis of English titles of scientific articles on oil and gas topics. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Teoriya yazyka. Semiotika. Semantika [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Theory of language. Semiotics. Semantics]*, 11(1), 120–134. <https://doi.org/10.22363/2313-2299-2020-11-1-120-134>.
- Ball, P. (2015). ‘Novel, amazing, innovative’: Positive words on the rise in science papers. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/nature.2015.19024>
- Ball, R. (2009). Scholarly communication in transition: The use of question marks in the titles of scientific articles in medicine, life sciences and physics 1966–2005. *Scientometrics*, 79(3), 667–679. <https://doi.org/10.1007/s11192-007-1984-5>
- Bavdekar, S. B. (2016). Formulating the Right Title for a Research Article. *The Journal of the Association of Physicians of India*, 64(2), 53–56.
- Buter, R. K., & van Raan, A. F. (2011). Non-alphanumeric characters in titles of scientific publications: An analysis of their occurrence and correlation with citation impact. *Journal of Informetrics*, 5(4), 608–617. <https://dx.doi.org/10.1016/j.joi.2011.05.008>
- Cheng, S. W., Kuo, C. W., & Kuo, C. H. (2012). Research article titles in applied linguistics. *Journal of Academic Language and Learning*, 6(1), A1–A14.
- Debakey, S., & Debakey, L. (1983). The title. What's in a name? *International Journal of Cardiology*, 2(3–4), 401–406.
- Fumani, M. R. F. Q., Goltaji, M., & Parto, P. (2015). The impact of title length and punctuation marks on article citations. *Annals of Library and Information Studies*, 62(3), 126–132.
- Gastel, B., & Day, R. A. (2016). *How to prepare the title. In How to write and publish a scientific paper* (8th ed., pp. 41–46). Cambridge University Press.

- Gnewuch, M., & Wohlrabe, K. (2017). Title characteristics and citations in economics. *Scientometrics*, 110(3), 1573–1578. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-2216-7>
- Goodman, R. A., Thacker, S. B., & Siegel, P. Z. (2001). A descriptive study of article titles in peer-reviewed medical journals. *Science Editor*, 24, 75–78.
- Habibzadeh, F., & Yadollahie, M. (2010). Are shorter article titles more attractive for citations? Cross-sectional study of 22 scientific journals. *Croatian Medical Journal*, 51(2), 165–170. <http://dx.doi.org/10.3325/cmj.2010.51.165>
- Haggan, M. (2004). Research paper titles in literature, linguistics and science: Dimensions of attraction. *Journal of Pragmatics*, 36(2), 293–317.
- Hallock, R. M., & Bennett, T. N. (2021). I'll Read That!: What Title Elements Attract Readers to an Article? *Teaching of Psychology*, 48(1), 26–31. <https://doi.org/10.1177/0098628320959948>
- Hallock, R. M., & Dillner, K. M. (2016). Should title lengths really adhere to the American psychological association's twelve word limit? *American Psychologist*, 71(3), 240.
- Hartley, J. (2005). To attract or to inform: What are titles for? *Journal of Technical Writing and Communication*, 35, 203–213.
- Hartley, J. (2007a). Colonic titles. *Journal of the European Medical Writers Association*, 16(4), 147–149.
- Hartley, J. (2007b). Planning that title: Practices and preferences for titles with colons in academic articles. *Library and Information Science Research*, 29(4), 553–568.
- Hyland, K. (2002). What do they mean? Questions in academic writing. *Text*, 22(4), 529–557.
- Hyland, K., & Zou, H. (2022). Titles in research articles. *Journal of English for Academic Purposes*, 56, 101094. <https://doi.org/10.1016/j.jeap.2022.101094>
- Jacques, T. S., & Sebire, N. J. (2010). The impact of article titles on citation hits: An analysis of general and specialist medical journals. *JRSM Short Reports*, 1(1), 2.
- Jamali, H. R., & Nikzad, M. (2011). Article title type and its relation with the number of downloads and citations. *Scientometrics*, 88(2), 653–661.
- Keating, D. M., Richards, A. S., Palomares, N. A., Banas, J. A., Joyce, N., & Rains, S. A. (2019). Titling practices and their implications in communication research 1970–2010: Cutesy cues carry citation consequences. *Communication Research*, 1–22. <https://doi.org/10.1177/0093650219887025>
- Lewison, G., & Hartley, J. (2005). What's in a title? Numbers of words and the presence of colons. *Scientometrics*, 63(2), 341–356.
- Li, Z., & Xu, J. (2019). The evolution of research article titles: The case of journal of pragmatics 1978–2018. *Scientometrics*, 121(3), 1619–1634. <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03244-3>
- Lockwood, G. (2016). Academic clickbait: Articles with positively-framed titles, interesting phrasing, and no word-play get more attention online. *The Winnower*, 1–13. <https://doi.org/10.15200/winn.146723.36330>
- Michel, A. (2017). Do funny article titles garner more citations? *APS Observer*, 30(4).
- Milojević, S. (2017). The length and semantic structure of article titles — evolving disciplinary practices and correlations with impact. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 2, 1–10. <https://doi.org/10.3389/frma.2017.00002>
- Moattarian, A., & Alibabaei, A. (2015). Syntactic structures in research article titles from three different disciplines: Applied linguistics, civil engineering, and dentistry. *Journal of Teaching Language Skills*, 7(1), 27–50.
- Moody, J. (2006). Trends in sociology titles. *The American Sociologist*, 37(1), 77–80.
- Nair, L.B., Gibbert, M. (2016). What makes a 'good' title and (how) does it matter for citations? A review and general model of article title attributes in management science. *Scientometrics*, 107, 1331–1359. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-1937-y>
- Paiva, C. E., Lima, J. P. S. N., & Paiva, B. S. R. (2012). Articles with short titles describing the results are cited more often. *Clinics*, 67(5), 509–513. [https://doi.org/10.6061/clinics/2012\(05\)17](https://doi.org/10.6061/clinics/2012(05)17)
- Pearson, W. S. (2020b). Research article titles in written feedback on English as a second language writing. *Scientometrics*, 123(2), 997–1019. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03388-7>
- Pearson, W. S. (2021). Quoted speech in linguistics research article titles: Patterns of use and effects on citations. *Scientometrics*, 126(4), 3421–3442. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03827-5>
- Rostami, F., Mohammadpoorasl, A., & Hajizadeh, M. (2014). The effect of characteristics of title on citation rates of articles. *Scientometrics*, 98(3), 2007–2010.
- Sagi, I., & Yechiam, E. (2008). Amusing titles in scientific journals and article citation. *Journal of Information Science*, 34(5), 680–687.
- Stremersch, S., Verniers, I., & Verhoef, P. C. (2007). The quest for citations: Drivers of article impact. *Journal of Marketing*, 71(3), 171–193.
- Soler, V. (2007). Writing titles in science: An exploratory study. *English for Specific Purposes*, 26(1), 90–102.
- Subotic, S., & Mukherjee, B. (2014). Short and amusing: The relationship between title characteristics, downloads, and citations in psychology articles. *Journal of Information Science*, 40(1), 115–124.
- Swales, J., & Feak, C. B. (2012). *Academic writing for graduate students. A course for nonnative speakers of English*. The University of Michigan Press.
- van Wesel, M., Wyatt, S., & ten Haaf, J. (2014). What a difference a colon makes: How superficial factors influence subsequent citation. *Scientometrics*, 98, 1601–1615. <https://doi.org/10.1007/s11192-013-1154-x>
- Vinkers, C. H., Tijdink, J. K., & Otte, W. M. (2015). Use of positive and negative words in scientific PubMed abstracts between 1974 and 2014: retrospective analysis. *BMJ*, 351, h6467. <https://doi.org/10.1136/bmj.h6467>
- Whissell, C. (2012). The trend toward more attractive and informative titles: American psychologist 1946–2010. *Psychological Reports*, 110(2), 427–444.
- Xie, S. (2020). English research article titles: Cultural and disciplinary perspectives. *SAGE Open*, 10(2) <https://doi.org/10.1177/2158244020933614>

УДК 633.63:631.55:664.12

Влияние лазерного облучения семян сахарной свёклы на продуктивность, технологическое качество и сохранность корнеплодов

О. А. Подвигина, Л. Н. Путилина, Н. А. Лазутина

Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара имени А.Л. Мазлумова

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Подвигина Ольга Анатольевна

Адрес: 396030, Воронежская обл., п. ВНИИСС, д. 86

E-mail: tatyanaPodwigina@yandex.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Подвигина, О. А., Путилина, Л. Н., & Лазутина, Н. А. (2022). Влияние лазерного облучения семян сахарной свёклы на продуктивность, технологическое качество и сохранность корнеплодов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 26–39. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.335>

ПОСТУПИЛА: 06.06.2022

ПРИНЯТА: 10.07.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. В современных интенсивных технологиях возделывания сахарной свёклы применяют только дражированные семена с комплексом пестицидов в дражировочной массе. Молодые проростки сахарной свёклы сильно подвержены воздействию патогенной микрофлоры и погодных условий. Поэтому в данный период развития растений важно защитить их от вредоносных факторов и ускорить рост и развитие. Альтернативным методом решения данных задач служит применение низкоинтенсивного когерентного излучения. Ранее проведенные исследования на многих сельскохозяйственных культурах подтверждают стимулирующий эффект лазерного воздействия на первоначальный рост и развитие растений. Однако дальнейшее влияние фотоактивации мало изучено. Относительно сахарной свёклы встречаются единичные исследования.

Цель. Комплексное изучение влияния предпосевного лазерного облучения семян на дальнейший рост растений, технологические показатели корнеплодов и его последствий на сохранность сахарной свёклы.

Материалы и методы. Исследование реализовывалось в отделе семеноводства и семеноведения сахарной свёклы и лаборатории хранения и переработки сырья ФГБНУ «ВНИИСС имени А.Л. Мазлумова» (Воронежская область) в 2019–2022 гг. В качестве материалов для исследований были взяты дражированные семена отечественного гибрида сахарной свёклы РМС 127. Источником низкоинтенсивного когерентного излучения (НКИ) служила установка ЛОС-25А с плотностью мощности 3,185 Вт/м². Экспозиции лазерной обработки составляли 5, 10 и 15 минут. Контролем служили семена без обработки лазером.

Результаты. На момент уборки в вариантах с НКИ отмечено увеличение средней массы корнеплода на 4,5–15,9 %, снижение средней массы ботвы с делянки на 3,2–7,5 %, повышение биологической урожайности корнеплодов на 9,6–42,0 %, определен более низкий показатель отношения массы ботвы к массе корнеплодов (0,157–0,193) в сравнении с контролем. Выявлено увеличение относительно контроля сахаристости в вариантах с применением лазерной обработки семян на 0,11–0,60 абс. %, доли сахарозы в массе сухого вещества корнеплодов на 1,54–2,78 абс. %, уменьшение количества всех несахаров, увеличение прогнозируемого выхода сахара на 0,28–0,87 абс. % и коэффициента извлечения сахарозы на 0,92–2,03 абс. %. После 65 суток хранения в вариантах с предпосевным облучением семян сахарной свёклы (относительно контроля) установлено снижение общих и среднесуточных потерь массы корнеплодов на 13,4–27,7 % и на 13,2–28,1 % соответственно.

Выводы. Полученные данные позволяют рекомендовать технологию, основанную на применении низкоинтенсивного когерентного излучения, для дражированных семян сахарной свёклы с целью сокращения периода достижения биологической и технологической спелости культуры, повышения продуктивности, технологического качества и лёжкоспособности корнеплодов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

семена сахарной свёклы, лазерная обработка, морфометрические показатели, продуктивность, технологическое качество, лёжкоспособность корнеплодов

Influence of Laser Radiation Treatment of Sugar Beet Seeds on Productivity, Technological Quality and Safety of Beet Roots

Olga A. Podvigina, Lyudmila N. Putilina, Nadezhda A. Lazutina

Federal State Budgetary Scientific Institution "The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar"

CORRESPONDENCE:

Olga A. Podvigina

86, VNIIS, Voronezh region, 396030
E-mail: tatyanapodwigina@yandex.ru

FOR CITATIONS:

Podvigina, O. A., Putilina, L. L., & Lazutina, N. A. (2022). Influence of laser radiation treatment of sugar beet seeds on productivity, technological quality and safety of beet roots. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 26-39. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.335>

RECEIVED: 06.06.2022

ACCEPTED: 10.07.2022

PUBLISHED: 30.09.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background. In modern intensive technologies of sugar beet cultivation, only pelleted seeds with a complex of pesticides in pelleting mass are used. Young sugar beet seedlings are greatly susceptible to pathogenic microflora and weather conditions. Therefore, in this development period of plants, it is important to protect them from harmful factors and to accelerate their growth and development. Low-intensive coherent radiation serves as an alternative method to solve these problems. Earlier conducted investigations of many agricultural crops confirm stimulating influence of laser on initial growth and development of plants. However, further effect photoactivation has been little studied. As for sugar beet, there are very little investigations.

Purpose. A complex study of pre-sowing seed laser radiation influence on further growth of plants, technological characteristics of beet roots and its after-effect on safety of sugar beet was the aim of the investigations.

Materials and Methods. Experiments were carried out by the department of sugar beet seed-growing and the laboratory of raw material storage and processing, Federal State Budgetary Scientific Institution "The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar", in 2019–2022. Pelleted seeds of RMS 127, a domestic sugar beet hybrid, were used as materials for the investigations. The LOS-25A plant with power density of 3.185 W served as a source of low-intensive coherent radiation (LCR). Laser treatment exposures were 5, 10 and 15 minutes. Seeds without treatment served as a control.

Results. In variants with LCR, average beet root mass increase by 4.5–15.9 %, average beet tops' mass decrease by 3.2–7.5 %, and beet root biological yield increase by 9.6–42.0 % were recorded at the moment of harvesting. The lower ratio of beet tops' mass to beet root mass (0.157–0.193) was determined, as compared to the control. In the variants using laser treatment of seeds, there was noted an increase by 0.11–0.60 absolute % for sugar content and by 1.54–2.78 absolute % for sucrose percent in beet roots, in comparison with the control. Also, reduction of all non-sugars' quantity was revealed. As a result, predicted sugar output and sucrose extraction coefficient increased by 0.28–0.87 absolute % and 0.92–2.03 absolute %, accordingly. After 65 days of storage, decrease in total and daily average losses of beet mass root by 13.4–27.7 % and 13.2–28.1 %, accordingly, was determined in the variants with pre-sowing laser radiation of sugar beet seeds (as compared to the control).

Conclusions. The obtained data allow recommending the technology based on use of low-intensive coherent radiation for sugar beet pelleted seeds with the purpose to reduce the crop biological and technological maturation period, and to improve beet root productivity, technological quality and storage ability.

KEYWORDS

sugar beet seeds, laser treatment, morphometric characteristics, productivity, technological quality, beet root storage ability

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях сельскохозяйственного производства первостепенной задачей является получение наибольшей продуктивности возделываемых культур с высоким качеством продукции. Однако решить эту задачу без активного применения агрохимикатов и пестицидов невозможно. Но сократить их количество можно посредством использования физических методов воздействия на семена и растения, в частности, лазерного излучения.

За последние 40–45 лет количество исследований по изучению лазерного воздействия на многие сельскохозяйственные культуры значительно возросло. Экспериментально установлено, что низкая доза лазерного излучения приводит к увеличению биоэнергетического потенциала, стимуляции биохимических процессов, что способствует активному росту вегетативной массы и физиологического метаболизма, увеличивает толерантность растений за счет улучшения скорости прорастания, высоты растений, развития корневой системы, активизации фотосинтеза и т.д. В результате этого повышается урожайность культур и качество получаемой продукции (Москвин, 2008; Козьмин и соавт., 2013). Многочисленные испытания в хозяйствах показали, что повышение урожайности сои, кукурузы составило от 3 до 7 ц/га, овощных культур — от 0,7 до 3,2 кг/м², сахарной свёклы — от 20 до 40 ц/га. Отмечено также, что при этом ускорились сроки созревания продукции на 3–10 дней (Белозёрский & Золотарёва, 1981). Лазерная обработка усиливала адаптивные реакции проростков пшеницы при стрессовом воздействии засухи (5 дней без воды). При этом обработка семян лазером вызывала активный рост проростков и корня, увеличение их сухой массы на 21,8; 34,5; 11,5 и 25,0 % соответственно в сравнении с растениями без излучения (Qiu et al., 2017).

Лазерные технологии нашли широкое применение в овощеводстве и плодоводстве. Так облучение семян томата увеличило активность липазы в растениях в 1,5 раза, длину корней в 1,6 раза и урожай плодов на 24 % (Кособоков & Петров, 1978). Другие исследователи отмечали, что биохимические показатели томатов из облученных семян «превосходили контрольный уровень» (Karfalov et al., 1988), и произошедшие изменения физических характеристик плодов повышали их сопротивляемость механиче-

ским нагрузкам (Корер, 1995). Благотворное влияние лазерного излучения было обнаружено при облучении растений в процессе вегетации. Шестилетние исследования по облучению плодоносящих растений вишни гелий-неоновым лазером зафиксировали рост урожайности на 18 % при лучшем качестве плодов (Бельский А. И. & Бельский И. А., 1994).

Низкоинтенсивное когерентное излучение повышает сохранность плодов в период длительного хранения. Потери товарной продукции у различных сортов яблок через 120 дней хранения после лазерного облучения с экспозицией 16 секунд с плотностью мощности 0,5 Вт/м² составили 0,2–5,0 %, в контроле потери достигали 0,6–24,7 % соответственно (Менщиков, 2008). При созревании яблок ранних осенних сортов в годы с неблагоприятными погодными условиями обработка НКИ повышала выход здоровых плодов после 160 дней хранения в 1,4–2,5 раз, устойчивость их к физиологическим (загар, пухлость) и микробным заболеваниям, потери от гнилей сократились в 2–3 раза в сравнении с контролем. При лазерном облучении в области нажимов на плод значительно реже развивались деструктивные изменения его мякоти (Будаговский & Будаговская, 2008). Стимулирующий эффект от воздействия низкоинтенсивного когерентного излучения (НКИ) был получен и на съедобных грибах. Обработка вешенок и шампиньонов лазером в течение 8–18 минут повысила урожайность плодовых тел на 36–51 % (Поединок и соавт., 2003). При этом сокращалось время роста мицелия до первого плодоношения.

Позитивные результаты применения предпосевной лазерной обработки семян были отмечены и на сахарной свёкле. Трехлетние эксперименты по предварительной лазерной обработке семян с последующим их замачиванием в растворе микроэлементов достоверно показали повышение урожайности корнеплодов на 62,1–70,0 %, сахаристости — на 0,6–2,2 % (Гниломедов & Калугина, 1984). Результатом лазерного облучения семян сахарной свёклы явилось создание 2 диплоидных форм с повышенной сахаристостью, которые в течение двух поколений превосходили исходные материалы на 1,8–2,5 % при одинаковом весе корнеплодов (Плохих & Мацуцина, 1985). Положительные данные были получены Л. В. Брижанским (2015), когда средняя урожайность площадей с обработанными лазером семенами достигла 581 ц/га при урожайности контрольных участков 515 ц/га,

то есть прибавка урожая с каждого гектара в среднем составила 66 ц или 13 %. Повышение урожайности и сахаристости сахарной свёклы отмечали и другие исследователи (Ткачук & Боковой, 1984; Грицунов & Брижанский, 1978).

При лазерной обработке семян сахарной свёклы и картофеля отмечено увеличение плотности корнеплодов и клубней, что повышало их устойчивость к механическим повреждениям при уборке и перевозке, способствовало лучшей сохранности. Однако, все эти исследования отечественных ученых только констатировали факт повышения урожайности и сахаристости, не раскрывая причин. Польские исследователи Korpi et al. (1996) изучали химический состав корнеплодов сахарной свёклы после лазерной предпосевной обработки семян и отметили положительный эффект. Других печатных работ по изучению технологических качеств корнеплодов при фотоактивации семян лазером обнаружено не было.

Малоизученным аспектом является влияние последствий лазерного облучения семян сахарной свёклы на лёжкоспособность корнеплодов при хранении. Ранее проведенными исследованиями во Всероссийском НИИ сахарной свёклы и сахара установлено, что при хранении (октябрь — апрель) маточного материала, обработанного лазером, загнивание хвостовой (обломанной) части корнеплодов составляло в среднем 14,2 % от общего количества (на контрольном варианте данный показатель находился на уровне 26,8 %), степень израстания побегов колебалась в пределах 4,5–5,1 %, у необработанных корнеплодов данный показатель достигал 22,0 % (Сашенко, 2009). Также в институте проводилось изучение предпосевной обработки семян НКИ, в результате которого выявлен стимулирующий эффект облучения на их посевные качества (Подвигина и соавт., 2019), морфобиологическое развитие растений и технологическое качество корнеплодов (Путилина и соавт., 2020).

В данной статье описано проведение комплексного исследования влияния предпосевной лазерной обработки семян сахарной свёклы на морфобиологическое развитие растений, их продуктивность, технологические качества и лёжкоспособность корнеплодов в послеуборочный период. Цель исследования — изучить влияние предпосевого воздействия НКИ на семенной материал на дальней-

ший рост растений, технологические показатели корнеплодов и его последствие на сохранность сахарной свёклы. Изучение данных вопросов позволит повысить эффективность хранения корнеплодов на сахарных заводах и выработку сахара при переработке.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

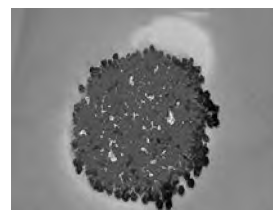
Опыты проводились в отделе семеноводства и семеноведения сахарной свёклы и лаборатории хранения и переработки сырья ФГБНУ «ВНИИСС имени А.Л. Мазлумова» (Воронежская область). В качестве материалов для исследований были взяты дражированные семена отечественного гибрида сахарной свёклы РМС 127.

Оборудование

Источником низкоинтенсивного когерентного излучения служила установка ЛОС-25А (Рисунок 1) любезно предоставленная А.В. Будаговским из Всероссийского НИИ генетики и селекции плодовых растений (г. Мичуринск) и собранная в данном институте в 2008 году. Мощность лазера установки 0,1 Вт, диаметр видимого пятна 0,1 м, плотность мощности излучения 3,185 Вт/м², длина волны красного света 632,8 нм.



А)



Б)

Рисунок 1.

Внешний вид лазерной установки ЛОС-25А (А) и семян в момент облучения (Б)

Экспозиции лазерной обработки составляли 5, 10 и 15 минут. Контролем служили дражированные семена без обработки лазером. Норма высева семян — 8 шт./м. Площадь опытной делянки — 56,7 м², повторность опыта 3-кратная.

Методы

На посевах сахарной свёклы проводили учет урожайности корнеплодов и листьев весовым методом (с учетных делянок) с пересчетом по методике ВНИС (Барштейн & Гизбулин, 1986), биологический сбор сахара, сбор очищенного сахара с 1 га посева — расчетным методом (Шпаар и соавт., 2004).

Оценка технологического качества корнеплодов сахарной свёклы включала определение сахаристости, содержания калия, натрия и α -аминного азота на автоматизированной линии *Betalyser*, редуцирующих веществ — методом Мюллера; растворимой золы — кондуктометрическим методом¹. На основании результатов анализа проб свёклы рассчитывали по Брауншвейгской формуле прогнозируемые потери сахара в мелассе, прогнозируемый выход сахара, коэффициент его извлечения и МБ-фактор (Шпаар и соавт., 2004).

Для оценки лёжкоспособности сахарной свёклы отобранные здоровые корнеплоды с нормальным тургором помещались в этикетированные мешки из мешковины и взвешивались. Пробы сахарной свёклы хранились в нерегулируемых условиях корневых хранилища ФГБНУ «ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова» 65 суток, после чего проводили химико-фитопатологический контроль корнеплодов (содержание проросших, увядших, загнивших корнеплодов; содержание гнилой массы)² и технологическую оценку (Шпаар и соавт., 2004).

Процедура исследования

На первом этапе исследований дражированные семена сахарной свёклы были подвергнуты лазерному излучению с экспозицией 5, 10, 15 минут

и посеяны в полевых условиях на делянках площадью 56,7 м² в 3-х кратной повторности. На следующем этапе в течение вегетационного периода (фаза 2 пар настоящих листьев, смыкание растений в рядах) проводились биометрические наблюдения и измерения — густота насаждения растений, среднее количество листьев на 1 растении, средняя площадь листовой поверхности, средняя масса 1 растения. Третий этап исследований проходил при уборке растений в конце сентября — начале октября и включал в себя весовые характеристики растений — густота насаждения растений, средняя масса 1 растения, средняя масса с 1 растения листьев и корнеплодов и расчет отношения массы ботвы к массе корнеплодов и урожайности корнеплодов с 1 га посевов. Заключительный этап исследований включал проведение анализа технологического качества корнеплодов после уборки и длительного хранения и расчет показателей прогнозируемого выхода сахара, потери сахара в мелассе, коэффициента извлечения сахара и МБ-фактор.

Анализ данных

Математическая обработка результатов опыта проведена методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову³, позволяющая определить достоверность полученных результатов на уровне 99,5 %.

Условия, в которых проводилось исследование

Погодные условия, сложившиеся в вегетационные периоды 2019–2021 годы, были неблагоприятными для активного роста корнеплодов сахарной свёклы. Все годы исследований характеризовались высокой температурой воздуха и малым количеством осадков (Таблица 1).

Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК) в основном колебался от слабо-засушливого до очень засушливого, за исклю-

¹ Инструкция по химико-техническому контролю и учету свеклосахарного производства. (1983). Киев: ВНИИСП.

² Там же.

³ Доспехов, Б. А. (2012). *Методика полевого опыта: (С основами статистической обработки результатов исследований): Учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям*. М.: Альянс.

Таблица 1.

Метеорологические условия вегетационного периода сахарной свёклы по данным метеостанции ФГБНУ «ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова», 2019–2021 гг.

Месяцы	Средняя температура воздуха, °С	Многолетняя температура воздуха, °С	Отклонение от средне-много-летнего значения	Сумма осадков за месяц, мм	Среднее многолетнее значение, мм	Отклонение от средне-много-летнего значения
2019 г.						
апрель	10,5	9,5	1,0	30,0	48,1	-1,9
май	18,5	17,3	1,2	42,6	52,1	-9,5
июнь	23,0	21,2	1,8	22,9	62,5	-39,6
июль	20,0	23,2	-3,2	70,1	59,5	10,6
август	20,4	22,2	-1,8	13,7	73,6	-59,9
сентябрь	14,3	15,4	-1,1	27,0	45,7	-18,7
2020 г.						
апрель	7,0	9,4	-2,4	15,9	52,8	-36,9
май	13,7	18,6	-4,9	50,1	59,2	-9,1
июнь	23,1	21,3	1,8	23,7	65,3	-41,6
июль	22,7	22,9	-0,2	34,5	66,6	-32,1
август	20,4	22,3	-1,9	5,7	82,3	-76,6
сентябрь	16,9	15,1	1,8	5,4	43,9	-38,5
2021 г.						
апрель	9,0	9,9	-0,9	70,0	48,6	21,4
май	17,1	18,0	-0,9	39,6	57,9	-18,3
июнь	21,7	21,6	0,1	65,8	56,9	8,9
июль	25,1	23,2	1,9	19,6	63,0	-43,4
август	24,6	21,8	2,8	15,4	67,0	-51,6
сентябрь	12,4	15,3	-2,9	84,5	39,8	44,7

Таблица 2.

Гидротермический коэффициент в вегетационные периоды, 2019–2021 гг.

Месяц	2019 г.		2020 г.		2021 г.	
	ГТК	Обозначение ГТК	ГТК	Обозначение ГТК	ГТК	Обозначение ГТК
апрель	1,0	слабо-засушливый	0,8	засушливый	2,6	влажный
май	0,7	очень засушливый	1,2	слабо-засушливый	0,7	засушливый
июнь	0,3	сухой	0,3	сухой	1,0	слабо-засушливый
июль	1,1	слабо-засушливый	0,5	очень засушливый	0,3	сухой
август	0,2	сухой	0,9	засушливый	0,2	сухой
сентябрь	0,6	очень засушливый	0,1	сухой	2,3	влажный

чением апреля и сентября 2021 года (Таблица 2). Но июль и август этого года были очень жаркими и сухими.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Фенологическими наблюдениями в начальный период роста и развития проростков, полученных из семян с лазерной обработкой, установлено, что за годы исследований полевая всхожесть семян была высокой и составляла в среднем по опытным вариантам при воздействии НКИ 5 минут 72,6 %, 10 минут — 75,5 %, 15 минут — 83,8 %, тогда как в контрольном варианте она была на уровне 75,7 %. Дальнейшие наблюдения за растениями в полевых условиях показали проявление стимулирующего эффекта лазерной обработки семян на развитие проростков. Так средняя масса 1 растения в фазу 2 пар настоящих листьев в опытных вариантах превышала контроль. Максимальное превышение было установлено в вариантах с 5 и 10-ти минутным воздействием НКИ (93,1 и 75,9 % соответственно) в 2020 году, чему способствовала прохладная и влажная погода.

К середине вегетационного периода (смыкание растений в рядах — середина июля) максимальное увеличение средней массы 1 растения отмечено в вариантах с применением лазера: в 2019 году при экспозиции 10 мин. — на 48,9 %, в 2020 году при экспозиции 10 мин. — на 40,5 %, в 2021 году при экспозиции 5 мин. — на 22,3 % относительно соответствующих контрольных вариантов (267,6, 479,1 и 166,5 г.) (Таблица 3).

Стимулирующий эффект воздействия НКИ отмечен и на развитии листового аппарата. Количество листьев увеличивалось незначительно, а при повышении экспозиции воздействия даже уменьшалось на 6,5–15,2 %. За счет этого значительно возрастала площадь листовых пластинок, особенно при экспозиции 10 мин., на 7,7–32,6 % в сравнении с контролем.

Однако во все годы исследований выявлено уменьшение ассимиляционной поверхности листьев в варианте с наибольшим временем воздействия лазера (15 мин.) на 4,4–14,5 % относительно контроля.

Таблица 3.

Вегетативное развитие растений после фотостимуляции семян лазерным излучением, 2019–2021 гг.

Показатели	Контроль	Экспозиция облучения, мин.		
		5	10	15
2019 г.				
Средняя масса 1 растения в фазу 2 пар настоящих листьев, г	1,00	1,05	1,11	1,10
Средняя масса 1 растения в середине вегетации, г	267,6	304,8	398,4	299,5
Среднее количество листьев на 1 растении в середине вегетации	19,6	20,0	20,1	18,6
Средняя площадь листа, см²	99,55	113,12	132,04	95,13
2020 г.				
Средняя масса 1 растения в фазу 2 пар настоящих листьев	1,16	2,24	2,04	1,96
Средняя масса 1 растения в середине вегетации, г	479,1	558,0	673,3	590,1
Среднее количество листьев на 1 растении в середине вегетации	18,9	20,2	20,0	17,0
Средняя площадь листа, см²	213,97	215,22	230,44	183,00
2021 г.				
Средняя масса 1 растения в фазу 2 пар настоящих листьев	1,21	1,28	1,22	1,23
Средняя масса 1 растения в середине вегетации, г	166,5	203,6	185,0	163,5
Среднее количество листьев на 1 растении в середине вегетации	14,2	17,0	13,0	11,9
Средняя площадь листа, см²	146,39	149,48	160,95	144,11

Таблица 4.

Морфометрические показатели развития растений и урожайность сахарной свёклы (среднее за 2019–2021 гг.)

Показатели	Контроль	Экспозиция облучения, мин.			НСР ₀₅
		5	10	15	
Густота стояния растений перед уборкой, тыс. шт./га	72,9	89,4	84,8	76,6	3,5
Средняя масса корнеплодов с делянки (10 м × 2 ряда), кг	47,3	54,4	51,0	46,2	2,3
Средняя масса 1 корнеплода, кг	0,44	0,51	0,48	0,46	0,018
Средняя масса ботвы с делянки, кг	9,23	8,54	8,68	8,93	0,28
Коэффициент отношения массы ботвы к массе корнеплодов	0,195	0,157	0,170	0,193	
Биологическая урожайность корнеплодов, т/га	32,1	45,6	40,7	35,2	2,9

К моменту уборки урожая (3 этап проведения исследований) густота стояния растений в экспериментальных вариантах колебалась в пределах 76,6–89,4 тыс. растений/га, что достоверно выше в сравнении с контролем (72,9 тыс. растений/га) (Таблица 4).

На момент уборки в вариантах с НКИ отмечено достоверное увеличение средней массы корнеплода на 4,5–15,9 % и снижение средней массы ботвы с делянки на 3,2–7,5 % — относительно значений контрольного варианта 0,44 и 9,23 кг соответственно. В экспериментальных вариантах определен более низкий показатель отношения массы ботвы к массе корнеплодов, характеризующий достижение сахарной свёклы биологической спелости, 0,157–0,193, тогда как в контроле он достиг уровня 0,195.

Средняя за годы исследований биологическая урожайность корнеплодов в вариантах с облучением семян находилась в пределах 35,2–45,6 т/га, что на 9,7–42,0 % выше контроля (32,1 т/га). В экспериментальных вариантах с увеличением экспозиции НКИ наблюдалось достоверное снижение биологической урожайности с 45,6 до 35,2 т/га.

На последнем этапе исследований при технологической оценке корнеплодов сахарной свёклы установлено увеличение сахаристости в вариантах с применением лазерной обработки семян на 0,11–0,60 абс. % относительно контроля (17,79 %). Следует отметить, что содержание сухих веществ (СВ) в корнеплодах экспериментальных вариантов было ниже на 0,25–0,79 абс. % в сравнении с контрольным вариантом (27,59 %), при этом доля сахарозы в массе сухого вещества корнеплодов на-

ходилась на уровне 66,02–67,26 % СВ, что выше значения контроля (64,48 % СВ) на 1,57–2,81 абс. % (Таблица 5).

В вариантах с лазерным облучением семян сахарной свёклы отмечено меньшее количество всех несахаров в корнеплодах, величина которых была ниже контроля: натрия на 17,1–37,8 %; калия на 7,1–18,6 %; α -аминного азота на 4,2–12,4 %; редуцирующих веществ на 19,8–38,5 %; растворимой углекислой золы на 2,9–7,8 % соответственно.

В результате расчёта прогнозируемых технологических показателей выявлено, что во всех вариантах с предпосевным облучением семян потери сахара в мелассе были на уровне 1,75–1,89 %, что ниже в сравнении с контрольным вариантом (2,02 %) на 0,13–0,27 абс. %. В экспериментальных вариантах прогнозируемый выход сахара превзошел значение контрольного варианта (14,77 %) на 0,28–0,87 абс. %.

Во всех вариантах с обработкой семян НКИ коэффициент извлечения сахарозы ($K_{извл.}$) был выше значения контрольного варианта (83,02 %) на 0,92–2,03 абс. %. Наилучшая извлекаемость сахарозы отмечена при экспозиции лазерного излучения 10 мин, где $K_{извл.}$ составил 85,05 %.

Варианты с предпосевной лазерной обработкой семян характеризовались более низкими значениями МБ-фактора: 22,38–25,03, тогда как в контрольном варианте данный показатель находился на уровне 27,35.

Химико-фитопатологический анализ корнеплодов после 65 суток хранения свидетельствует о том, что в исследуемых вариантах наблюдалось неод-

Таблица 5.

Технологические показатели корнеплодов сахарной свёклы в зависимости от действия лазерного облучения на семена (среднее за 2019–2021 гг.)

Исследуемые параметры	Контроль	Экспозиция воздействия НКИ, мин		
		5	10	15
Сахаристость, % НСР ₀₅ = 0,18	17,79	17,90	18,39	17,99
Сухие вещества (СВ), %	27,59	26,80	27,34	27,25
Количество сахарозы в СВ, % СВ	64,45	66,79	67,26	66,02
Содержание натрия, ммоль/100 г свёклы	1,64	1,14	1,02	1,36
Содержание калия, ммоль/100 г свёклы	4,09	3,80	3,33	3,56
Содержание α -NH ₂ , ммоль/100 г свёклы	3,56	3,25	3,12	3,41
Массовая доля РВ, % к массе свёклы	0,096	0,065	0,059	0,077
Массовая доля углекислой золы, % к массе свёклы	0,490	0,466	0,452	0,478
Потери сахара в мелассе, %	2,02	1,85	1,75	1,89
Прогнозируемый выход сахара, % НСР ₀₅ = 0,20	14,77	15,05	15,64	15,10
Коэффициент извлечения сахара из свёклы, %	83,02	84,08	85,05	83,94
МБ-фактор	27,35	24,58	22,38	25,03

нозначное протекание физиологических и микробиологических процессов. Анализ результатов исследований показал, что после хранения общий уровень потерь массы корнеплодов экспериментальных вариантов колебался от 5,36 % до 6,42 %, что ниже контрольного варианта (7,41 %) на 13,4–27,7 %; среднесуточные потери массы — меньше контроля (0,114 %) на 13,2–28,1 % (Таблица 6).

В ходе фитоэкспертизы после 65 суток хранения опытных образцов установлено, что в вариантах с предпосевным облучением семян сахарной свё-

клы содержание увядших корнеплодов составило 8,68–11,61 % к массе свёклы, в контрольном варианте таких корнеплодов было 19,12 % к массе свёклы. Корнеплодов, проросших и поражённых кагатной гнилью, не наблюдалось. Наибольшее содержание здоровых корнеплодов, а, следовательно, обладающих лучшей лёжкоспособностью, отмечено в варианте с экспозицией НКИ 10 мин.

После 65 суток хранения уровень сахаристости корнеплодов экспериментальных вариантов варьировал от 17,60 до 18,15 %, что на 0,36–0,91 абс. % выше

Таблица 6.

Показатели сохранности корнеплодов сахарной свёклы после 65 суток хранения (среднее за 2019–2021 гг.).

Исследуемые параметры	Контроль	Экспозиция воздействия НКИ, мин		
		5	10	15
Общие потери массы, %	7,41	6,04	5,36	6,42
Среднесуточные потери массы, %	0,114	0,090	0,082	0,099
Содержание корнеплодов с разной степенью подвяленности, % к массе свёклы	19,12	10,06	8,68	11,61
Содержание здоровых корнеплодов, % к массе свёклы	80,88	89,94	91,32	88,39

Таблица 7.

Технологические показатели корнеплодов сахарной свёклы в зависимости от действия лазерного облучения на семена после хранения (среднее за 2019–2021 гг.)

Исследуемые параметры	Контроль	Экспозиция воздействия НКИ, мин		
		5	10	15
Сахаристость, % НСР _{0,5} = 0,22	17,24	17,62	18,15	17,60
Сухие вещества (СВ), %	28,56	27,70	27,63	28,07
Количество сахарозы в СВ, % СВ	60,36	63,61	65,69	62,70
Содержание натрия, ммоль/100 г свёклы	2,04	1,40	1,21	1,64
Содержание калия, ммоль/100 г свёклы	4,88	4,09	3,58	3,90
Содержание α -NH ₂ , ммоль/100 г свёклы	4,03	3,43	3,25	3,67
Массовая доля РВ, % к массе свёклы	0,120	0,078	0,069	0,093
Массовая доля углекислой золы, % к массе свёклы	0,543	0,503	0,476	0,517
Потери сахара в мелассе, %	2,28	1,96	1,83	2,03
Прогнозируемый выход сахара, % НСР _{0,5} = 0,19	13,96	14,66	15,32	14,57
Коэффициент извлечения сахара из свёклы, %	80,97	83,20	84,41	82,78

контроля (17,24 %). Наименьшее снижение данного показателя относительно исходного сырья также выявлено в вариантах с применением лазера, где отклонение составило 0,24–0,39 абс. % против 0,55 абс. % в контроле (Таблица 7).

В корнеплодах экспериментальных вариантов выявлено меньшее содержание сухих веществ как до хранения (26,80–27,34 %), так и после хранения (27,63–28,07 %), тогда как в контроле их было 27,59 и 28,56 % соответственно.

Доля сахарозы в массе сухого вещества хранившихся корнеплодов контрольного варианта составила 60,36 % СВ, в экспериментальных вариантах данный показатель был на 2,34–5,33 абс. % выше. Наибольшее значение анализируемого показателя отмечено в варианте с экспозицией лазерного излучения 10 мин — 65,69 % СВ.

После хранения во всех вариантах с применением лазера определено наименьшее содержание РВ (на 22,5–42,5 %), α -аминного азота (на 8,9–19,4 %), растворимой зола (на 4,8–12,3 %) в сравнении с контрольным вариантом, где анализируемые показатели составили 0,120 %, 4,03 ммоль/100 г свёклы, 0,543 % соответственно.

При переработке образцов сахарной свёклы экспериментальных вариантов прогнозируемые потери сахара в мелассе были достоверно ниже контроля (2,28 %) на 0,25–0,45 абс. %; прогнозируемый выход сахара — выше контроля (13,96 %) на 0,61–1,36 абс. %; коэффициент извлечения сахарозы из корнеплодов — выше контроля (80,97 %) на 1,81–3,44 абс. %.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Эффект повышенной начальной энергии семян во время прорастания Jamil с соавторами (Jamil, 2013) объясняет тем, что лазерное облучение усиливает ферментативную активность и ускоряет ферментативно-опосредованные реакции (например, скорость разложения низкоэнтропийной макромолекулы) через электромагнитное поле и тепловую энергию, воздействующие на молекулы в клетках. В результате этого усиливается биологическая активность и энергия прорастания семян.

Площадь листовых пластинок значительно колебалась по годам и зависела прежде всего от погодных условий: максимальное значение в 2019 году было

132,04 см², в 2020 году — 230,44 см², в 2021 году — 160,95 см². В 2021 году 16 июня прошел очень сильный град, в результате чего растения полностью лишились листового аппарата и в середине вегетации имели более мелкие молодые листья.

Увеличение площади листьев в экспериментальных вариантах объясняется тем, что воздействие лазерного излучения оказывает влияние на структуру клеток листовой пластины (Даваян и соавт., 1972). Наши данные подтверждают мнения этих авторов об уменьшении площади клеток при воздействии лазера. Так площадь устьичных клеток листовых пластинок сахарной свёклы в экспериментальных вариантах составляла 10,0, 11,55 и 15,14 мкм (в контрольном варианте — 18,36 мкм). У мелкоклеточных структур активность деления в 1,5 раза выше, что и подтверждают показатели среднего количества листьев на 1 растении и средняя площадь листовой пластинки.

Аналогичные данные, где установлены факты увеличения площади листьев, их количество и содержание хлорофилла, были получены разными учеными в своих исследованиях по облучению лазером семян гороха, ячменя, пшеницы, кукурузы (Rubinski & Garczynski, 2004; Podlesna et. al., 2015). По их мнению, это связано с интенсификацией процессов фотосинтеза и транспирации в растениях. Уменьшение ассимиляционной поверхности листьев во все годы исследований, наблюдаемое в варианте с наибольшим временем воздействия лазера (15 минут), возможно, вызвано снижением интенсивности физиологических функций растений.

Максимальное количество сахарозы в массе сухого вещества (67,26 % СВ), отмеченное при увеличении экспозиции НКИ до 10 мин, вероятно, объясняется более интенсивным её синтезом в корнеплодах в данном варианте. Наибольший прогнозируемый выход сахара (15,64 %), полученный при этой же экспозиции лазерной обработки семян, связан как с более высокой сахаристостью (18,39 %), так и с меньшим содержанием несахаров (калия, натрия, α-аминного азота, редуцирующих веществ, растворимой углекислой золы) в корнеплодах данного варианта. Благоприятное влияние предпосевной лазерной биостимуляции семян сахарной свёклы на химический состав корнеплодов подтверждается исследованиями иностранных учёных (Koper et al., 1996).

Одним из критериев оценки качества сырья является МБ-фактор, показывающий, какое количество мелассы будет получено на 100 кг произведенного готового сахара. Если растение заканчивает период вегетации естественным отмиранием листьев, спелая сахарная свёкла достигает минимальных значений МБ-фактора (в среднем, 15–20) и максимально возможного выхода сахара (Путилина и соавт., 2020). Данные исследований подтверждают, что применение лазера на семенах сахарной свёклы в дальнейшем способствует ускоренному пробуждению физиологических процессов растений (Krousky & Rumj, 1990), что, возможно, позволило быстрее достигнуть им технической спелости в сравнении с контролем.

Результаты исследований показали благотворное влияние лазерной предпосевной стимуляции семян сахарной свёклы на биометрические характеристики, урожайность и химический состав корнеплодов, в основе механизма которой, согласно Белозёрскому и Золоторёвой (1981), лежит синергизм между поляризованным монохроматическим красным лазерным лучом и фитохромными рецепторами корня в результате облучения семян фитоактивацией фитохромов, которая интенсифицировала развитие растения в более поздние фазы роста.

В результате хранения сахарной свёклы в естественном состоянии продолжается их жизнедеятельность, сопровождаемая рядом физических, химических и физиологических изменений в корнеплодах, которая в наибольшей степени проявилась в контрольном варианте (Хелемский, 1964). В процессе хранения во всех вариантах опыта наблюдался рост содержания сухих веществ в корнеплодах на 0,29–0,97 абс. %, что, вероятно, связано с частичной потерей тургора.

Снижение качественных показателей корнеплодов в процессе хранения связано с дыханием и микробиологическими процессами, в результате которых происходит распад углеводов, и прежде всего сахарозы, которая при участии ферментов претерпевает глубокие изменения: повышается содержание инвентарного сахара (глюкоза + фруктоза), трисахаридов, накапливаются пектиновые вещества, изменяется соотношение белкового и растворимого азота (Хелемский, 1964).

ВЫВОДЫ

Установлено, что воздействие низкоинтенсивного когерентного излучения на дражированные семена стимулирует и активизирует рост, развитие растений, тем самым обеспечивая сокращение периода достижения биологической и технологической спелости сахарной свёклы. Это подтверждается морфологическими показателями (увеличение количества листьев на 1 растении, средней площади ассимиляционной поверхности, снижение коэффициента отношения массы ботвы к массе корнеплодов), результатами оценки технологических достоинств корнеплодов (снижение содержания несахаров — мелассообразователей, повышение прогнозируемого выхода сахара и его извлекаемости, снижение МБ-фактора) и их лёжкоспособности. Определена наиболее эффективная экспозиция обработки семян НКИ — 10 мин. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение воздействия многократной обработки семян лазерным излучением с различной экспозицией на развитие растений свёклы, продуктивность и послеуборочную сохранность корнеплодов.

ЛИТЕРАТУРА

- Барштейн, Л. А., & Гизбулин, Н. Г. (1986). *Методика исследований по сахарной свёкле*. Киев: ВНИС.
- Белозёрский, М. П., & Золотарёва, Т. А. (1981). *Лазерная обработка семян. Сахарная свёкла*, (1), 32–33.
- Бельский, А. И., & Бельский, И. А. (1994). Повышение товарных качеств плодов косточковых пород с помощью светолазерной и электромагнитной защиты растений. *Лазеры в технологических системах*. М.: МГАПП.
- Брижанский, Л. В. (2015). *Обоснование параметров стратификации дражированных семян сахарной свёклы низкоинтенсивным лазерным излучением* [Кандидатская диссертация, Мичуринский государственный аграрный университет]. Мичуринск, Россия.
- Будаговский, А. В., & Будаговская, О. Н. (2008). Разработка технологии лазерного облучения плодов и ягод в послеуборочный период. В *Лазерные технологии в сельском хозяйстве* (с. 165–190). М.: Техносфера.
- Гниломедов, В. П., & Калугина, Н. В. (1984). О высеве замоченных семян сахарной свёклы. *Сахарная свёкла*, (2), 15–18.
- Грицунов, М. Я., & Брижанский, А. В. (1978). Повышение урожая и сахаристости свёклы предпосевным фотоактивированием семян. *Проблемы фотоэнергетики растений*, (5), 240–249.
- Даваян, Н. И., Тырков, В. С., & Суханов, В. М. (1972). Сравнительное изучение продолжительности митотического цикла у гаплоидов, диплоидов и тетраплоидов кукурузы. *Цитология и генетика*, (3), 59–63.
- Козьмин, Г. В., Зейналов, А. А., Коржавый, А. П., Тихонов, В. Н., & Цыгвинцев, П. Н. (2013). *Применение ионизирующих и неионизирующих излучений в агробиотехнологиях*. Обнинск: ВНИИСХРАЭ.
- Кособоков, Г. И., & Петров, Е. П. (1978). Лазерная обработка семян при выращивании томата в открытом грунте. *Проблемы фотоэнегетики растений*, (5), 234–239.
- Менщиков, В. П. (2008). Влияние лазерного облучения на естественную убыль яблок в предрепродукционный период. В *Лазерные технологии в сельском хозяйстве* (с. 190–193). М.: Техносфера.
- Москвин, С. В. (2008). К вопросу о механизмах терапевтического действия низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛ). В *Лазерные технологии в сельском хозяйстве* (с. 29–48). М.: Техносфера.
- Плохих, В. Б., & Мацуцина, Л. Б. (1985). Лазер в селекции и семеноводстве. *Сахарная свёкла*, (4), 29–31.
- Подвигина, О. А., Бартенев, И. И., Гаврин, С. Д., & Нечаева, О. М. (2019). Воздействие лазерной обработки семян сахарной свёклы на их посевные качества. *Сахарная свёкла*, (5), 15–17.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Подвигина О. А.: концептуализация; методология; верификация данных; формальный анализ; проведение исследования; создание черновика рукописи; создание рукописи и её редактирование; визуализация.

Путилина Л. Н.: концептуализация; методология; верификация данных; формальный анализ; проведение исследования; создание черновика рукописи; создание рукописи и её редактирование; визуализация; руководство исследованием.

Лазутина Н. А.: проведение исследования.

- Поединок, Н. Л., Потемкина, Ж. В., Бухало, А. С., Негрийко, А. М., & Михайлова, О. Б. (2003). Использование лазерного излучения при культивировании некоторых видов съедобных базидиомицетов. *Биотехнология*, (2), 59–64.
- Путилина, Л. Н., Подвигина, О. А., & Лазутина, Н. А. (2020). Влияние светолазерной фотоактивации семян сахарной свёклы на технологическое качество корнеплодов. *Сахар*, (3), 52–56. <http://doi.org/10.24411/2413-5518-2020-10305>
- Сашенко, С. В. (2009). *Влияние способов уборки и хранения маточных корнеплодов на продуктивность семенных растений сахарной свёклы* [Кандидатская диссертация, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара им. А.Л. Мазлумова]. Рамонь, Россия.
- Ткачук, В. Н., & Боковой, В. Н. (1984). Оценка влияния лазерной биостимуляции семян сахарной свёклы на их качество и урожайность. В *Теория и практика предпосевной обработки семян* (с. 97–101). Киев: ВАСХНИЛ.
- Хелемский, М. З. (1964). *Хранение сахарной свёклы*. М.: Пищевая промышленность.
- Шпаар, Д., Дрегер, Д., & Захаренко, А. (2004). *Сахарная свёкла: Выращивание, уборка, хранение*. Минск: Орех.
- Jamil, Y. (2013). He-Ne laser induced changes in germination, thermodynamic parameters, internal energy and enzyme activities of wheat during germination and early growth physiological attributes. *Laser Physics Letters*, 10(4), Article 045606. <http://doi.org/10.1088/1612-2011/10/4/045606>
- Karfalov, P., Tscholakov, D., & Aleksiev, N. (1988). Ausgewählte Ergebnisse von Versuchen mit Tomatensaafgut, das mit Laserstrahlen behandelt wurde [Selected results of experiments with tomato seed treated with laser beams]. *Akademie der Landwirtschaftswiss. DDR*, 262, 251–255.
- Koper, R. (1995). *Wlasciwosci mechaniczne owocow pomidorow zmodyfikowane pizedsiewna laserowa biostymulacja nasion* [Mechanical properties of tomato fruit modified by pre-sowing laser seed biostimulation]. Zawoia.
- Koper, R., Wojcik, S., Kornas-Czuszwar, B., & Bojarska, U. (1996). Effect the laser exposure of seeds on the yield and chemical composition of sugar beet roots. *International Agrophysics*, 10(2), 103–108.
- Krousky, Y., & Rumj, M. (1990). The influence of stimulation of sugar beet on seedings, growth and yielding. *Plant Production*, 36(1), 89–98.
- Podlesna, A., Gładyszewska, B., Podleśny, J., & Zgrajka, W. (2015). Changes in the germination process and growth of pea in effect of laser seed irradiation. *International Agrophysics*, 29(4), 485–492. <http://doi.org/10.1515/intag-2015-0054>
- Qiu, Z., Yuan, M., He, Y., Li, Y., & Zhang, L. (2017). Physiological and transcriptome analysis of He-Ne laser pre-treated wheat seedlings in response to drought stress. *Scientific Reports*, 7(1), 1–2. <http://doi.org/10.1038/s41598-017-06518-z>
- Rubinski, W., & Garczynski, S. (2004). Influence of laser light on leaf area and parameters of photosynthetic activity in DH lines of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *International Agrophysics*, 18(3), 261–267.

REFERENCES

- Barshtein, L. A., & Gizbulin, N. G. (1986). *Metodika issledovaniy po sakharnoi svekle* [Methodology of research on sugar beet]. Kiev: VNIS.
- Belozerskii, M. P., & Zolotareva, T. A. (1981). Lazernaya obrabotka semyan [Laser seed treatment]. *Sakhar'naya svekla* [Sugar Beet], (1), 32–33.
- Bel'skii, A. I., & Bel'skii, I. A. (1994). Povyshenie tovarnykh kachestv plodov kostochkovykh porod s pomoshch'yu svetolazernoi i elektromagnitnoi zashchity rastenii [Improving the commercial qualities of stone fruit with the help of laser and electromagnetic plant protection]. *Lazery v tekhnologicheskikh sistemakh* [Lasers in technological systems]. Moscow: MGAPP.
- Brizhanskii, L. V. (2015). *Obosnovanie parametrov stratifikatsii drazhirovannykh semyan sakharnoi svekly nizkointensivnym lazernym izlucheniem* [Substantiation of the parameters of stratification of drained sugar beet seeds by low-intensity laser radiation] [Candidate Dissertation, Michurinskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet]. Michurinsk, Russia.
- Budagovskii, A. V., & Budagovskaya, O. N. (2008). Razrabotka tekhnologii lazernogo oblucheniya plodov i yagod v posleuborochnyi period [Development of technology for laser irradiation of fruits and berries in the post-harvest period]. In *Lazernye tekhnologii v sel'skom khozyaistve* [Laser technologies in agriculture] (pp. 165–190). Moscow: Tekhnosfera.
- Davayan, N. I., Tyrkov, V. S., & Sukhanov, V. M. (1972). Sravnitel'noe izuchenie prodolzhitel'nosti mitoticheskogo tsikla u gaploidov, diploidov i tetraploidov kukuruzy [Comparative study of mitotic cycle duration in maize haploids, diploids and tetraploids]. *Tsitologiya i genetika* [Cytology and genetics], (3), 59–63.
- Gnilomedov, V. P., & Kalugina, N. V. (1984). O vyseve zamochennykh semyan sakharnoi svekly [About sowing soaked sugar beet seeds]. *Sakhar'naya svekla* [Sugar Beet], (2), 15–18.
- Gritsunov, M. Ya., & Brizhanskii, A. V. (1978). Povyshenie urozhaya i sakharistosti svekly predposevnym fotoaktivirovaniem semyan [Increasing the yield and sugar content of beets by pre-sowing photoactivation of seeds]. *Problemy fotoenergetiki rastenii* [Problems of Photoenergy of Plants], (5), 240–249.
- Khelemskii, M. Z. (1964). *Khraneniye sakharnoi svekly* [Storage of sugar beet]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost'.
- Kosobokov, G. I., & Petrov, E. P. (1978). Lazernaya obrabotka semyan pri vyrashchivaniy tomata v otkrytom grunte [La-

- ser seed treatment when growing tomatoes in the open ground]. *Problemy fotoenergetiki rastenii* [Problems of photoenergetics of plants], (5), 234–239.
- Koz'min, G. V., Zeinalov, A. A., Korzhavii, A. P., Tikhonov, V. N., & Tsygvintsev, P. N. (2013). *Primenenie ioniziruyushchikh i neioniziruyushchikh izlucheni v agrobiotekhnologiyakh* [Application of ionizing and non-ionizing radiation in agrobiotechnologies]. Obninsk: VNIISKHRAE.
- Menshchikov, V. P. (2008). Vliyanie lazernogo oblucheniya na estestvennyuyu ubyl' yablok v predrelizatsionnyi period [The effect of laser irradiation on the natural decline of apples in the pre-release period]. In *Lazernye tekhnologii v sel'skom khozyaistve* [Laser technologies in agriculture] (pp. 190–193). Moscow: Tekhnosfera.
- Moskvin, S. V. (2008). K voprosu o mekhanizmax terapevтического действия nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya (NIL) [On the question of the mechanisms of therapeutic action of low-intensity laser radiation (NIL)]. In *Lazernye tekhnologii v sel'skom khozyaistve* [Laser technologies in agriculture] (pp. 29–48). Moscow: Tekhnosfera.
- Plokhikh, V. B., & Matsutsina, L. B. (1985). Lazer v selektsii i semenovodstve [Laser in breeding and seed production]. *Sakharnaya svekla*, (4), 29–31.
- Podvigina, O. A., Bartenev, I. I., Gavrin, S. D., & Nechaeva, O. M. (2019). Vozdeistvie lazernoi obrabotki semyan sakharnoi svekly na ikh posevnye kachestva. *Sakharnaya svekla* [Sugar Beet], (5), 15–17.
- Poedinok, N. L., Potemkina, Zh. V., Bukhalo, A. S., Negriiko, A. M., & Mikhailova, O. B. (2003). Ispol'zovanie lazernogo izlucheniya pri kul'tivirovanii nekotorykh vidov s"edobnykh bazidiomitsetov [The use of laser radiation in the cultivation of some types of edible basidiomycetes]. *Biotehnologiya* [Biotechnology], (2), 59–64.
- Putilina, L. N., Podvigina, O. A., & Lazutina, N. A. (2020). Vliyanie svetolazernoi fotoaktivatsii semyan sakharnoi svekly na tekhnologicheskoe kachestvo korneplodov [The effect of photolaser photoactivation of sugar beet seeds on the technological quality of root crops]. *Sakhar* [Sugar], (3), 52–56. <http://doi.org/10.24411/2413-5518-2020-10305>
- Sashchenko, S. V. (2009). *Vliyanie sposobov uborki i khraneniya matochnykh korneplodov na produktivnost' semennykh rastenii sakharnoi svekly* [Influence of methods of harvesting and storage of uterine root crops on the productivity of sugar beet seed plants] [Candidate Dissertation, Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut sakharnoi svekly i sakhara im. A.L. Mazlumova]. Ramon', Russia.
- Shpaar, D., Dreger, D., & Zakharenko, A. (2004). *Sakharnaya svekla: Vyrashchivanie, uborka, khranenie* [Sugar beet: Cultivation, harvesting, storage]. Minsk: Orekh.
- Tkachuk, V. N., & Bokovoi, V. N. (1984). Otsenka vliyaniya lazernoi biostimulyatsii semyan sakharnoi svekly na ikh kachestvo i urozhainost' [Evaluation of the effect of laser biostimulation of sugar beet seeds on their quality and yield]. In *Teoriya i praktika predposevnoi obrabotki semyan* [Theory and practice of pre-sowing seed treatment] (pp. 97–101). Kiev: VASKhNIL.
- Jamil, Y. (2013). He-Ne laser induced changes in germination, thermodynamic parameters, internal energy and enzyme activities of wheat during germination and early growth physiological attributes. *Laser Physics Letters*, 10(4), Article 045606. <http://doi.org/10.1088/1612-2011/10/4/045606>
- Karfalov, P., Tscholakov, D., & Aleksiev, N. (1988). Ausgewählte Ergebnisse von Versuchen mit Tomatensaafgut, das mit Laserstrahlen behandelt wurde. *Akademie der Landwirtschaftswiss. DDR*, 262, 251–255.
- Koper, R. (1995). *Wlasciwosci mechaniczne owocow pomidorow zmodyfikowane pizedsiewna laserowa biostymulacja nasion* [Mechanical properties of tomato fruit modified pizedseeding laser biostimulation of seeds]. Zawoia.
- Koper, R., Wojcik, S., Kornas-Czuszwar, B., & Bojarska, U. (1996). Effect the laser exposure of seeds on the yield and chemical composition of sugar beet roots. *International Agrophysics*, 10(2), 103–108.
- Krouskey, Y., & Rumj, M. (1990). The influence of stimulation of sugar beet on seedlings, growth and yielding. *Plant Production*, 36(1), 89–98.
- Podlesna, A., Gładyszewska, B., Podleśny, J., & Zgrajka, W. (2015). Changes in the germination process and growth of pea in effect of laser seed irradiation. *International Agrophysics*, 29(4), 485–492. <http://doi.org/10.1515/intag-2015-0054>
- Qiu, Z., Yuan, M., He, Y., Li, Y., & Zhang, L. (2017). Physiological and transcriptome analysis of He-Ne laser pretreated wheat seedlings in response to drought stress. *Scientific Reports*, 7(1), 1–2. <http://doi.org/10.1038/s41598-017-06518-z>
- Rubinski, W., & Garczynski, S. (2004). Influence of laser light on leaf area and parameters of photosynthetic activity in DH lines of spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *International Agrophysics*, 18(3), 261–267.

УДК 664.78

Показатели качества и безопасности нетрадиционных видов муки для производства безглютеновых макаронных изделий

А. Б. Абуова¹, Н. Ж. Муслимов², А. И. Кабылда²

¹ Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности

² Казахский научно-исследовательский институт пищевой и перерабатывающей промышленности

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Абуова Алтынай Бурхатовна

Адрес: 050060, Республика Казахстан, КазАлматы, ул. Гагарина, 238Г
E-mail: a.abuova@rpf.kz

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Абуова, А. Б., Муслимов, Н. Ж., & Кабылда, А. И. (2022). Показатели качества и безопасности нетрадиционных видов муки для производства безглютеновых макаронных изделий. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 40-55. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.345>

ПОСТУПИЛА: 15.07.2022

ПРИНЯТА: 21.08.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов



АННОТАЦИЯ

Введение. По данным ВОЗ, ежегодно до 30% населения промышленно развитых стран страдает болезнями пищевого происхождения. Научной основой современной стратегии производства безглютеновых продуктов питания служит изыскание новых ресурсов, обеспечивающих оптимальное для организма больных целиакией соотношение питательных элементов, в то же время безопасных пищевых продуктов.

Цель. Изучить показатели качества и безопасности нетрадиционных видов муки из казахстанского сырья для производства безглютеновых макаронных изделий.

Материалы и методы. Объектами представленных исследований служили рисовая, гречневая, кукурузная, нутовая виды муки, полученные из казахстанского сырья: риса (Кызылординская область), гречихи (Павлодарская область), кукурузы (из Алматинской области) и нута. На первом этапе исследований определили физико-химических показатели качества и микробиологические показатели безопасности безглютеновых видов сырья для производства безглютеновых макаронных изделий российских и казахстанских производителей. На втором этапе исследований получены экспериментальные образцы безглютеновых макаронных изделий с использованием гречневой, кукурузной и рисовой муки и определены физико-химические и микробиологические показатели полученных новых безглютеновых макаронных изделий.

Результаты. В Казахстане есть возможность возделывания сельскохозяйственных культур, не содержащих глютен. В Республике Казахстан рис возделываются в Кызылординской, Туркестанской и Алматинской областях и на 2020 год засеяно 230 тысяч гектаров, при средней урожайности 61,8 ц/га валовый сбор составил 551 тыс тонн, при внутреннем спросе 133 тыс. тонн. Из Казахстана 35-38 процентов из 551 тыс тонн риса экспортируется в качестве сырья.

Выводы. По результатам проведенных исследований разработан технология безглютеновой муки и макаронных изделий с использованием сырья Республики Казахстан из смеси гречневой муки и кукурузной муки, а также смеси кукурузной и рисовой муки, которые по физико-химическим, микробиологическим и показателям безопасности соответствуют действующим нормативным документам и имеют хороший товарный вид. Результаты исследований имеют мультипликативный эффект: спрос на безглютеновые виды муки приведет к диверсификации растениеводства и к увеличению посевных площадей риса кукурузы, проса, масличных и бобовых культур и возрождению новых перерабатывающих предприятий различной мощности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

показатели качества и безопасности, рисовая, кукурузная и гречневая виды муки, безглютеновые макаронные изделия

Quality and Safety Indicators of Non-Traditional Types of Flour for the Production of Gluten-Free Pasta

¹ Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry

² Kazakh Research Institute of Food and Processing Industry

Altynay B. Abuova¹, Nurzhan Zh. Muslimov², Anar I. Kabylda²

CORRESPONDENCE:

Altynay B. Abuova
050060, Republic of Kazakhstan,
KazAlmaty, st. Gagarin, 238G
E-mail: a.abuova@rpf.kz

FOR CITATIONS:

Abuova, A. B., Muslimov, N. Z., & Kabylda, A. I. (2022). Quality and safety indicators of non-traditional types of flour for the production of gluten-free pasta. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 40-22. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.345>

RECEIVED: 15.07.2022

ACCEPTED: 21.08.2022

PUBLISHED: 30.09.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background. According to WHO, every year up to 30% of the population of industrialized countries suffer from foodborne diseases. The scientific basis of the modern strategy for the production of gluten-free food products is the search for new resources that provide the optimal ratio of nutrients for the body of patients with celiac disease, at the same time, safe foods.

Purpose. To study the quality and safety indicators of non-traditional types of flour from Kazakh raw materials for the production of gluten-free pasta.

Materials and Methods. The objects of the presented studies were rice, buckwheat, corn, chickpea types of flour obtained from Kazakh raw materials: rice (Kyzylorda region), buckwheat (Pavlodar region), corn (from Almaty region) and chickpeas. At the first stage of research, the physicochemical quality indicators and microbiological safety indicators of gluten-free types of raw materials for the production of gluten-free pasta of Russian and Kazakhstani manufacturers were determined. At the second stage of the research, experimental samples of gluten-free pasta were obtained using buckwheat, corn and rice flour and the physicochemical and microbiological parameters of the obtained new gluten-free pasta were determined.

Results. In Kazakhstan, there is the possibility of cultivating agricultural crops. gluten free crops. In the Republic of Kazakhstan, rice is cultivated in the Kyzylorda, Turkestan and Almaty regions, and 230 thousand hectares have been sown for 2020, with an average yield of 61.8 kg/ha, the gross harvest amounted to 551 thousand tons, with domestic demand 133 thousand tons. From Kazakhstan, 35–38 percent of the 551 thousand tons of rice is exported as a raw material.

Conclusions. Based on the results of the research, a technology has been developed for gluten-free flour and pasta using raw materials from the Republic of Kazakhstan from a mixture of buckwheat flour and corn flour, as well as a mixture of corn and rice flour, which, in terms of physicochemical, microbiological and safety indicators, comply with the current regulatory documents and have a good commercial view. The results of the research have a multiplier effect: the demand for gluten-free flours will lead to the diversification of crop production and to an increase in the acreage of rice, corn, millet, oilseeds and legumes and the revival of new processing enterprises of various capacities.

KEYWORDS

quality and safety indicators, rice, corn and buckwheat flours, gluten-free pasta

ВВЕДЕНИЕ

По данным ВОЗ, ежегодно до 30% населения промышленно развитых стран страдает болезнями пищевого происхождения (Бавыкина и соавт., 2018). Научной основой современной стратегии производства безглютеновых продуктов питания служит изыскание новых ресурсов, обеспечивающих оптимальное для организма больных целиакией соотношение питательных элементов, в то же время безопасных пищевых продуктов (Ботбаева и соавт., 2018; Жаркова и соавт., 2020; Попов и соавт., 2021; Рыбенко и соавт., 2021).

Исследование безопасности сырья для производства безглютеновых пищевых продуктов необходимо для лечения и профилактики заболеваний, как целиакция, нецелиакийная неаллергическая чувствительность. Целиакция-глютеновая энтеропатия — мультифакториальное заболевание, которое встречается у каждого из 100 человек, и основное количество выявлено в странах Азии (Изтаев & Исакова, 2015). В Республике Казахстан (РК) на 2021 год зарегистрировано более 4700 человек с диагнозом «целиакция» и эта цифра возрастает с каждым годом (Шаймерденова и соавт., 2020). В Казахстане лица с диагнозом «целиакция» нуждаются в продуктах питания местного производства. Причиной данного заболевания является глютен (Гапонова и соавт., 2014). Потребление глютеносодержащих зерновых культур, таких как пшеница, рожь, спельта и ячмень вызывает воспаление тонкого кишечника. Единственным лечением целиакии является пожизненное, непрерывное соблюдение аглютеновой диеты (необходимо избегать продуктов из пшеницы, ржи и ячменя). На нетрадиционные виды муки для производства безглютеновых пищевых продуктов, как рисовая, кукурузная, гречневая, нутовая, амарантовая, льняная, полбяная, растет спрос и среди приверженцев здорового образа жизни (Жаркова и соавт., 2019; Гарькина и соавт., 2020; Корнева и соавт., 2020; Дмитриева и соавт., 2021; Плотникова и соавт., 2021).

В Казахстан безглютеновые продукты питания в основном поставляются из Италии, Польши, Германии (бренды Gullon, Baiviten, Schar) по цене в 10–12 раз дороже, чем обычные аналоги. Из Турции завозятся макаронные изделия (AREN). В России активизируются производители: Гарнец, Диетика, Di&Di, Foodcode, однако ассортимент и объем продукции небольшой. Безглютеновые макаронные

изделия представлены в основном из кукурузной муки (GARNEC, Mac Master), из амарантовой муки Di&Di, MAKFA. Приобрести безглютеновую продукцию можно только в крупных гипермаркетах или интернет-магазинах, что весьма затруднительно для жителей небольших населенных пунктов РК. Таким образом, для родителей маленьких детей и взрослых с диагнозом целиакция рациональнее купить большую партию готовой отечественной безглютеновой мучной смеси и готовить еду дома. Поэтому оценка показателей безопасности и качества нетрадиционных видов муки, как сырья для приготовления безглютеновых продуктов питания актуальна и необходима для каждой страны (Giuberti et al., 2017; Терновской и соавт., 2017; Giuberti, & Gallo 2018; Щеколдина, 2019; Дмитриева и соавт., 2021; Стрелкова и соавт., 2021).

Казахстан обладает огромными экологически чистыми территориями, выращиваются и экспортируются рис, кукуруза, просо и дальнейшая их переработка в муку способствовала бы диверсификации растениеводства и решению актуальных задач социально-экономического и научно-технического развития. Казахстанские ученые разработали новые технологии использования нетрадиционных видов муки при производстве хлеба, кондитерских, макаронных изделий и статистический анализ для определения спроса населения на безглютеновые продукты питания (Изтаев & Исакова, 2014; Шаймерденова и соавт., 2020; Шаншарова и соавт., 2020; Абуова и соавт., 2021).

В России разработали способы получения амарантовой, полбяной и гречневой безглютеновых видов муки, которые можно использовать для приготовления различных безглютеновых пищевых продуктов (Шаршунов и соавт., 2019; Урубков и соавт., 2020; Кирдяшкин и соавт., 2020; Тиунов и соавт., 2020; Кадникова и соавт., 2021). В Российской Федерации разработаны технологии безглютеновых мучных кондитерских изделий на основе крахмалосодержащего сырья и технологий производства функциональных макаронных изделий из муки нетрадиционного растительного сырья значительный (Коломникова и соавт., 2016; Масалова & Оботурова, 2016; Никитин и соавт., 2016; Корнева и соавт., 2020; Плотникова и соавт., 2021; Никонорова и соавт., 2022).

Ученые Саратовского ГАУ провели маркетинговое исследование рынка безглютеновых продуктов

питания в Саратовской области. В результате полученных данных было установлено, что безглютеновые продукты питания в основном поставляются иностранными брендами, такими как «Dr. Korner» (Германия) и «Dr. Schar» (Италия), поставляющими на рынок широкий ассортимент мучных кондитерских, макаронных и хлебобулочных изделий. Рынок отечественных производителей в основном представлен ООО «Гранат» (РФ) и ООО «Диетика» (РФ) (Ushakova et al., 2021).

Наибольшее содержание протеина имеет нутовая мука. По содержанию жира нутовая мука также превосходит другие крахмалосодержащие виды сырья. Садыговой М.К. исследован технологический потенциал сортов нута Краснокутской селекционной опытной станции. По результатам проведенных исследований рекомендовано замена муки пшеничной высшего сорта на нуттовую с применением различных обогатителей: хлеб сбивной «Нутелло», «Нутелло Лайф» (Фахртдинова и соавт., 2021).

Анализ данных аминокислотного состава нетрадиционных видов муки показывает, что по аминокислотному скору нуттовая значительно превосходит по содержанию лимитирующей для большинства злаковых аминокислоты — лизина. У кукурузной аминокислотный скор лизина отмечен на одном уровне с пшеничной. Кукуруза содержит главным образом два белка: проламин (зеин) и глютелин (Юрчак & Рожно, 2017; Рыжакова & Головизнина, 2019; Орлова & Кудинов, 2020).

ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности» в рамках реализации бюджетной программы 217 МОН РК по теме «Разработка технологии производства каш и мучных кондитерских смесей, соответствующих продуктам с маркировкой «gluten-free» за 2018-2020 года завершил исследования согласно календарному плану.

В рамках действующих регламентов Таможенного союза производитель имеет возможность написать на продукции «Без глютена», не осуществляя контроль содержания глютена ни во входном сырье, ни на производстве.

Недобросовестные производители стали использовать символ «перечеркнутый колосок» и и/или надпись «без глютена»: «Gluten-free», «Gluten-frei», «Glutenfri», «Gliadinfri», «Singluten», «Sans gluten», «Senza glutine» для маркетинговых целей для продуктов с низким содержанием глютена. При производстве безглютеновых продуктов особое внимание должно уделяться чистоте и безопасности сырья, так как должны быть исключены малейшие примеси токсичных для больных целиакией злаков (Fry et al., 2018; Giuberti et al., 2018; Woomer & Adedeji, 2021).

Таким образом, есть необходимость в изучении показателей качества и безопасности нетрадиционных видов сырья для производства макаронных изделий Gluten-Free, а также данные исследования соответствует стратегическому плану развития Казахстана до 2025 г. по профилактике заболеваний и улучшению здоровья людей.

Цель исследования — изучить показатели качества и безопасности нетрадиционных видов муки из казахстанского сырья для производства безглютеновых макаронных изделий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты

Объектами представленных исследований служили рисовая, гречневая, кукурузная, нуттовая виды муки, полученные из казахстанского сырья: риса (Кызылординская область), гречихи (Павлодарская область), кукурузы (из Алматинской области) и нута.

Методы и инструменты

Методологической основой данного проекта является обобщение информации и системный анализ опыта изучения безглютеновых продуктов питания. Отбор проб будет осуществляться по ГОСТ 13586.3-2015 Зерно. Правила приемки и методы отбора проб¹, ГОСТ 31964 Исследования качественных характеристик рисовой², ГОСТ 31645-2012 Мука для

¹ ГОСТ 13586.3-2015. (2019). *Межгосударственный стандарт зерно. Правила приемки и методы отбора проб*. М.: Стандартинформ.

² ГОСТ 31964-2012. (2014). *Изделия макаронные. Правила приемки и методы определения качества*. М.: Стандартинформ.

продуктов детского питания³, кукурузной муки по ГОСТ 14176-69⁴, нутовой муки по ТУ 9293-081-10514645-03⁵.

Определение токсичных элементов в соответствии со следующими нормативными документами: подготовка проб ГОСТ 26929⁶, определение микробиологических показателей по ГОСТ 10444.12⁷, ГОСТ 10444.15⁸, определение содержания микотоксинов по ГОСТ Р 51116-97⁹. КМАФАнМ согласно ГОСТ 10444.15-94¹⁰. Бактерии группы кишечных палочек (колиформы) согласно ГОСТ 31747-2012¹¹. Дрожжи и плесневые грибы согласно ГОСТ 10444.12-2013¹² (ГОСТ 33566-2015¹³).

Определение влажности зерна проведены по ГОСТ 13586.5-2015¹⁴ обезвоживанием навески измельченного зерна в воздушно-тепловом шкафу при фиксированных параметрах: температуре и продолжительности сушки и определении снижения ее массы. Определение содержания крахмала в зерне и муке проведены по ГОСТ 10845-98¹⁵ Зерно и продукты его переработки; Определение массо-

вой доли белка в зерне и муке проведены по методу Кьельдаля по ГОСТ 10846-91¹⁶; содержание жира — по ГОСТ 32749-2014¹⁷; содержание клетчатки — ГОСТ 32040-2012¹⁸; зольность — по ГОСТ 10847-74¹⁹.

Содержание глютена исследовано иммуноферментным анализом на приборе ИФА «ХЕМА» (кат.№K380) согласно ГОСТ 33838-2016²⁰.

Безглютеновые макаронные изделия

Процедура исследования

На первом этапе исследований определили физико-химических показатели качества и микробиологические показатели безопасности безглютеновых видов сырья для производства безглютеновых макаронных изделий российских и казахстанских производителей. На втором этапе исследований получены экспериментальные образцы безглютеновых макаронных изделий с использованием гречневой, кукурузной и рисовой муки и опреде-

³ ГОСТ 31645-2012. (2019). *Мука для продуктов детского питания. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

⁴ ГОСТ 14176-69. (2006). *Мука кукурузная. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

⁵ ТУ 9293-081-10514645-03. *Мука нуттовая*. <https://e-ecolog.ru/crc/77.99.02.929.%D0%A2.000487.03.04>

⁶ ГОСТ 26929-94. (2010). *Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов*. М.: Стандартинформ.

⁷ ГОСТ 10444.12-2013. (2014). *Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов*. М.: Стандартинформ.

⁸ ГОСТ 10444.15-94. (2010). *Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов*. М.: Стандартинформ.

⁹ ГОСТ Р 51116-97. (1999). *Комбикорма, зерно, продукты его переработки. Метод определения содержания дезоксиниваленола (вомитоксина)*. М.: Стандартинформ.

¹⁰ ГОСТ 10444.15-94. (2010). *Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов*. М.: Стандартинформ.

¹¹ ГОСТ 31747-2012. (2013). *Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)*. М.: Стандартинформ.

¹² ГОСТ 10444.12-2013. (2014). *Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов*. М.: Стандартинформ.

¹³ ГОСТ 33566-2015. (2019). *Молоко и молочная продукция. Определение дрожжей и плесневых грибов*. М.: Стандартинформ.

¹⁴ ГОСТ 13586.3-2015. (2019). *Межгосударственный стандарт зерно. Правила приемки и методы отбора проб*. М.: Стандартинформ.

¹⁵ ГОСТ 10845-98. (2009). *Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала*. М.: Стандартинформ.

¹⁶ ГОСТ 10846-91. (2009). *Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка*. М.: Стандартинформ.

¹⁷ ГОСТ 32749-2014. (2014). *Семена масличные, жмыхи и шроты. Определение влаги, жира, протеина и клетчатки методом спектроскопии в ближней инфракрасной области*. М.: Стандартинформ.

¹⁸ ГОСТ 32040-2012. (2020). *Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания сырого протеина, сырой клетчатки, сырого жира и влаги с применением спектроскопии в ближней инфракрасной области*. М.: Стандартинформ.

¹⁹ ГОСТ 10847-74. (2009). *Зерно. Методы определения зольности*. М.: Стандартинформ.

²⁰ ГОСТ 33838-2016. (2019). *Продукты переработки зерна. Иммуноферментный метод определения глютена*. М.: Стандартинформ.

лены физико-химические и микробиологические показатели полученных новых безглютеновых макаронных изделий.

Анализ данных

Полученные экспериментальные данные представлены в соответствующих разделах. Полученные данные обработаны с применением стандартной программы Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования физико-химических, микробиологических и показателей безопасности качества нетрадиционных видов сырья для производства безглютеновых макаронных изделий

Исследования физико-химических показателей качества нетрадиционных видов российских и казахстанских производителей сырья для производства безглютеновых макаронных изделий представлены в Таблице 1.

Наибольшее содержание протеина в гречихе, выращенной в Павлодарской области — 15,6 %, наименьшее количество протеина в пробе риса — 5,7 %. По содержанию жира и клетчатки отличаются все исследуемые виды муки из Казахстана

на по сравнению с пробами фирмы «Гарнец» на 0,3–1,0 %.

Сравнительный анализ химического состава безглютеновых видов муки разных производителей наглядно видно в Рисунке 1. Из Рисунка 1 видно, что имеются незначительные различия в химическом составе проб гречихи, а рисовая мука в целом отличаются по содержанию крахмала 69,8 и 74,1%, однако все виды муки могут быть использованы для производства безглютеновой продукции как самостоятельно, так и в сочетании с другими нетрадиционными видами муки.

Как видно из Рисунка 1, проанализированные пробы муки имеют высокое содержание белка и клетчатки. Исследования показали, что образцы муки соответствуют требованиям НД по каждому показателю. Таким образом, изучение химического состава исследуемых видов муки показало, что они могут быть высококлассным сырьем для производства безглютеновой продукции в виде мучной смеси из двух или нескольких видов муки.

Однако, существуют расхождения относительно питательных качеств зерновых продуктов с Gluten Free (GF) по сравнению с глютен содержащими аналогами (Корнева, 2020). В частности, сравнение данных по питательному составу заменителей GF на зерновой основе продуктам, содержащим глютен, как правило, указывает на более низкое содержание пищевых волокон, более высокий гликемический индекс и более высокое содержание общего жира (Колосникова, 2016, Жаркова, 2020, Кадникова, 2021).

Таблица 1

Физико-химические показатели безглютеновых видов муки

Показатели	Рисовая мука «Гарнец»	Рисовая мука РК	Кукурузная мука «Гарнец»	Кукурузная мука РК	Гречневая мука «Гарнец»	Гречневая мука РК
Влажность, % не более	12,5	11,7	11,0	9,8	10,6	9,3
Содержание протеина, %	7,0	5,7	9,0	7,8	12,6	15,6
Зольность, %, не более	1,3	1,2	0,8	0,7	2,3	2,8
Содержание жира, %	0,6	1,2	1,1	2,1	2,6	2,9
Содержание клетчатки, %	3,2	3,5	3,4	3,9	6,9	7,6
Содержание крахмала, %	74,1	69,8	64,6	64,4	61,1	59,7
Кислотность, градус, не более	0,6	0,4	0,9	0,8	2,1	1,6

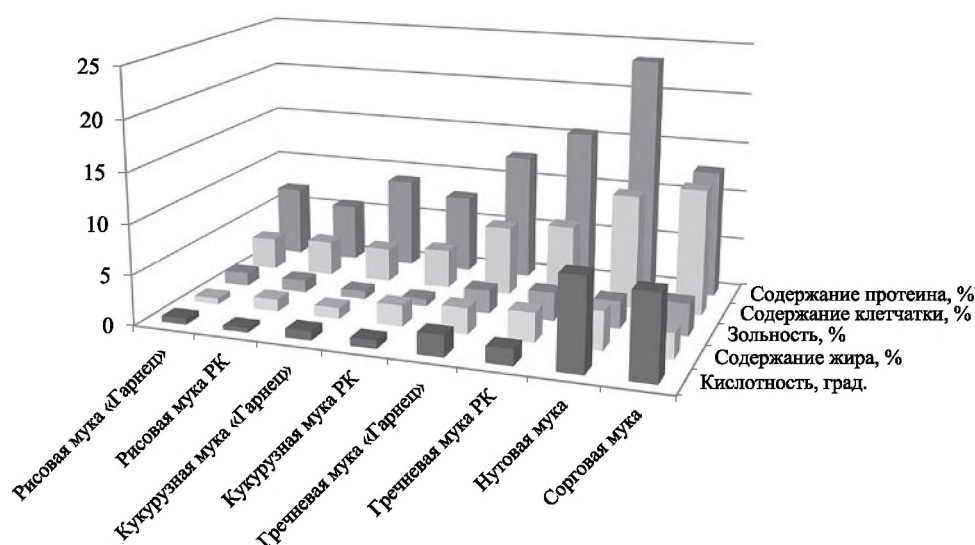


Рисунок 1.

Физико-химические показатели безглютеновых видов муки

Дисбаланс питания зерновых продуктов GF также может способствовать увеличению веса и связанным с этим метаболическим заболеваниям у людей.

Нами изучены показатели безопасности нетрадиционных видов муки. Результаты исследования муки из гречихи и кукурузы производителя ТОО

«Фирма АЛ и КС» Казахстан представлены в Таблице 2. Протокол испытания № 1610 Испытательного центра ТОО «Фирма Торговая палата» (Аттестат аккредитации №KZ.И.01.0835 от 02.07.2021). Показатели безопасности риса сорта «Лидер», произведенного в Кызыл-ординской области на соответствие требованиям ТР ТС 021/2011²¹ и ГОСТ 6292-93²².

Таблица 2

Показатели безопасности безглютеновых видов сырья РК

Показатели	НД на методы испытания	Нормы по НД	Фактические значения		
			рис	гречиха	кукуруза
Токсичные элементы, мг/кг, не более: свинец	ГОСТ 30178-96 ²³ ГОСТ 33824-2016 ²⁴	0,5	0,053	0,0047	0,0052
Кадмий	ГОСТ 30178-96 ²⁵ ГОСТ 33824-2016 ²⁶	0,1	0,019	0,00073	0,00078
Мышьяк	ГОСТ 26930-86 ²⁷ ГОСТ 31628-2012 ²⁸	0,2	Не обнаружено	0,0023	0,0033

²¹ ТР ТС 021/2011. (2011). О безопасности пищевой продукции. <https://docs.cntd.ru/document/902320560>

²² ГОСТ 6292-93. (2010). Крупа рисовая. Технические условия. М.: Стандартинформ.

²³ ГОСТ 30178-96. (2010). Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. М.: Стандартинформ.

²⁴ ГОСТ 33838-2016. (2019). Продукты переработки зерна. Иммуноферментный метод определения глютена. М.: Стандартинформ.

²⁵ ГОСТ 30178-96. (2010). Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. М.: Стандартинформ.

²⁶ ГОСТ 33838-2016. (2019). Продукты переработки зерна. Иммуноферментный метод определения глютена. М.: Стандартинформ.

²⁷ ГОСТ 26930-86. (2010). Сырье и продукты пищевые. Метод определения мышьяка. М.: Стандартинформ.

²⁸ ГОСТ 31628-2012 (2014). Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрический метод определения массовой концентрации мышьяка. М.: Стандартинформ.

Окончание таблицы 2

Показатели	НД на методы испытания	Нормы по НД	Фактические значения		
			рис	гречиха	кукуруза
Ртуть	ГОСТ 33412-2015 ²⁹ ГОСТ 26927-86 п.2 ³⁰	0,03	Не обнаружено	Менее 0,003	Не обнаружено
Радионуклиды, Бк/кг, не более: цезий-137	ГОСТ 32161-2013 ³¹ МИ №КЗ 07.00.00303-2014	60	1,85	3,1	3,3
пестициды, мг/кг, не более ГХЦГ (альфа, бета, гамма изомеры)	СТ РК 2011-2010 ³² МУ №2142-80 ³³	0,5	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
ДДТ и его метаболиты	СТ РК 2011-2010 ³⁴	0,02	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
ртутьорганические пестициды	СТ РК 2040-2010 ³⁵	не допускаются	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
2,4-Д кислота	МЗ СССР МУ 1541-76 ³⁶	не допускаются	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
Микотоксины, мг/кг, не более: афлотоксин В ₁	ГОСТ 30711-2001 ³⁷ МУ 4.05.018-97 ³⁸	0,005	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
т-2 токсин	ГОСТ 28001-88 ³⁹ СТ РК 1974-2010 ⁴⁰	0,1	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
охротоксин	ГОСТ 28001-88 ⁴¹	0,005	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено

²⁹ ГОСТ 33412-2015. (2016). *Сырье и продукты пищевые. Определение массовой доли ртути методом беспламенной атомной абсорбции*. Минск: Госстандарт.

³⁰ ГОСТ 26927-86. (2010). *Сырье и продукты пищевые. Методы определения ртути*. М.: Стандартинформ.

³¹ ГОСТ 32161-2013. (2019). *Продукты пищевые. Метод определения содержания цезия Cs-137*. М.: Стандартинформ.

³² СТ РК 2011-2010. (2010). *Вода, продукты питания, корма и табачные изделия. Определение хлорорганических пестицидов хроматографическими методами*. <https://meganorm.ru/Data2/1/4293739/4293739423.pdf>

³³ МУ 2142-80. (1980). *Методические указания по определению хлорорганических пестицидов в воде, продуктах питания, кормах и табачных изделиях хроматографией в тонком слое*. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293828/4293828872.htm>

³⁴ СТ РК 2011-2010. (2010). *Вода, продукты питания, корма и табачные изделия. Определение хлорорганических пестицидов хроматографическими методами*. <https://meganorm.ru/Data2/1/4293739/4293739423.pdf>

³⁵ СТ РК 2040-2010. (2010). *Овощи, корма и продукты животноводства. Определение ртутьорганических пестицидов хроматографическими методами*. <https://meganorm.ru/Data2/1/4293731/4293731471.pdf>

³⁶ МУ 1541-76. (1976). *Хроматографические методы определения остаточных количеств 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4 Д) в воде, в почве, в фураже, продуктах питания растительного и животного происхождения*. <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293733/4293733164.htm>

³⁷ ГОСТ 30711-2001. (2001). *Продукты пищевые. Методы выявления и определения содержания афлатоксинов В₁ и М₁*. М.: Стандартинформ.

³⁸ МУ 4.05.018-97. (1997). *По обнаружению, идентификации и определению количества афлатоксинов в пищевых продуктах*. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30010516

³⁹ ГОСТ 28001-88. (1999). *Зерно фуражное, продукты его переработки, комбикорма. Методы определения микотоксинов: Т-2 токсина, зеараленона (Ф-2) и охратоксина А*. М.: Стандартинформ.

⁴⁰ СТ РК 1974-2010. (2010). *Пищевые продукты. Определение Т-2 токсина хроматографическим методом*. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31597710

⁴¹ ГОСТ 28001-88. (1999). *Зерно фуражное, продукты его переработки, комбикорма. Методы определения микотоксинов: Т-2 токсина, зеараленона (Ф-2) и охратоксина А*. М.: Стандартинформ.

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в нутовой и сорговой муке

Мука	Концентрация тяжелых металлов				
	Свинец	Кадмий	Мышьяк	Ртуть	Олово
Нутовая мука	0,01	0,07	0,01	0	Не обнаружено
Сорговая мука	0,01	0,04	0,003	0	Не обнаружено
Порог загрязненности Регламент ЕС 1881/06, мг/кг	0,20	0,20	0,20	0,02	0

Из Таблицы 2 видно, фактические значения показателей безопасности безглютеновых видов сырья для производства макаронных изделий находятся ниже норм требований стандартов. Токсичные элементы в 10 и 100 раз меньше предельно допустимых концентраций (0,05–0,005 мг/кг при норме 0,5 мг/кг), ртутьорганические соединения, пестициды, микотоксины не обнаружены.

Анализ полученных данных Таблицы 3 свидетельствуют о том, что экспериментальные значения тяжелых металлов ниже пороговых значений загрязнения, установленных регламентом комиссии. Следовательно, испытываемая мука из сорго и нута не окажут вредного воздействия на организм человека. При этом экспериментальные значения тяжелых металлов ниже пороговых значений загрязне-

ния, установленных регламентом комиссии ТР ТС 015/2011⁴². В образцах нутовой и сорговой муки микотоксины: афлатоксин В₁, дезоксиниваленон, Т-2 токсин и зеараленон не превышают допустимую норму указанной в регламенте ТР ТС 015/2011⁴³.

Микробиологические показатели у всех образцов безглютеновой муки имеют предельные значения норм СанПиН по обсемененности, содержанию плесени, дрожжей, что не может не отразиться на потребительских свойствах муки (Таблица 4). Как видно из Таблицы 4, фактические значения микробиологических показателей безглютеновой кукурузной, рисовой, гречневой, нутовой и сорговой видов муки для производства макаронных изделий находятся ниже норм санитарных норм и правил.

Таблица 4

Микробиологические показатели безглютеновой муки

Показатели	Образцы безглютеновой муки					Нормы по СанПиН
	кукурузная	рисовая	гречневая	нутовая	сорговая	
БГКП (калiformы)	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	0,1 г не допускается
КМАФАМ, КОЕ/г	$4,7 \cdot 10^3$	$4,1 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^3$	$4,8 \cdot 10^3$	$4,9 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$ КОЕ/г, не более
Количество спор грибов и дрожжей, КОЕ/г	Плесени – 160; Дрожжи – 95	Плесени – 170; Дрожжи – 90	Плесени – 190; Дрожжи – 96	Плесени – 185; Дрожжи – 85	Плесени – 190; Дрожжи – 95	Плесени – 200 КОЕ/г, не более; Дрожжи – 100 КОЕ/г, не более

⁴² ТР ТС 015/2011. (2011). *Технический регламент Таможенного союза*. <https://docs.cntd.ru/document/902320395>

⁴³ Там же.

Безглютеновые макаронные изделия из смеси гречневой муки и кукурузной муки смеси кукурузной и рисовой муки

Выработку безглютеновых макаронных изделий проводили по двум разработанным рецептурам с использованием лабораторного макаронного прессы итальянской фирмы «SIRMANN». Первый образец безглютеновых макаронных изделий состоял из 60 % гречневой муки и 40 % кукурузной муки, второй образец состоял из 60 % гречневой муки и 40 % кукурузной муки. Полученные экспериментальные образцы разработанных безглютеновых макаронных изделий, представлены на Рисунках 2 и 3. По физико-химическим показателям безглютеновые макаронные изделия должны соответствовать нормам ГОСТ 32908-2014 «Изделия макаронные безглютеновые. Общие технические условия»⁴⁴. В Таблице 5 представлены физико-химические и микробиологические показатели, содержание макро- и микроэлементов, витамина А и токсичных элементов в макаронных изделиях из смеси гречневой муки и кукурузной муки, а также смеси кукурузной и рисовой муки по разработанной рецептуре (Протокола испытаний № 9497 и 9498 от 21.06.2022 г.)

Полученные экспериментальные данные из Таблицы 5 показывают, что фактические значения физико-химические и микробиологические показатели безглютеновых макаронных изделий из смеси гречневой муки и кукурузной муки и смеси кукурузной и рисовой муки соответствуют нормам требований действующего стандарта. Энергетическая ценность макаронных изделий из смеси гречневой и кукурузной муки составила — 308,19 ккал, из кукурузной и рисовой муки — 320,89 ккал.

Исследование особенностей способов получения макаронных изделий, не содержащих глютен, установление общих закономерностей протекания основных физико-химических процессов при их получении позволят научно обосновать технологию производства безглютеновых макаронных изделий. Совместное применение безглютеновой муки (гречневой, кукурузной, рисовой) с мукой сортовой или нутовой станет способствовать увеличению пищевой ценности безглютеновых макаронных продуктов.



Рисунок 2

Макаронные изделия из смеси гречневой муки и кукурузной муки



Рисунок 3

Макаронные изделия из смеси кукурузной и рисовой муки

⁴⁴ ГОСТ 32908-2014. (2019). *Изделия макаронные безглютеновые. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

Таблица 5

Физико-химические и микробиологические показатели безглютеновых макаронных изделий из смеси гречневой муки и кукурузной муки и смеси кукурузной и рисовой муки

Наименование показателей, единица измерения	Норма НД. ГОСТ 32908-2014 ⁴⁵ , ТР ТС 015/2011 ⁴⁶	Макаронные изделия из смеси гречневой и кукурузной муки	Макаронные изделия из смеси кукурузной и рисовой муки
Влажность изделий, %, не более	13	6,47 ± 0,05	8,5 ± 0,05
Содержание белка, %	—	9,68 ± 0,05	7,91 ± 0,08
Содержание жира, %	—	1,22 ± 0,05	1,51 ± 0,05
Содержание углеводов, %	—	68,93 ± 1,18	73,51 ± 0,98
Содержание β-каротиноидов, мг/100 г	—	0,085 ± 0,002	0,081 ± 0,002
Кислотность изделий, град, не более	5	3,25 ± 0,03	4,24 ± 0,02
Содержание витамина А, мг/100 г	-	0,026 ± 0,002	0,019 ± 0,001
Токсичные элементы, мк/кг:			
— Свинец	0,5	0,00006 ± 0,000002	0,0017 ± 0,0001
— Кадмий	0,1	0,0014 ± 0,0001	0,0008 ± 0,0001
— Мышьяк	0,2	Не обнаружено	Не обнаружено
— Ртуть	0,02	Не обнаружено	Не обнаружено
Микробиологические показатели:			
— КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	5 · 10 ³	1 · 10 ³	4 · 10 ³
БГКП (колиформы) в 1,0 см ³ продукта	Не допускается	Не обнаружено	Не обнаружено
Содержание глютена мг/кг, не более	20	2,235	0,865
Сохранность формы, % не менее	80	85	82
Зола, нерастворимая в 10%-ном растворе HCl, не более	0,2	0,15 ± 0,02	0,13 ± 0,02
Металломагнитная примесь, мг на 1 кг продукта, не более	При размере отдельных частиц не более 0,3 мм в наибольшем линейном измерении	Не обнаружено	Не обнаружено
Наличие зараженности и загрязненности вредителями хлебных запасов	Не допускается	Не обнаружено	Не обнаружено
Для безглютеновых макаронных изделий, отправляемых в районы Крайнего Севера и труднодоступные районы, а также морским путем, — не более 11%.			

⁴⁵ Там же.

⁴⁶ ТР ТС 015/2011. (2011). Технический регламент Таможенного союза. <https://docs.cntd.ru/document/902320395>

В Казахстане есть возможность возделывания сельскохозяйственных культур, не содержащих глютен, как рис, кукуруза и гречиха. Рис возделываются в Кызылординской, Туркестанской и Алматинской областях и на 2020 год засеяно 230 тысяч гектаров, при средней урожайности 61,8 ц/га валовый сбор составил 551 тыс тонн, при внутреннем спросе 133 тыс. тонн. Из Казахстана 35-38 процентов из 551 тыс тонн риса экспортируется в качестве сырья.

Микробиологические показатели и показатели безопасности безглютеновых видов муки казахстанского происхождения соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011⁴⁷. По содержанию жира и клетчатки отличаются все исследуемые виды муки из Казахстана по сравнению с пробами фирмы «Гарнец» на 0,3-1,0 % и могут быть использованы для производства безглютеновой продукции как самостоятельно, так и в сочетании с другими нетрадиционными видами муки. По результатам проведенных исследований разработана технология безглютеновой муки и макаронных изделий с использованием сырья Республики Казахстан.

ВЫВОДЫ

По результатам проведенных исследований изучены показатели качества и безопасности нетрадиционных видов муки из казахстанского сырья для производства безглютеновых макаронных изделий.

Установлено, что представленные образцы безглютеновых смесей из гречневой муки и кукурузной муки, смесей из кукурузной и рисовой муки, а также макаронных изделий из этих смесей, по физико-химическим и микробиологическим показателям соответствуют действующим нормативным документам и имеют хороший товарный вид. Результаты исследований имеют мультипликативный эффект: спрос на безглютеновые виды муки приведет к диверсификации растениеводства и к увеличению посевных площадей риса кукурузы,

проса, масличных и бобовых культур и возрождению новых перерабатывающих предприятий различной мощности.

Необходимо продолжить исследования и расширить ассортимент безглютеновых макаронных изделий с использованием амарантовой, нутовой, соевой и других нетрадиционных видов муки.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Материалы подготовлены в рамках выполнения проекта «Разработка технологии безглютеновых макаронных изделий на основе отечественного сырья» в рамках научно-технической программы BR10764977 «Разработка современных технологий производства БАДов, ферментов, заквасок, крахмала, масел и др. в целях обеспечения развития пищевой промышленности» в рамках научно-технической программы BR10764977 «Разработка современных технологий производства БАДов, ферментов, заквасок, крахмала, масел и др. в целях обеспечения развития пищевой промышленности», бюджетной программы 267 «Повышение доступности знаний и научных исследований» подпрограмма 101 «Программно-целевое финансирование научных исследований и мероприятий» Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан на 2021–2023 годы.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Абуова А. Б.: концептуализация; создание черновика рукописи; создание рукописи и её редактирование.

Муслимов Н. Ж.: администрирование проекта.

Кабылда А. И.: визуализация; проведение исследования.

⁴⁷ ТР ТС 021/2011. (2011). *О безопасности пищевой продукции*. <https://docs.cntd.ru/document/902320560>

ЛИТЕРАТУРА

- Абуова, А. Б., Байкенов, А. О., Кизатова, М. Е., Есимова, Ж. А., & Умирзакова, Г. А. (2021). Анализ альтернативных источников отечественного сырья для макаронного производства. *Новости науки Казахстана*, (4), 115–124.
- Бавыкина, И. А., Перцева, М. В., & Бавыкин, Д. В. (2018). Безглютеновая диета и целиакия при расстройствах аутистического спектра. *Медицина: Теория и практика*, 3(1), 17–18.
- Ботбаева, Ж. Т., Полуботько, О. В., & Байкенов, А. О. (2018). Состояние и перспективы производства в Казахстане безглютеновой продукции. В *Передовые пищевые технологии: Состояние, тренды, точки роста: Материалы I научно-практической конференции* (с. 533–537). М.: Московский государственный университет пищевых производств.
- Гапонова, Л. В., Полежаева, Т. А., Гапонова, О. М., & Матвеева, Г. А. (2014). Безлактозные безглютеновые продукты на зернобобовой основе для питания людей с целиакией и лактазной недостаточностью. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*, (5), 47–48.
- Гарькина, П. К., Шабурова, Г. В., Курочкин, А. А., & Лукьянова, Е. А. (2020). Оптимизация состава композитной смеси на основе безглютенового сырья. *Современная наука и инновации*, (4), 53–57. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2020.4.7>.
- Дмитриева, Ю. А., Захарова, И. Н., Радченко, Е. Р., Воробьева, А. С., Скоробогатова, Е. В., Полякова, Ж. В., Бочарова, Т. И., & Шулешко, О. В. (2021). Роль и место безглютеновой диеты в питании детей. *Практика педиатра*, (1), 17–25.
- Жаркова, И. М., Лавров, С. В., Самохвалов, А. А., Гребенщиков, А. В., & Мирошниченко, Л. А. (2019). Разработка функциональных пищевых продуктов для безглютенового и геродиетического питания, в том числе для профилактики остеопороза. *Хлебопродукты*, (12), 53–55. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-28-12-53-55>.
- Жаркова, И. М., Сафонова, Ю. А., Густинович, В. Г., & Ильева, Т. Л. (2020). Разработка технологии и оценка эффективности нового продукта — функционального безглютенового кекса. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 70–85. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.215>.
- Изгаев, А. И., & Исакова, Г. К. (2014). *Инновационные технологии макаронных изделий на основе зерновых и бобовых культур*. Алматы: АТУ.
- Кадникова, И. А., Сенотрусов, Д. Ю., & Каленик, Т. К. (2021). Исследование структурно-механических свойств безглютенового теста. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, (4), 43–46. <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2021-69-4-43-46>.
- Кирдяшкин, В. В., Кандроков, Р. Х., Андреева, А. А., & Щебелев, В. И. (2020). Получение высокодисперсной гречневой муки для детского питания с применением инфракрасной обработки. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 43–54. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.357>.
- Коломникова, Я. П., Литвинова, Е. В., Анохина, С. И., & Текутьева, Ю. А. (2016). Использование нетрадиционного сырья при производстве безглютеновых мучных кулинарных изделий с целью повышения пищевой ценности. *Актуальная биотехнология*, (1), 45–48.
- Корнева, О. А., Дунец, Е. Г., Полозюк, Т. Д., & Федосеева, А. В. (2020). Оценка пищевой и биологической ценности пресного теста из безглютеновой мучной смеси. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, (1), 96–99. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.1.27>.
- Корнева, О. А., Дунец, Е. Г., Полозюк, Т. Д., Канская, Е. К., & Федосеева, А. В. (2019). Технология безглютеновых вафельных изделий на основе нетрадиционных видов растительного сырья. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, (5–6), 44–47. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.5-6.11>.
- Масалова, В. В., & Оботурова, Н. П. (2016). Перспективы использования безглютенового растительного сырья в производстве пищевых продуктов для диетического и профилактического питания. *Пищевая промышленность*, (3), 16–20.
- Никитин, И. А., Кулаков, В. Г., Коровина, Е. С., & Пыресева, А. И. (2016). Фрагментарное исследование рынка функциональных продуктов питания из безглютенового сырья. *Хлебопродукты*, (11), 29–31.
- Никонорова, Ю. Ю., Косых, Л. А., & Сыркина, Л. Ф. (2022). Исследование функциональных безглютеновых кексов из сорговой муки разных сортов. *Пищевая промышленность*, (1), 55–58. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.1.1.012>.
- Орлова, Т. В., & Кудинов, П. И. (2020). Разработка рецептуры и технологии производства хлеба на основе безглютеновых мучных смесей. *Ползуновский вестник*, (2), 50–57. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.010>.
- Плотникова, И. В., Магомедов, Г. О., Шевякова, Т. А., Тигранян, В. Ж., Мирзеханова, Н. Н., & Плотников, В. Е. (2021). Безглютеновые масляные бисквиты для питания детей школьного возраста. *Хлебопродукты*, (2), 49–53. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-2-49-53>.
- Попов, В. Г., Хайруллина, Н. Г., & Садыкова, Х. Н. (2021). Тенденции использования безглютеновых видов муки в производстве продукции функционального назначения. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 83(1), 121–128. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-121-128>.
- Рыбенко, М. В., Нигметова, Э. К., Ушакова, Ю. В., Белоглазова, К. Е., Рысмухамбетова, Г. Е., & Карпунина, Л. В. (2021). Рецептура творожного суфле для безглютенового питания. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, (4), 45–48. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2021.4.9>

- Рыжакова, А. В., & Головизнина, М. С. (2019). Использование альтернативных видов сырья при создании безглютеновой кондитерской продукции. *Пищевая промышленность. Наука и технологии*, 12(3), 42–48.
- Стрелкова, А. К., Красина, И. Б., Филиппова, Е. В., & Лысенко, А. В. (2021). Влияние сахарозаменителей и пищевых волокон на текстурные свойства безглютенового теста и печенья. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, (2–3), 45–49. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2021.2-3.11>.
- Терновской, Г. В., Филимонова, Т. А., Беньаш, С. Ю., & Хегай, Р. Л. (2017). Обогащение безглютенового хлеба полноценным белком. *Хлебопечение России*, (1), 18–19.
- Тиунов, В. М., Крюкова, Е. В., & Кокорева, Л. А. (2020). Разработка безглютенового рациона питания для детей с пищевой аллергией. *Пищевая промышленность*, (11), 67–69. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10131>.
- Урубков, С. А., Хованская, С. С., & Смирнов, С. О. (2019). Содержание основных нутриентов в продуктах переработки безглютеновых зерновых культур при производстве продукции для детского питания. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Пищевые и биотехнологии*, 7(4), 32–38.
- Фахртдинова, Л. Т., Садыгова, М. К., Кириллова, Т. В., & Сайдуллаева, Ю. Т. (2021). Разработка рецептуры заварного полуфабриката специализированного назначения на основе безглютенового сырья. *Хлебопродукты*, (3), 26–31. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-3-26-31>.
- Шаймерденова, Д. А., Махамбетова, А. А., Чаканова, Ж. М., Сарбасова, Г. Т., Искакова, Д. М., & Бекболатова, М. Б. (2020). Технологии производства безглютенового хлеба и национального мучного продукта теста для бешбармака. *Вестник Алматинского технологического университета*, (2), 82–90.
- Шаншарова, Д. А., Гривна, Л., & Сарсекова, А. К. (2020). Разработка рецептуры и технологии безглютенового печенья на основе природного растительного сырья. *Механика и технологии*, (3), 57–63.
- Шаршунов, В. А., Урбанчик, Е. Н., Масальцева, А. И., & Галдова, М. Н. (2019). Получение биологически активного сырья из зерна проса для производства безглютеновых хлебобулочных изделий. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*, (2), 275–279.
- Щеколдина, Т. В. (2019). Разработка технологии и оценка качества безглютенового сахарного печенья, обогащенного функциональным ингредиентом. *Промышленность и сельское хозяйство*, (10), 6–15.
- Юрчак, В. Г., & Рожно, А. В. (2017). Технологические свойства кукурузной муки, их влияние на качество полуфабрикатов и безглютеновых макаронных изделий. *Вестник Алматинского технологического университета*, (2), 13–19.
- Fry, L., Madden, A. M., & Fallaize, R. (2018). An investigation into the nutritional composition and cost of gluten free versus regular food products in the UK. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 31(1), 108–120. <https://doi.org/10.1111/jhn.12502>
- Giuberti G., Fortunati, P., Gallo, A., & Marti, A. (2017). Gluten free rice cookies with resistant starch ingredients from modified waxy rice starches: Nutritional aspects and textural characteristics. *Journal of Cereal Science*, (76), 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.06.008>
- Giuberti, G., & Gallo, A. (2018). Reducing the glycaemic index and increasing the slowly digestible starch content in gluten-free cereal-based foods: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(1), 50–60. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13552>
- Ushakova, Y. V., Rysmukhambetova, G. E., Ziruk, I. V., Belova, M. V., & Sadygova, M. K. (2021). Development criteria for gluten-free foods. In *Ensuring sustainable development in the context of agriculture, green energy, ecology and earth science: International scientific and practical conference* (pp. 3–6). IOP Publishing LTD.
- Woomer, J. S., & Adedeji, A. A. (2021). Current applications of gluten-free grains: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(1), 14–24. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1713724>

REFERENCES

- Abuova, A. B., Baikenov, A. O., Kizatova, M. E., Esimova, Zh. A., & Umirzakova, G. A. (2021). Analiz al'ternativnykh istochnikov otechestvennogo syr'ya dlya makaronnogo proizvodstva [Analysis of alternative sources of domestic raw materials for pasta production]. *Novosti nauki Kazakhstan [Kazakhstan Science News]*, (4), 115–124.
- Bavykina, I. A., Pertseva, M. V., & Bavykin, D. V. (2018). Bezglyutenovaya dieta i tseliakiya pri rasstroistvakh avtisticheskogo spectra [Gluten-free diet and celiac disease in autism spectrum disorders]. *Meditsina: Teoriya i praktika [Medicine: Theory and Practice]*, 3(1), 17–18.
- Botbaeva, Zh. T., Polubot'ko, O. V., & Baikenov, A. O. (2018). Sostoyanie i perspektivy proizvodstva v Kazakhstane bezglyutenovoi produktsii [The state and prospects of production of gluten-free products in Kazakhstan]. In *Peredovye pishchevye tekhnologii: Sostoyanie, trendy, tochki rosta: Materialy I nauchno-prakticheskoi konferentsii [Advanced food technologies: State, trends, growth points: Materials of the First scientific and practical conference]* (pp. 533–537). Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv.
- Dmitrieva, Yu. A., Zakharova, I. N., Radchenko, E. R., Vorob'eva, A. S., & Skorobogatova, E. V., Polyakova, Zh. V., Bocharova, T. I., & Shuleshko, O. V. (2021). Rol' i mesto bezglyutenovoi diety v pitanii detei [The role and place of a gluten-free diet in the nutrition of children]. *Praktika pediatria [Pediatrician's Practice]*, (1), 17–25.

- Fakhrtudinova, L. T., Sadygova, M. K., Kirillova, T. V., & Saidulaeva, Yu. T. (2021). Razrabotka retseptury zavarnogo polufabrikata spetsializirovannogo naznacheniya na osnove bezglyutenovogo syr'ya [Development of a recipe for a semi-finished custard for specialized purposes based on gluten-free raw materials]. *Khleboprodukty [Bread Products]*, (3), 26–31. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-3-26-31>
- Gaponova, L. V., Polezhaeva, T. A., Gaponova, O. M., & Matveeva, G. A. (2014). Bezlaktoznye bezglyutenovye produkty na zernobobovoi osnove dlya pitaniya lyudei s tseliakiei i laktaznoi nedostatochnost'yu [Lactose-free gluten-free products based on legumes for the nutrition of people with celiac disease and lactase deficiency]. *Ekspierimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya [Experimental and Clinical Gastroenterology]*, (5), 47–48.
- Gar'kina, P. K., Shaburova, G. V., Kurochkin, A. A., & Luk'yanova, E. A. (2020). Optimizatsiya sostava kompozitnoi smesi na osnove bezglyutenovogo syr'ya [Optimization of the composition of a composite mixture based on gluten-free raw materials]. *Sovremennaya nauka i innovatsii [Modern Science and Innovation]*, (4), 53–57. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2020.4.7>
- Iztaev, A. I., & Isakova, G. K. (2014). *Innovatsionnye tekhnologii makaronnykh izdelii na osnove zernovykh i bobovykh kul'tur [Innovative technologies of pasta based on cereals and legumes]*. Almaty: ATU.
- Kadnikova, I. A., Senotrusov, D. Yu., & Kalenik, T. K. (2021). Issledovanie strukturno-mekhanicheskikh svoystv bezglyutenovogo testa [Investigation of structural and mechanical properties of gluten-free dough]. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov [Technology and commodity science of innovative food products]*, (4), 43–46. <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2021-69-4-43-46>
- Kirdyashkin, V. V., Kandrov, R. Kh., Andreeva, A. A., & Shchebelev, V. I. (2020). Poluchenie vysokodispersnoi grechnevoi muki dlya detskogo pitaniya s primeneniem infrakrasnoi obrabotki [Obtaining highly dispersed buckwheat flour for baby food using infrared processing]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and Processing of Farm Products]*, (4), 43–54. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.357>
- Kolomnikova, Ya. P., Litvinova, E. V., Anokhina, S. I., & Tekut'eva, Yu. A. (2016). Ispol'zovanie netraditsionnogo syr'ya pri proizvodstve bezglyutenovykh muchnykh kulinarnykh izdelii s tsel'yu povysheniya pishchevoi tsennosti [The use of non-traditional raw materials in the production of gluten-free flour culinary products in order to increase nutritional value]. *Aktual'naya biotekhnologiya [Current Biotechnology]*, (1), 45–48.
- Korneva, O. A., Dunets, E. G., Polozyuk, T. D., & Fedoseeva, A. V. (2020). Otsenka pishchevoi i biologicheskoi tsennosti presnogo testa iz bezglyutenovoi muchnoi smesi [Assessment of the nutritional and biological value of unleavened dough from gluten-free flour mixture]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya [News of Higher Educational Institutions. Food Technology]*, (1), 96–99. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.1.27>
- Korneva, O. A., Dunets, E. G., Polozyuk, T. D., Kanskaya, E. K., & Fedoseeva, A. V. (2019). Tekhnologiya bezglyutenovykh vafel'nykh izdelii na osnove netraditsionnykh vidov rastitel'nogo syr'ya [Technology of gluten-free waffle products based on non-traditional types of vegetable raw materials]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya [News of Higher Educational Institutions. Food Technology]*, (5–6), 44–47. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.5-6.11>
- Masalova, V. V., & Oboturova, N. P. (2016). Perspektivy ispol'zovaniya bezglyutenovogo rastitel'nogo syr'ya v proizvodstve pishchevykh produktov dlya dieticheskogo i profilakticheskogo pitaniya [Prospects for the use of gluten-free plant raw materials in the production of food products for dietary and preventive nutrition]. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*, (3), 16–20.
- Nikitin, I. A., Kulakov, V. G., Korovina, E. S., & Pyreseva, A. I. (2016). Fragmentarnoe issledovanie rynka funktsional'nykh produktov pitaniya iz bezglyutenovogo syr'ya [Fragmentary market research of functional food products from gluten-free raw materials]. *Khleboprodukty [Bread Products]*, (11), 29–31.
- Nikonorova, Yu. Yu., Kosykh, L. A., & Syrkina, L. F. (2022). Issledovanie funktsional'nykh bezglyutenovykh keksov iz sorgovoi muki raznykh sortov [Research of functional gluten-free cupcakes from sorghum flour of different varieties]. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*, (1), 55–58. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.1.1.012>
- Orlova, T. V., & Kudinov, P. I. (2020). Razrabotka retseptury i tekhnologii proizvodstva khleba na osnove bezglyutenovykh muchnykh smesi [Development of a recipe and technology for the production of bread based on gluten-free flour mixtures]. *Polzunovskii vestnik [Polzunovsky Bulletin]*, (2), 50–57. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.010>
- Plotnikova, I. V., Magomedov, G. O., Shevyakova, T. A., Tigranyan, V. Zh., Mirzebalaeva, N. N., & Plotnikov, V. E. (2021). Bezglyutenovye maslyanye biskvity dlya pitaniya detei shkol'nogo vozrasta [Gluten-free butter biscuits for school-age children]. *Khleboprodukty [Bread Products]*, (2), 49–53. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-2-49-53>
- Popov, V. G., Khairullina, N. G., & Sadykova, Kh. N. (2021). Tendentsii ispol'zovaniya bezglyutenovykh vidov muki v proizvodstve produktsii funktsional'nogo naznacheniya [Trends in the use of gluten-free types of flour in the production of functional products]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies]*, 83(1), 121–128. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-121-128>
- Rybenko, M. V., Nigmatova, E. K., Ushakova, Yu. V., Beloglazova, K. E., Rysmukhambetova, G. E., & Karpunina, L. V. (2021). Retseptura tvorozhnogo sufle dlya bezglyutenovogo pitaniya [Recipe of cottage cheese souffle for gluten-free food]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya [News of Higher Educational Institutions. Food Technology]*, (4), 45–48. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2021.4.9>

- Ryzhakova, A. V., & Goloviznina, M. S. (2019). Ispol'zovanie al'ternativnykh vidov syr'ya pri sozdanii bezglyutenovoi konditerskoi produktsii [The use of alternative raw materials in the creation of gluten-free confectionery products]. *Pishchevaya promyshlennost'. Nauka i tekhnologii* [Food Industry. Science and Technology], 12(3), 42–48.
- Shaimerdenova, D. A., Makhambetova, A. A., Chakanova, Zh. M., Sarbasova, G. T., Iskakova, D. M., & Bekbolatova, M. B. (2020). Tekhnologii proizvodstva bezglyutenovogo khleba i natsional'nogo muchnogo produkta testa dlya beshbarmaka [Technologies for the production of gluten-free bread and the national flour product dough for beshbarmak]. *Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Almaty Technological University], (2), 82–90.
- Shansharova, D. A., Grivna, L., & Sarsekova, A. K. (2020). Razrabotka retseptury i tekhnologii bezglyutenovogo pechen'ya na osnove prirodnogo rastitel'nogo syr'ya [Development of the recipe and technology of gluten-free cookies based on natural vegetable raw materials]. *Mekhanika i tekhnologii* [Mechanics and Technology], (3), 57–63.
- Sharshunov, V. A., Urbanchik, E. N., Masal'tseva, A. I., & Galdova, M. N. (2019). Poluchenie biologicheskii aktivnogo syr'ya iz zerna prosa dlya proizvodstva bezglyutenovykh khlebobulochnykh izdelii [Obtaining biologically active raw materials from millet grain for the production of gluten-free bakery products]. *Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy], (2), 275–279.
- Shchekoldina, T. V. (2019). Razrabotka tekhnologii i otsenka kachestva bezglyutenovogo sakharnogo pechen'ya, obogashchennogo funktsional'nym ingredientom [Technology development and quality assessment of gluten-free sugar cookies enriched with a functional ingredient]. *Promyshlennost' i sel'skoe khozyaistvo* [Industry and Agriculture], (10), 6–15.
- Strelkova, A. K., Krasina, I. B., Filippova, E. V., & Lysenko, A. V. (2021). Vliyanie sakharozamenitelei i pishchevykh volokon na tekturnye svoystva bezglyutenovogo testa i pechen'ya [The effect of sweeteners and dietary fibers on the textural properties of gluten-free dough and cookies]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya* [News of Higher Educational Institutions. Food Technology], (2–3), 45–49. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2021.2-3.11>
- Ternovskoi, G. V., Filimonova, T. A., Benyash, S. Yu., & Khagai, R. L. (2017). Obogashchenie bezglyutenovogo khleba polnotsennym belkom [Fortification of gluten-free bread with high-grade protein]. *Khlebopechenie Rossii* [Bakery of Russia], (1), 18–19.
- Tiunov, V. M., Kryukova, E. V., & Kokoreva, L. A. (2020). Razrabotka bezglyutenovogo ratsiona pitaniya dlya detei s pishchevoi allergiei [Development of a gluten-free diet for children with food allergies]. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*, (11), 67–69. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10131>
- Urubkov, S. A., Khovanskaya, S. S., & Smirnov, S. O. (2019). Soderzhanie osnovnykh nutrientov v produktakh pererabotki bezglyutenovykh zernovykh kul'tur pri proizvodstve produktsii dlya detskogo pitaniya [The content of the main nutrients in gluten-free grain processing products in the production of baby food products]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Pishchevye i biotekhnologii* [Bulletin of the South Ural State University. Food and Biotechnology], 7(4), 32–38.
- Yurchak, V. G., & Rozhno, A. V. (2017). Tekhnologicheskie svoystva kukuruznoi muki, ikh vliyanie na kachestvo polufabrikatov i bezglyutenovykh makaronnykh izdelii [Technological properties of corn flour, their impact on the quality of semi-finished products and gluten-free pasta]. *Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Almaty Technological University], (2), 13–19.
- Zharkova, I. M., Lavrov, S. V., Samokhvalov, A. A., Grebenshchikov, A. V., & Miroshnichenko, L. A. (2019). Razrabotka funktsional'nykh pishchevykh produktov dlya bezglyutenovogo i gerodieticheskogo pitaniya, v tom chisle dlya profilaktiki osteoporoza [Development of functional food products for gluten-free and gerodietic nutrition, including for the prevention of osteoporosis]. *Khleboprodukty* [Bread Products], (12), 53–55. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-28-12-53-55>
- Zharkova, I. M., Safonova, Yu. A., Gustinovich, V. G., & Il'eva, T. L. (2020). Razrabotka tekhnologii i otsenka effektivnosti novogo produkta — funktsional'nogo bezglyutenovogo keksha [Technology development and evaluation of the effectiveness of a new product — a functional gluten-free cupcake]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (1), 70–85. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.215>
- Fry, L., Madden, A. M., & Fallaize, R. (2018). An investigation into the nutritional composition and cost of gluten free versus regular food products in the UK. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 31(1), 108–120. <https://doi.org/10.1111/jhn.12502>
- Giuberti G., Fortunati, P., Gallo, A., & Marti, A. (2017). Gluten free rice cookies with resistant starch ingredients from modified waxy rice starches: Nutritional aspects and textural characteristics. *Journal of Cereal Science*, (76), 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.06.008>
- Giuberti, G., & Gallo, A. (2018). Reducing the glycaemic index and increasing the slowly digestible starch content in gluten-free cereal-based foods: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(1), 50–60. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13552>
- Ushakova, Y. V., Rysmukhambetova, G. E., Ziruk, I. V., Belova, M. V., & Sadygova, M. K. (2021). Development criteria for gluten-free foods. In *Ensuring sustainable development in the context of agriculture, green energy, ecology and earth science: International scientific and practical conference* (pp. 3–6). IOP Publishing LTD.
- Woomer, J. S., & Adedeji, A. A. (2021). Current applications of gluten-free grains: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(1), 14–24. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1713724>

УДК 664.665 : 577.15

Разработка технологии хлебобулочных изделий с введением горохового гидролизата

¹ Новосибирский государственный технический университет

² Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

³ Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Елена Сергеевна Бычкова

Адрес: 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

E-mail: bychkova.nstu@gmail.com

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Бычкова, Е. С., Подгорбунских, Е. М., Рождественская, Л. Н., Бухтояров, В. А., & Кудачева, П. В. (2022). Применение растительного белка в разработке хлебобулочных изделий. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3).

ПОСТУПИЛА: 21.08.2022

ПРИНЯТА: 25.09.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



Е. С. Бычкова¹, Е. М. Подгорбунских², Л. Н. Рождественская^{1,3}, В. А. Бухтояров², П. В. Кудачёва¹

АННОТАЦИЯ

Введение. Современные мировые тенденции употребления растительного и животного белка обуславливают превалирование потребления продуктов питания, обогащенных растительным белком. Данный факт связан с тем, что получение растительного белка является наиболее экономически выгодным, экологически безопасным и потенциально несет ценную пищевую компоненту. Известно, что растительный белок усваивается в организме на уровне 61–80 % ввиду наличия антипитательных веществ и имеет неполноценный аминокислотный состав. Целесообразным является изучение новых научных подходов повышения биодоступности пищевых компонентов растительного белкового сырья.

Цель. Формирование и оценка качества хлебобулочных изделий, приготовленных с использованием технологии механоферментативного гидролиза гороха.

Методы. Горох подвергался тонкому измельчению совместно с ферментативным препаратом с последующей стадией ферментативного гидролиза при оптимальных параметрах. Гороховый гидролизат использовали в технологии приготовления хлебобулочных изделий.

Результаты. Установлены технологические параметры приготовления хлебобулочных изделий с введением горохового гидролизата. Оптимальным методом приготовления теста был признан опарный способ замеса, поскольку готовые изделия имели высокие органолептические показатели качества. Экспериментально установлено пороговое количественное значение механически активированного гороха — 15 % к общему содержанию муки в тесте. Общее количество водорастворимых веществ в образцах хлебобулочных изделий с гидролизатом увеличилось более, чем в 2 раза.

Выводы. Готовые изделия с гороховым гидролизатом рекомендуется употреблять в пищу людям с аллергической реакцией на белок бобовых, а также в рационе здоровых людей для повышения доли усвоения растительного белка. Разработка новых продуктов с применением стадии ферментации — это перспективное направление индустрии питания, которое позволяет получать качественно новые изделия с высокой пищевой и биологической ценностью.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

растительный белок, растительное сырье, семена гороха, механическая обработка, ферментативный гидролиз, функциональный пищевой продукт, аминокислоты

Development of Technology for Bakery Products with the Introduction of Pea Hydrolyzate

¹ Novosibirsk State Technical University

² Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry Siberian Branch Russian Academy of Sciences

³ Novosibirsk Research Institute of Hygiene Rospotrebnadzor

Elena S. Bychkova¹, Ekaterina M. Podgorbunskikh²,
Lada N. Rozhdestvenskaya^{1,3}, Vladimir A. Buchtoyarov²,
Polina V. Kudacheva¹

CORRESPONDENCE:

Elena S. Bychkova

Address: 20 Prospekt K. Marksa,
Novosibirsk, 630073, Russia
E-mail: bychkova.nstu@gmail.com

FOR CITATIONS:

Bychkova, E. S., Podgorbunskikh, E. M., Rozhdestvenskaya, L. N., Buchtoyarov, V. A., & Kudacheva, P. V. (2022). Development of technology for bakery products with the introduction of Pea Hydrolyzate. *Storage and Processing of Farm Products*, (3).
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.371>

RECEIVED: 21.08.2022

ACCEPTED: 25.09.2022

PUBLISHED: 30.09.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction. Current global trends in plant and animal protein consumption are tilting global society towards the prevalence of consumption of foods fortified with plant protein. This is due to several prevailing aspects: obtaining plant protein is more cost-effective, environmentally friendly and potentially carries a more valuable nutritional component. It is known that plant protein is assimilated in the body at the level of 62–80 % due to the presence of anti-nutrients and has an imperfect amino acid composition. New scientific approaches should be sought to increase the bioavailability of food components of plant protein raw materials.

Purpose. Formation and evaluation of the quality of bakery products prepared using the technology of mechanoenzymatic hydrolysis of peas.

Methods. Peas were subjected to fine grinding together with an enzymatic complex, followed by an enzymatic hydrolysis step at optimal parameters. Pea hydrolyzate was used in the technology of making bakery products.

Results. The technological parameters for the preparation of bakery products with the addition of pea hydrolysate were established. Optimal method of preparing dough was recognized opaque method of kneading, as the finished products had high organoleptic quality indicators. The threshold quantitative value of mechanically activated peas was experimentally established – 15 % of the total flour content in the dough. The total amount of water-soluble substances in the finished samples of bakery products with hydrolysate increased more than 2-fold.

Conclusions. Ready-made bakery products with pea hydrolysate are recommended for people with an allergic reaction to legume protein, as well as in the diet of healthy people to increase the proportion of absorption of plant protein. Development of new products using the fermentation stage is a promising direction of the food industry, which makes it possible to obtain qualitatively new products with high nutritional and biological value.

KEYWORDS

plant protein, plant raw materials, pea seeds, mechanical treatment, enzymatic hydrolysis, functional food product, amino acids

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время интенсивно растет спрос потребителей на продукты функционального и специализированного назначения. Данный факт связан с тем, что значительная часть мирового населения стремится к здоровому образу жизни, рациональному и сбалансированному питанию (Tur & Bibiloni, 2016; Misra et al., 2021). Наиболее целесообразным является производство функциональных и специализированных продуктов массового употребления, по отношению к которым у населения сложилась устойчивая потребность. В первую очередь, к такой категории товаров относятся хлеб и хлебобулочные изделия. Касательно обогащающих компонентов актуальным является включение в рецептуры белковой составляющей (Sharif et al., 2022). В качестве источника белка можно использовать как сырье растительного происхождения, так и животного (Ismail et al., 2020). Получение растительного белка является экономически выгодным, экологически безопасным и потенциально несет более ценную пищевую компоненту (Hertzler et al., 2020). При употреблении продуктов питания животного происхождения помимо полноценного белка в организм поступает холестерин и насыщенные жирные кислоты, которые оказывают негативное влияние на состояние здоровья человека. При употреблении продуктов с растительным белком, дополнительно организм получает комплекс витаминов, минеральных веществ и пищевых волокон (Langyan et al., 2022).

Мировое сообщество претерпевает глобальные изменения в продовольственном секторе. Спровоцированный пандемией COVID-19 дефицит белковых продуктов (в частности, мяса) открыл потенциальные возможности для сектора альтернативных белков. Нехватка мяса в начале пандемии привела к увеличению потребительского спроса на растительные источники белка (Meticulous Research®, 2020). Перенесенная коронавирусная инфекция, как демонстрируют многочисленные медицинские исследования, оказывает серьезное влияние на развитие и усугубление сопутствующих заболеваний, таких как диабет (Abu-Farha et al., 2020; Eberle & Stichling, 2021), гипертония (Muhamad et al., 2021) и болезни сердца (Soumya et al., 2021). В данном случае диета на основе альтернативного белка может помочь снизить негативные последствия, спровоцированные

вирусом, для людей из групп риска. Таким образом, пандемия COVID-19 ускоряет развитие производства и реализации альтернативных белков.

Для обогащения пищевых продуктов растительными белками в основном используют бобовые, в большей мере горох, а также чечевицу, сою, нут и фасоль (Kaur et al., 2013; Bulut et al., 2022). Часто возникающей проблемой, связанной с употреблением бобовых, является проявление аллергической реакции организма на растительный белок (Huby et al., 2000; Verma et al., 2013; Abrams & Gerstner, 2015; Sampson, 2016). Аллергенный ответ может варьироваться от легких кожных реакций до угрожающей жизни анафилаксии. Аллергия чаще всего проявляется от употребления следующих видов бобовых: арахиса, сои, чечевицы, нута, гороха и фасоли. Большинство идентифицированных аллергенов рассматриваемых культур относятся к семейству запасных белков, профилинам и белкам, связанным с патогенезом. Бобовые также обладают свойством иммунологической перекрестной реактивности между собой и из других источников, что значительно увеличивает серьезность аллергенного ответа. Снизить или исключить аллергическую реакцию на белок возможно, изменив его структурные свойства путем термического или физического воздействия (Verhoeckx et al., 2015; Pekar et al., 2018).

При проектировании рецептур пищевых продуктов с белками растительного происхождения следует учитывать, что аминокислотный состав белоксодержащего растительного сырья не отвечает требованием полноценности и усваивается в диапазоне 61–80 % в виду наличия антипитательных веществ (Parca et al., 2018). В мировой практике существует ряд подходов к увеличению биологической ценности растительного белкового сырья, вплоть до генной модификации. Но в основном применяемые методы либо малоэффективны, либо экономически не выгодны. Наиболее результативным способом изменения белковой молекулы является применение технологии ферментативного гидролиза (El Mecherfi et al., 2020; Etemadian et al., 2021). Ключевым моментом работы, выделяющих ее среди остальных, является применение механической обработки растительного сырья совместно с ферментативным препаратом перед проведением гидролиза для повышения эффективности протеолиза с дальнейшим включением гидролизата в состав хлебобулочных изделий.

Цель исследования: формирование и оценка качества пищевых продуктов, приготовленных с использованием технологии механоферментативного гидролиза гороха. Методология представленного исследования заключается в выстраивании последовательных логически связанных технологических этапов разработки хлебобулочных изделий с гороховым гидролизатом и исследовании эффективности внесения гидролизата в тесто. Результатом исследования явилось то, что полученные новые продукты питания с включением горохового гидролизата обладают приемлемыми потребительскими качествами и высокой пищевой ценностью.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

В качестве материалов для исследования использовали семена гороха (горох колотый, I сорт, ГОСТ 6201-68¹, ООО «ЭКО-ПАК», Новосибирская область) и комплексный ферментный препарат «Фидбест VPro» (ООО ПО «Сиббиофарм», г. Бердск), характеризующийся следующим профилем каталитической активности: ксилазная активность не менее 10000 ед/г; бета-глюканазная активность не менее 3500 ед/г; пектиназная активность не менее 5000 ед/г; протеолитическая активность не менее 120 ед/г. Для приготовления хлебобулочных изделий использовали коммерчески доступные ингредиенты: мука пшеничная первого сорта (ГОСТ 26574-2017²), семена гороха, дрожжи прессованные (ГОСТ Р 54731-2011³), сыворотка молочная, масло сливочное, отруби, морковь, семена льна, соль, сахар, бычий сывороточный альбумин (БСА) («AppliChem», Германия), вода дистиллированная (ГОСТ Р 58144-2018⁴), гексацианоферрат (III) калия х.ч. ГОСТ 4206-75⁵ («Реахим», Россия), D(+)-Глюкоза (99 %, «SIGMA», США). Нингидрин (хч, ЗАО «СоюзХимПром», Россия).

Оборудование

Механическая обработка семян гороха проводилась в центробежно-роlikовой мельнице РМ-20 (производство ИХТТМ СО РАН, г. Новосибирск, мощность 5,5 кВт, скорость подачи сырья 8 кг/час). Мелющие тела — стальные ролики, зафиксированные на вращающихся валах. Экстрактор Сокслета 50×250 мм, DWK Life Sciences (Duran, Wheaton, Kimble). Спектрофотометр СФ-2000 (ООО «ОКБ СПЕКТР», Россия) с диапазоном длин волн 190-1100 нм. Камера для вертикального электрофореза «HeliconVE-20» (ООО «Helicon», США). Водяная баня WSB-30 (DAIHAN Scientific, Корея). Хроматограф жидкостный Agilent 1200 (Agilent Technologies, США). Масс-спектрометр Agilent 6410 QQQ (Agilent Technologies, США).

Методы и инструменты

Ферментативный гидролиз механически обработанной гороховой биомассы проводили в течение 5 часов при 50 °С и перемешивании 120 об/мин. Суспензии тщательно перемешивали, помещали на водяную баню. Надосадочную жидкость после проведения реакции ферментативного гидролиза отделяли центрифугированием (20 минут, 6000 rpm).

Содержание восстанавливающих сахаров определяли спектрофотометрическим методом Хагедорна-Йенсена. Анализ на количественное содержание белка в готовых изделиях проводили по методу Брэдфорда. Калибровочный график строили по раствору БСА, концентрация 1 мг/мл. Для оценки количества аминокислот в экстрактах использовали реакцию с нингидрином с последующей оценкой интенсивности окрашивания раствора на длине волны 590 нм. Для определения водорастворимых веществ использовали метод исчерпывающей экстракции в экстракторе Сокслета в течение 24 часов. Содержание свободных аминокислот определяли с помощью ВЭЖХ-МС/МС в Центре масс-спектрометрического анализа (ИХБФМ СО РАН).

¹ ГОСТ 6201-68 (2010). *Горох шлифованный. Технические условия*. М: Стандартинформ.

² ГОСТ 26574-2017 (2018). *Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия*. М: Стандартинформ.

³ ГОСТ Р 54731-2011 (2013). *Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия*. М: Стандартинформ.

⁴ ГОСТ Р 58144-2018 (2022). *Вода дистиллированная. Технические условия*. М: Стандартинформ.

⁵ ГОСТ 4206-75. (1993). *Реактивы. Калий железосинеродистый. Технические условия*. М.: Стандартиздат.

Процедура исследования

Механическая обработка семян гороха осуществлялась по методу Bukhtoyarov et al. (2015) в два этапа: первый — предварительное измельчение на ножевой мельнице до частиц с размерами менее 2 мм; второй — механическая обработка совместно с ферментным препаратом на центробежно-роlikовой мельнице РМ-20. Данный режим механической обработки позволяет разупорядочить ультраструктуру растительного сырья при сохранении каталитической активности ферментного препарата.

Полученный механоферментативный полупродукт — совместно механически обработанная гороховая биомасса и ферментативный препарат — подвергался последующему ферментативному гидролизу. Полученный гидролизат вводили в тесто с целью активизации процесса брожения дрожжевого теста и повышения биологической ценности готовых изделий. Для обоснования эффективности воздействия гидролизата на процесс брожения определяли сухой нерастворимый остаток на разных модельных образцах опары. Выведены уравнения регрессии по трем взаимосвязанным показателям.

Для оценки новых рецептов хлебобулочных изделий с использованием горохового гидролизата проводилось изучение физико-химических показателей: содержание белка, количество аминокислот, содержание водорастворимых веществ, содержание свободных аминокислот.

Анализ данных

Результаты представлены в виде среднего значения $\pm$ стандартное отклонение (SD).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Методология разработки белоксодержащего пищевого продукта

В организации научного исследования важен системный подход с пошаговым выстраиванием концепции разработки. Формирование методологии создания пищевого продукта необходимо для построения логической связи между последова-

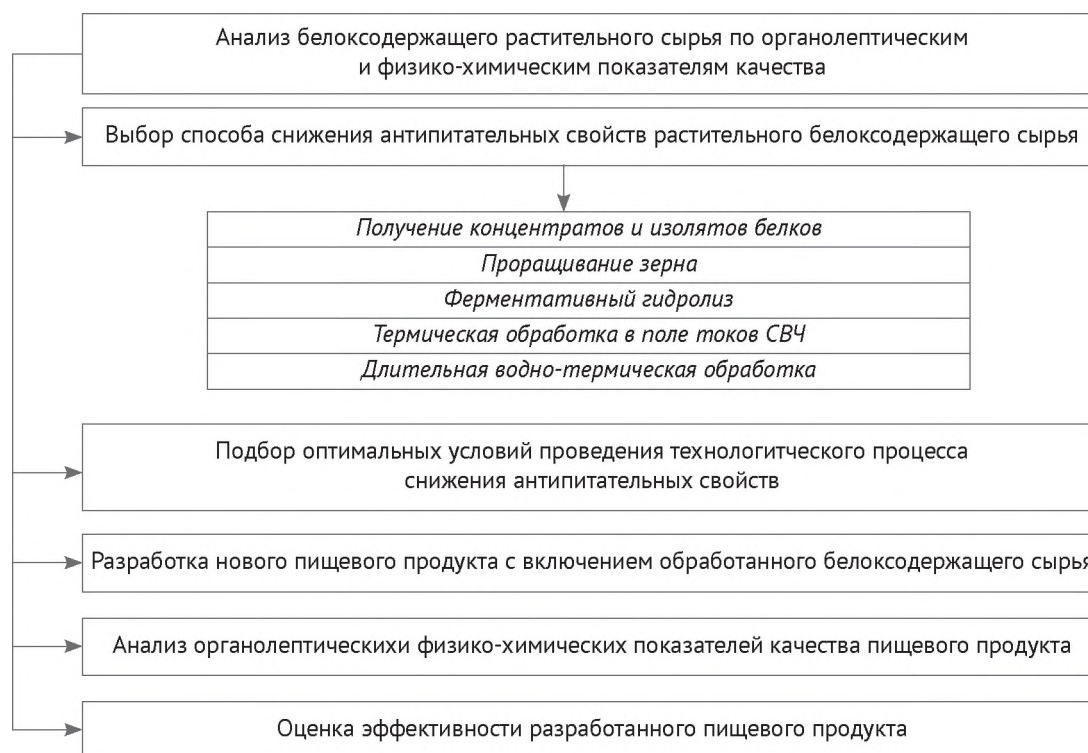


Рисунок 1

Алгоритм проектирования белоксодержащего пищевого продукта

тельными этапами для эффективной реализации поставленных задач. Комплексный подход, объединяющий принципы, алгоритмы и механизмы разработки продуктов, позволяет систематизировать организацию создания пищевого продукта и последовательность научных исследований. На Рисунке 1 представлен пошаговый алгоритм проектирования белоксодержащего пищевого продукта.

Механоферментативный гидролиз белоксодержащего сырья

В качестве объекта исследования были выбраны семена гороха. В качестве метода снижения антипитательных свойств сырья в работе была применена стадия ферментативного гидролиза. На начальном этапе подготовки сырья семена гороха подвергали механической обработке совместно с ферментным препаратом «Фидбест VGPro». Многочисленные работы подтверждают эффективность предварительной обработки сырья для интенсификации последующей стадии ферментативного гидролиза, к подобным технологиям относят микроволновое излучение (El Mecherfi et al., 2019), гидростатическое давление (Quirós et al., 2007) и ультразвук (Li et al., 2016). В данной работе исследовано влияние предварительной механической обработки зерен гороха на последующую стадию ферментативного гидролиза. Было показано, что проведение механической обработки без добавления ферментного препарата (ферменты вносятся непосредственно перед гидролизом и механической обработке не подвергаются) приводит практически к двукратному снижению скорости гидролиза по сравнению с системой «совместно обработанное сырье + фермент» (Bychkov et al., 2019).

По скорости накопления водорастворимых веществ установлены оптимальные параметры проведения гидролиза: концентрация ферментного препарата 2 масс.%; продолжительность проведения гидролиза — 5 часов. Дополнительное введение фермента не оказывает влияние на скорость ферментативной реакции, так как при концентрации около 2 масс.% происходит полное заполнение поверхности субстрата ферментом. Готовый гороховый гидролизат характеризуется текучей консистенцией, с запахом и привкусом гороха, цвет кремовый с сероватым оттенком.

Подбор пищевой основы для введения горохового гидролизата

Для формирования нового пищевого продукта важен научный подход к выбору пищевой основы. При обосновании ассортимента пищевых продуктов, подходящих для введения растительных гидролизатов, использовали результаты анализа прогнозируемого влияния обработанного белоксодержащего сырья на качество пищевой основы, в том числе на органолептические показатели и функциональные свойства. Оптимальными пищевыми основами для введения полученного обработанного зерна гороха являются супы-пюре, соусы, некоторые гарниры и тесто (Bychkova et al., 2016). Благодаря тому, что гороховый гидролизат содержит высокое количество редуцирующих углеводов (16,3 %) и других водорастворимых веществ (78,5 %), он может стать питательным субстратом для дрожжей, на чем обосновывается целесообразность введения гидролизата в дрожжевое тесто, что продемонстрировано в работе.

Модель процесса замеса дрожжевого теста с включением горохового гидролизата представлена в виде параметрической схемы, в которой учтены параметры возмущения, наблюдения и управления (Рисунок 2). Параметрическая схема позволяет сформировать систему влияния факторов на технологический процесс и реализовать многофакторное управление процессом для получения оптимального результата.

В соответствии с Рисунком 2 для определения оптимальных параметров процесса замеса дрожжевого теста с гороховым гидролизатом необходимо использовать метод многофакторного эксперимента, как позволяющего учесть и выявить взаимодействия факторов и их влияние на изучаемый процесс.

Математическое моделирование зависимости образования сухого нерастворимого остатка от количественного соотношения компонентов

Проведен комплексный эксперимент влияния двух варьируемых факторов (количества дрожжей и гидролизата) на количество сухого нерастворимого остатка. После реализации эксперимента по матрице планирования эксперимента (Таблица 1) и полу-

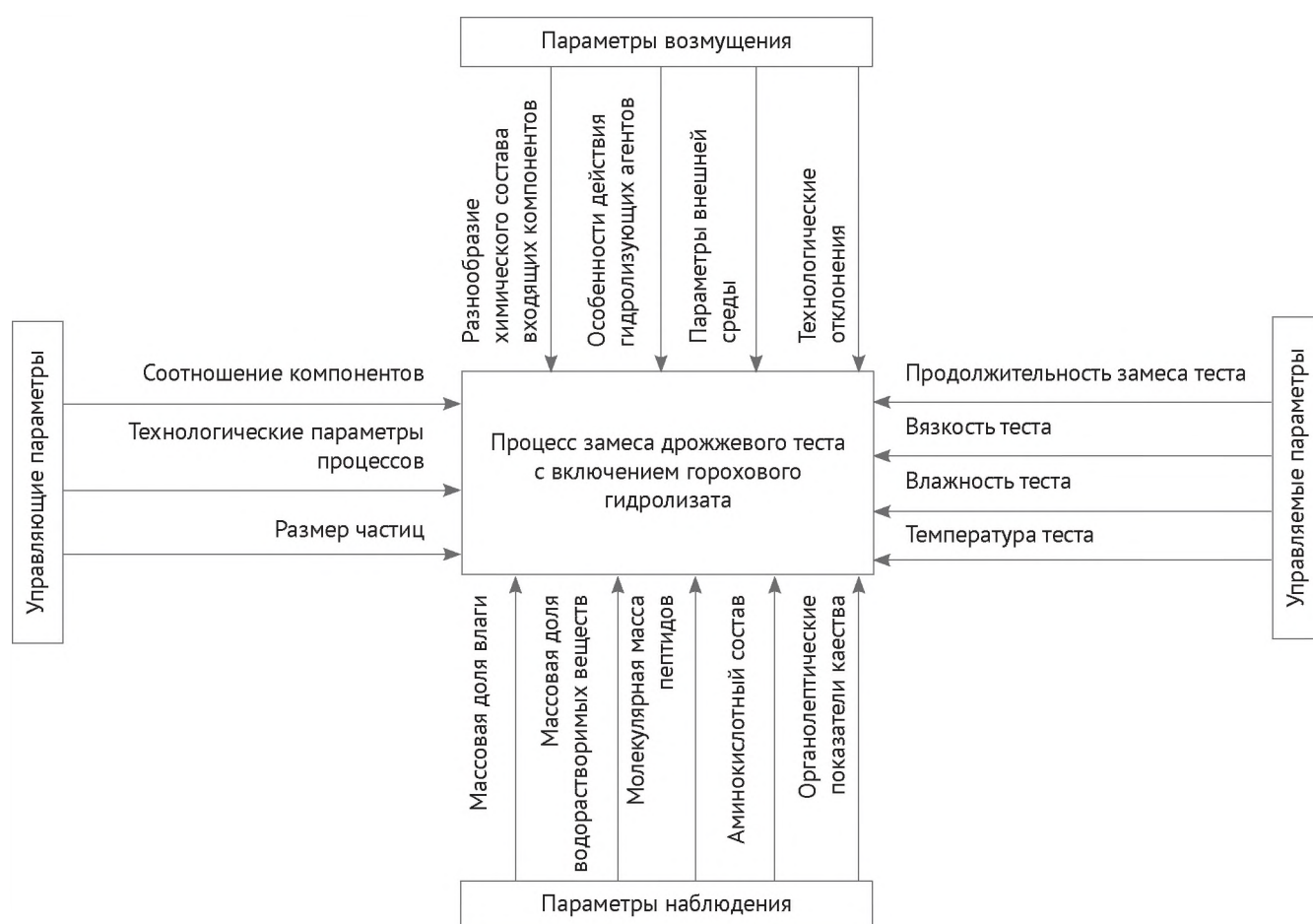


Рисунок 2

Параметрическая схема замеса дрожжевого теста с гороховым гидролизатом

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

Фактор	Уровни варьирования			Шаг варьирования
	нижний	нулевой	верхний	
Количество дрожжей, г	1	2	3	1
Количество гидролизата, г	20	30	40	10

чения значений критерия оптимизации проведена обработка результатов.

Уравнение регрессии определения сухого нерастворимого осадка от количественного соотношения гидролизата и дрожжей имеет вид:

$$Z = 14,9994 - 0,8883X - 0,0605Y,$$

где X — количество дрожжей, г; Y — количество гидролизата, г; Z — сухой нерастворимый остаток, г.

По совокупности результатов экспериментов можно сделать вывод о том, что с увеличением количества дрожжей и гидролизата в модельных образцах опары интенсивнее идет процесс образования водорастворимых веществ, как следствие, повышается газообразующая способность теста и уменьшается количество нерастворимых веществ. С помощью моделирования можно прогнозировать химический состав изделий в зависимости от соотношения исходных компонентов.

При частичной замене пшеничной муки гороховым сырьем снижается гидрофильность системы, что связано с накоплением водорастворимых веществ (Nogueira et al., 2020). Экспериментально установлено пороговое количественное значение механически активированного гороха — 15 % к общему содержанию муки в тесте. При такой концентрации ведения растительного белоксодержащего сырья не нарушаются структурно-механические и физико-химические свойства теста.

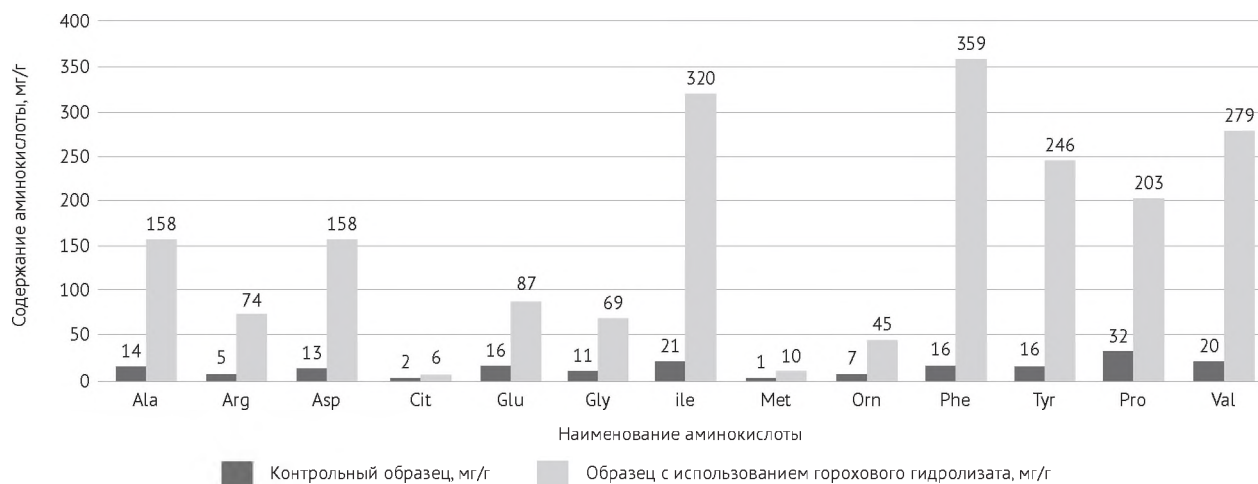


Рисунок 3

Аминокислотный состав изделий

Органолептические и физико-химические показатели качества хлебобулочных изделий

Известно, что повышение концентрации свободных аминокислот в тесте значительно меняет восприятие хлебобулочного изделия, вплоть до ощущения неприятного вкуса и темного цвета корочки (Thiele et al., 2002). В связи с этим комплексная органолептическая оценка хлебобулочных изделий, полученных с применением горохового гидролизата, является необходимым этапом исследования. По органолептическим показателям качества готовые изделия имеют не расплывчатую форму, цвет от светло-коричневого до темно-коричневого, пористость однородная, без пустот и уплотнений, мякиш пропеченный, вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего вкуса и запаха.

В Таблице 2 представлены данные по содержанию общего количества водорастворимых веществ, количественное содержание белка и аминокислот в контрольных образцах и в образцах с гидролизатом. Установлено, что в изделиях с гидролизатом количество белка меньше, а количество концевых аминокислот больше по сравнению с контрольными образцами, что объясняется процессом ферментативного расщепления белка под действием протеаз. Снижение концентрации белка в процессе ферментативного гидролиза является ожидаемым явлением, описанным ранее (Gain et al., 2015).

Целесообразность стадии механоферментативного гидролиза дополнительно обоснована увеличением свободных аминокислот в разработанных образцах по сравнению с контрольным (Рисунок 3).

Таблица 2

Физико-химические показатели качества готовых изделий, приготовленных опарным и безопарным способом с включением гидролизата и без него

Наименование образца	Общее количество водорастворимых веществ, %	Количество белка, мг/мл	Количество аминокислот, мг/мл
Контрольный образец	26,8 ± 1,2	3,6 ± 0,2	0,4 ± 0,02
Образец с гидролизатом	68,3 ± 4,5	1,6 ± 0,1	2,3 ± 0,1

ВЫВОДЫ

Разработаны рецептуры хлебобулочных изделий с использованием технологии механоферментативного гидролиза гороха. Структурно-параметрический анализ процесса замеса дрожжевого теста с растительным гидролизатом позволяет более детально изучить процесс, установить взаимосвязанные параметры и оптимизировать качественные характеристики.

Эффективность воздействия технологии ферментации обоснована насыщением состава изделий свободными аминокислотами и соответственно снижением количественного содержания белка. Установлены технологические параметры приготовления хлебобулочных изделий с введением горохового гидролизата. Оптимальным методом замеса теста является опарный способ, поскольку хлебобулочные изделия обладали лучшими органолептическими показателями качества. Экспери-

ментально установлено пороговое количественное значение механически активированного гороха — 15 % от содержания муки в тесте. Общее количество водорастворимых веществ в готовых образцах хлебобулочных изделий с гидролизатом увеличилось более, чем в 2 раза.

Разработанные образцы рекомендованы к употреблению людям с аллергической реакцией на белок бобовых, а также в рационе здоровых людей для повышения доли усвоения растительного белка. Разработка новых изделий с применением стадии ферментации — это перспективное направление индустрии питания, которое позволяет получать качественно новые изделия с высокой пищевой и биологической ценностью.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке в рамках реализации программы развития НГТУ, научный проект № С22-16.

ЛИТЕРАТУРА

- Abrams, E. M., & Gerstner, T. V. (2015). Allergy to cooked, but not raw, peas: a case series and review. *Allergy, Asthma and Clinical Immunology*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13223-015-0077-x>
- Abu-Farha, M., Al-Mulla, F., Thanaraj, T. A., Kavalakatt, S., Ali, H., Abdul Ghani, M., & Abubaker, J. (2020). Impact of diabetes in patients diagnosed with COVID-19. *Frontiers in Immunology*, 11, 576818. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.576818>
- Bukhtoyarov, V. A., Bychkov, A. L., & Lomovskii, O. I. (2015). Effect of lignocellulose substrate on enzyme denaturation during joint mechanical treatment. *Russian Chemical Bulletin*, 64, 948–951. <https://doi.org/10.1007/s11172-015-0960-0>
- Bulut, M., Adal, E., & Aktar, T. (2022). Plant protein enrichment effect on the physical, chemical, microbiological, and sensory characteristics of yogurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, #e16865 <https://doi.org/10.1111/jfpp.16865>
- Bychkov, A. L., Gavrilova, K. V., Bychkova, E. S., Akimenko, Z. A., Chernonozov, A. A., Kalambet, Y. A., & Lomovskii, O. I. (2019). Fractionation and hydrolysis of proteins of plant raw materials obtaining functional nutrition products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 479, 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/479/1/012001>
- Bychkova, E. S., Pogorova, V. D., Bychkov A. L., Lomovsky, O. I., Ogienko, A. G., Beyzel, N. F., Zubareva, A. P., & Chernonozov, A. A. (2016). Development of puree-soups recipes, based on pea hydrolyzate. Part II. Evaluation of the puree-soups quality of special purpose. *Food Industry*, 11, 50–52.
- Eberle, C., & Stichling S. (2021). Impact of COVID-19 lockdown on glycemic control in patients with type 1 and type 2 diabetes mellitus: a systematic review. *Diabetol Metab Syndr*, 13, 95. <https://doi.org/10.1186/s13098-021-00705-9>
- El Mecherfi, K. E., Curet, S., Lupi, R., Larré, C., Rouaud, O., Choiset, Y., Rabesona, H., & Haertlé, T. (2019). Combined microwave processing and enzymatic proteolysis of bovine whey proteins: the impact on bovine β -lactoglobulin allergenicity. *J Food Sci Technol*. 56(1), 177–186. 10.1007/s13197-018-3471-9
- El Mecherfi, K. -E., Todorov, S. D., Cavalcanti de Albuquerque, M. A., Denery-Papini, S., Lupi, R., Haertlé, T., Dora Gombossy de Melo Franco, B., & Larré, C. (2020). Allergenicity of Fermented Foods: Emphasis on Seeds Protein-Based Products. *Foods*, 9, 792. <https://doi.org/10.3390/foods9060792>
- Etemadian, Y., Ghaemi, V., Shaviklo, A. R., Pourashouri, P., Mahoonak, A. R. S., & Rafipour, F. (2021). Development of animal/ plant-based protein hydrolysate and its application in food, feed and nutraceutical industries: State of the art. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123219>
- Gani, A., Broadway, A. A., Ahmad, M., Ashwar, B. A., Wani, A. A., Wani, S. M., Masoodi, F. A., & Khatkar, B. S. (2015). Effect of whey and casein protein hydrolysates on rheological, textural and sensory properties of cookies. *J Food Sci Technol*, 52(9), 5718–26. 10.1007/s13197-014-1649-3

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Бычкова Е. С.: концептуализация; методология; создание черновика рукописи; получение финансирования, создание рукописи и ее редактирование.

Подгорбунских Е. М.: проведение исследования; ресурсы; создание рукописи и её редактирование; визуализация.

Рождественская Л. Н.: концептуализация; верификация данных; ресурсы; руководство исследованием.

Бухтояров В. А.: верификация данных; формальный анализ; проведение исследования; ресурсы.

Кудачёва П. В.: проведение исследования; администрирование данных; создание черновика рукописи; визуализация.

- Hertzler, S. R., Lieblein-Boff, J. C.; Weiler, M., & Allgeier, C. (2020). Plant Proteins: Assessing Their Nutritional Quality and Effects on Health and Physical Function. *Nutrients*, 12, 3704. <https://doi.org/10.3390/nu12123704>
- Huby, R. D. J., Dearman, R. J., & Kimber, I. (2000). Why are some proteins allergens? *Toxicological Sciences*, 55(2), 235–246. <https://doi.org/10.1093/toxsci/55.2.235>
- Ismail, B P., Senaratne-Lenagala, L., Stube, A., & Brackenridge, A. (2020). Protein demand: review of plant and animal proteins used in alternative protein product development and production. *Animal Frontiers*, 10(4), 53–63. <https://doi.org/10.1093/af/vfaa040>
- Kaur, G., Sharma, S., Nagi, H. P. S., & Ranote P. S. (2013). Enrichment of pasta with different plant proteins. *J. Food Sci. Technol.*, 50, 1000–1005. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0404-2>
- Langyan, S., Yadava, P., Khan, F. N., Dar, Z. A., Singh, R., & Kumar, A. (2022). Sustaining Protein Nutrition Through Plant-Based Foods. *Front. Nutr.* 8, 772573. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.772573>
- Li, S., Yang, X., Zhang, Y., Ma, H., Liang, Q., Qu, W., He, R., Zhou, C., & Mahunu, G. K. (2016). Effects of ultrasound and ultrasound assisted alkaline pretreatments on the enzymolysis and structural characteristics of rice protein. *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.ulsonch.2015.11.019>
- Meticulous Research®. (2020). COVID-19 Impact on Alternative Protein Industry: Meticulous Research® Viewpoint. <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/06/01/2041606/0/en/COVID-19-Impact-on-Alternative-%20Protein-Industry-Meticulous-Research-Viewpoint.html>
- Misra, S., Pandey, P., & Mishra, H. N. (2021). Novel approaches for co-encapsulation of probiotic bacteria with bioactive compounds, their healthbenefits and functional food product development: a review. *Trends Food Sci.Technol.*, 109, 340–351. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.039>
- Muhamad, S.- A., Ugusman, A., Kumar, J., Skiba, D., Hamid, A. A., & Aminuddin, A. (2021). COVID-19 and hypertension: The what, the why, and the how. *Frontiers in Physiology*, 12, 665064. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.665064>
- Nogueira, A. de C., de Oliveira, R. A., & Steel, C. J. (2020). Protein enrichment of wheat flour doughs: empirical rheology using protein hydrolysates. *Food Sci. Technol (Campinas)*, 40, <https://doi.org/10.1590/fst.06219>
- Parca F., Koca Y. O., & Unay A. (2018). Nutritional and antinutritional factors of some pulses seed and their effects on human health. *International Journal of Secondary Metabolite*, 5(4), 331–342. <https://doi.org/10.21448/ijsm.488651>
- Pekar, J., Ret, D., & Untersmayr, E. (2018). Stability of allergens. *Molecular Immunology*, 100, 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.03.017>
- Quirós, A., Chichón, R., Recio, I., & López-Fandiño, R. (2007). The use of high hydrostatic pressure to promote the proteolysis and release of bioactive peptides from ovalbumin. *Food Chemistry*, 104, 1734–1739. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.050>
- Sampson, H. A. (2016). Food allergy: Past, present and future. *Allergology International*, 65(4), 363–369. <https://doi.org/10.1016/j.alit.2016.08.006>
- Sharif, M. K., Saleem, M., Sharif, H. R., & Saleem, R. (2022). Enrichment and Fortification of Traditional Foods with Plant Protein Isolates. In A. Manickavasagan, L. T. Lim, A. Ali (Eds.), *Plant Protein Foods*. Springer, Cham. (pp. 131–169). https://doi.org/10.1007/978-3-030-91206-2_5
- Soumya, R. S., Govindan Unni, T., & Raghu, K. G. (2021). Impact of COVID-19 on the Cardiovascular System: A Review of Available Reports. *Cardiovascular Drugs and Therapy*, 35, 411–425. <https://doi.org/10.1007/s10557-020-07073-y>
- Thiele, C., Gänzle, M. G., & Vogel, R. F. (2002). Contribution of sourdough lactobacilli, yeast, and cereal enzymes to the generation of amino acids in dough relevant for bread flavor. *Cereal Chemistry*, 79, 45–51. <https://doi.org/10.1094/CCEM.2002.79.1.45>
- Tur, J. A., & Bibiloni, M. M. (2016). Functional Foods. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health*, (pp. 157–161). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00340-8>
- Verhoeckx, K. C. M., Vissers, Y. M., Baumert, J. L., Faludi, R., Feys, M., Flanagan S., Herouet-Guicheney, C., Holzhauser, T., Shimojo, R., van der Bolt, N., Wichers, H., & Kimber, I. (2015). Food processing and allergenicity. *Food and Chemical Toxicology*, 80, 223–240. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.03.005>
- Verma, A. K., Kumar, S., Das, M., & Dwivedi, P. D. (2013). A comprehensive review of legume allergy. *Clinical Reviews in Allergy and Immunology*, 45(1), 30–46. <https://doi.org/10.1007/s12016-012-8310-6>

REFERENCES

- Abrams, E. M., & Gerstner, T. V. (2015). Allergy to cooked, but not raw, peas: a case series and review. *Allergy, Asthma and Clinical Immunology*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13223-015-0077-x>
- Abu-Farha, M., Al-Mulla, F., Thanaraj, T. A., Kavalakatt, S., Ali, H., Abdul Ghani, M., & Abubaker, J. (2020). Impact of diabetes in patients diagnosed with COVID-19. *Frontiers in Immunology*, 11, 576818. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.576818>
- Bukhtoyarov, V. A., Bychkov, A. L., & Lomovskii, O. I. (2015). Effect of lignocellulose substrate on enzyme denaturation during joint mechanical treatment. *Russian Chemical Bulletin*, 64, 948–951. <https://doi.org/10.1007/s11172-015-0960-0>
- Bulut, M., Adal, E., & Aktar, T. (2022). Plant protein enrichment effect on the physical, chemical, microbiological, and sensory characteristics of yogurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, #e16865 <https://doi.org/10.1111/jfpp.16865>
- Bychkov, A. L., Gavrilova, K. V., Bychkova, E. S., Akimenko, Z. A., Chernonosov, A. A., Kalambet, Y. A., & Lomovskii, O. I. (2019). Fractionation and hydrolysis of proteins of plant raw materials obtaining functional nutrition products. *IOP Conference Series: Materials Science and*

- Engineering*, 479, 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/479/1/012001>
- Bychkova, E. S., Pogorova, V. D., Bychkov A. L., Lomovsky, O. I., Ogienko, A. G., Beyzel, N. F., Zubareva, A. P., & Chernon-
osov, A. A. (2016). Development of puree-soups recipes,
based on pea hydrolyzate. Part II. Evaluation of the pu-
ree-soups quality of special purpose. *Food Industry*. 11,
50–52.
- Eberle, C., & Stichling S. (2021). Impact of COVID-19 lock-
down on glycemic control in patients with type 1 and type
2 diabetes mellitus: a systematic review. *Diabetol Metab
Syndr*, 13, 95. <https://doi.org/10.1186/s13098-021-00705-9>
- El Mecherfi, K. E., Curet, S., Lupi, R., Larré, C., Rouaud, O.,
Choiset, Y., Rabesona, H., & Haertlé, T. (2019). Combined
microwave processing and enzymatic proteolysis of bo-
vine whey proteins: the impact on bovine β -lactoglobulin
allergenicity. *J Food Sci Technol*. 56(1), 177–186. 10.1007/
s13197-018-3471-9
- El Mecherfi, K. -E., Todorov, S. D., Cavalcanti de Albuquer-
que, M. A., Denery-Papini, S., Lupi, R., Haertlé, T., Dora
Gombossy de Melo Franco, B., & Larré, C. (2020). Al-
lergenicity of Fermented Foods: Emphasis on Seeds
Protein-Based Products. *Foods*, 9, 792. <https://doi.org/10.3390/foods9060792>
- Etemadian, Y., Ghaemi, V., Shaviklo, A. R., Pourashouri, P.,
Mahoonak, A. R. S., & Rafipour, F. (2021). Development
of animal/ plant-based protein hydrolysate and its appli-
cation in food, feed and nutraceutical industries: State of
the art. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123219>.
- Gani, A., Broadway, A. A., Ahmad, M., Ashwar, B. A., Wani, A. A.,
Wani, S. M., Masoodi, F. A., & Khatkar, B. S. (2015). Effect
of whey and casein protein hydrolysates on rheological,
textural and sensory properties of cookies. *J Food Sci
Technol*, 52(9), 5718–26. 10.1007/s13197-014-1649-3
- Hertzler, S. R., Lieblein-Boff, J. C.; Weiler, M., & Allgeier, C.
(2020). Plant Proteins: Assessing Their Nutritional Quali-
ty and Effects on Health and Physical Function. *Nutrients*,
12, 3704. <https://doi.org/10.3390/nu12123704>
- Huby, R. D. J., Dearman, R. J., & Kimber, I. (2000). Why are
some proteins allergens? *Toxicological Sciences*, 55(2),
235–246. <https://doi.org/10.1093/toxsci/55.2.235>
- Ismail, B P., Senaratne-Lenagala, L., Stube, A., & Bracken-
ridge, A. (2020). Protein demand: review of plant and an-
imal proteins used in alternative protein product devel-
opment and production. *Animal Frontiers*, 10(4), 53–63.
<https://doi.org/10.1093/af/vfaa040>
- Kaur, G., Sharma, S., Nagi, H. P. S., & Ranote P. S. (2013). En-
richment of pasta with different plant proteins. *J. Food
Sci. Technol.*, 50, 1000–1005. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0404-2>
- Langyan, S., Yadava, P., Khan, F. N., Dar, Z. A., Singh, R., &
Kumar, A. (2022). Sustaining Protein Nutrition Through
Plant-Based Foods. *Front. Nutr.* 8, 772573. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.772573>
- Li, S., Yang, X., Zhang, Y., Ma, H., Liang, Q., Qu, W., He, R.,
Zhou, C., & Mahunu, G. K. (2016). Effects of ultrasound
and ultrasound assisted alkaline pretreatments on the
enzymolysis and structural characteristics of rice pro-
tein. *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.11.019>
- Meticulous Research®. (2020). COVID-19 Impact on Alterna-
tive Protein Industry: Meticulous Research® Viewpoint.
<https://www.globenewswire.com/news-release/2020/06/01/2041606/0/en/COVID-19-Impact-on-Alternative-%20Protein-Industry-Meticulous-Research-Viewpoint.html>
- Misra, S., Pandey, P., & Mishra, H. N. (2021). Novel approach-
es for co-encapsulation of probiotic bacteria with bioac-
tive compounds, their healthbenefits and functional food
product development: a review. *Trends Food Sci.Technol.*,
109, 340–351. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.039>
- Muhamad, S.- A., Ugusman, A., Kumar, J., Skiba, D., Ha-
mid, A. A., & Aminuddin, A. (2021). COVID-19 and
hypertension: The what, the why, and the how. *Frontiers in Physiology*, 12, 665064. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.665064>
- Nogueira, A. de C., de Oliveira, R. A., & Steel, C. J. (2020). Pro-
tein enrichment of wheat flour doughs: empirical rheol-
ogy using protein hydrolysates. *Food Sci. Technol (Campi-
nas)*, 40, <https://doi.org/10.1590/fst.06219>
- Parca F., Koca Y. O., & Unay A. (2018). Nutritional and antinu-
tritional factors of some pulses seed and their effects on
human health. *International Journal of Secondary Metabo-
lite*, 5(4), 331–342. <https://doi.org/10.21448/ijism.488651>
- Pekar, J., Ret, D., & Untersmayr, E. (2018). Stability of al-
lergens. *Molecular Immunology*, 100, 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.03.017>
- Quirós, A., Chichón, R., Recio, I., & López-Fandiño, R.
(2007). The use of high hydrostatic pressure to promote
the proteolysis and release of bioactive peptides from
ovalbumin. *Food Chemistry*, 104, 1734–1739. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.050>
- Sampson, H. A. (2016). Food allergy: Past, present and future.
Allergology International, 65(4), 363–369. <https://doi.org/10.1016/j.alit.2016.08.006>
- Sharif, M. K., Saleem, M., Sharif, H. R., & Saleem, R. (2022).
Enrichment and Fortification of Traditional Foods with
Plant Protein Isolates. In A. Manickavasagan, L. T. Lim, A.
Ali (Eds.), *Plant Protein Foods*. Springer, Cham. (pp. 131–
169). https://doi.org/10.1007/978-3-030-91206-2_5
- Soumya, R. S., Govindan Unni, T., & Raghu, K. G. (2021). Im-
pact of COVID-19 on the Cardiovascular System: A Review
of Available Reports. *Cardiovascular Drugs and Therapy*, 35,
411–425. <https://doi.org/10.1007/s10557-020-07073-y>
- Thiele, C., Gänzle, M. G., & Vogel, R. F. (2002). Contribution of
sourdough lactobacilli, yeast, and cereal enzymes to the
generation of amino acids in dough relevant for bread fla-
vor. *Cereal Chemistry*, 79, 45–51. <https://doi.org/10.1094/CCEM.2002.79.1.45>
- Tur, J. A., & Bibiloni, M. M. (2016). Functional Foods. In B.
Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of
Food and Health*, (pp. 157–161). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00340-8>.
- Verhoeckx, K. C. M., Vissers, Y. M., Baumert, J. L., Falu-
di, R., Feys, M., Flanagan S., Herouet-Guicheney, C.,
Holzhauser, T., Shimojo, R., van der Bolt, N., Wichers, H.,
& Kimber, I. (2015). Food processing and allergenicity.
Food and Chemical Toxicology, 80, 223–240. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.03.005>
- Verma, A. K., Kumar, S., Das, M., & Dwivedi, P. D. (2013).
A comprehensive review of legume allergy. *Clinical Re-
views in Allergy and Immunology*, 45(1), 30–46. <https://doi.org/10.1007/s12016-012-8310-6>

УДК 577.1

Исследование влияние предварительной обработки жома сахарной свёклы (*Beta vulgaris* L.) на молекулярную структуру лигнина

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Всероссийский научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

² Московский государственный университет пищевых производств

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

142703, Россия, Московская область, Ленинский городской округ, г. Видное, ул. Школьная, д.78.

Электронная почта: nauka@vniitek.ru

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

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Царёва, М. А., Казанце, Е. В., Протункевич, И. В., & Горячева, Е. Д. (2022). Исследование влияние предварительной обработки жома сахарной свёклы (*Beta vulgaris* L.) на молекулярную структуру лигнина. *Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции*, (3). <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.364>

ПОСТУПИЛА: 05.08.2022

ПРИНЯТА: 12.09.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



М. А. Царёва¹, Е. В. Казанцев¹, И. В. Протункевич¹, Е. Д. Горячева²

АННОТАЦИЯ

Введение. Лигнин представляет собой разветвлённый биополимер полифенольной природы сетчатого строения, который входит в состав матрикса клеточной стенки всех высших растений. Наиболее изучена молекулярная структура и потребительские свойства лигнинов, получаемых из продуктов переработки древесины. В силу «рафинированности» структуры потребительские свойства древесного лигнина как такового ограничены. Большой потенциал как лигнин-содержащего сырья имеет жом сахарной свёклы. Однако молекулярная структура, вид химических связей с компонентами матрикса клеточных ещё недостаточно изучен, так же, как и влияние условий извлечения на свойства получаемого лигнина. Таким образом, исследование особенностей связи лигнина в растительной ткани и влияния условий извлечения на состав функциональных групп и связей является весьма актуальным.

Цель. Изучить влияние условий извлечения на состав функциональных групп и химических связей лигнина из свекловичного жома с учётом потенциала связи с пектиновыми и гемицеллюлозными компонентами матрикса клеточных стенок сырья.

Материалы и методы. Объектами исследований были образцы лигнина, выделенные из жома сахарной свёклы. В основу метода положен сравнительный анализ ИК-спектром образцов лигнина, полученных с использованием ацетона и ДМСО в качестве растворителей из двух вариантов лигнин-содержащих препаратов: один вариант был выделен после этапа предварительного удаления из жома пектиновых веществ, второй препарат был выделен после предварительного удаления пектиновых веществ и гемицеллюлоз.

Результаты. Установлено, что как по составу, так и по выраженности пиков, соответствующих функциональным группам и химическим связям в составе молекул, в ИК-спектрах исследованные образцы лигнина идентичны, вследствие чего этап предварительного удаления гемицеллюлоз практической значимости не имеет. Экспериментально определена принадлежность лигнина жома сахарной свёклы к гваяцил-сирингильному типу. В структуре образцов лигнина установлено наличие пектиновых остатков и молекулярно-связанной воды, что указывает на исключительную прочность связей в клеточной стенке между лигнином и пектином. Связь посредством эфира с феруловой кислотой оказалась прочнее, чем отдельные внутри- и межмолекулярные связи, гидролитически расщепляемые на этапе удаления пектина из сырья.

Выводы. Отсутствие значимого влияния этапа предварительного удаления гемицеллюлоз имеет потенциал уменьшения его себестоимости производства лигнина. Присутствие в составе молекулярной структуры свекловичного лигнина пектиновых остатков может, потенциально, существенно расширить как спектр его потребительских свойств (предположительно, образования пространственной структуры, избирательной сорбции и активного влияния на вязкость), так и сфер применения (в пищевой промышленности: за счёт возможного увеличения гидрофильности функциональный или антимикробный компонент). Это делает весьма актуальным продолжение исследований в данном направлении.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

лигнин, ИК-спектроскопия, жом сахарной свёклы, гваяцилпропановые мономеры, сирингилпропановые мономеры, гваяцил-сирингильный тип, пектин, феруловая кислота

Study on the Effect of Sugar Beet Pulp Pretreatment (*Beta Vulgaris L.*) on the Molecular Structure of Lignin

¹ Russian Research Institute of Canning Technology – branch of Gorbato Research Center for Food Systems

² Moscow State University of Food Production

Maria A. Tsareva¹, Egor V. Kazantsev¹, Irina V. Protunkevich¹, Elena D. Goryacheva²

CORRESPONDENCE:

78 Scholnaya Str., Vidnoye, Moscow region, 142703, Russia
E-mail: nauka@vniitek.ru

FOR CITATIONS:

Tsareva, M. A., Kazantsev, E. V., Protunkevich, I. V., & Goryacheva, E. D. (2022). Study on the effect of sugar beet pulp pretreatment (*Beta Vulgaris L.*) on the molecular structure of Lignin. *Storage and Processing of Farm Products*, (3). <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.364>

RECEIVED: 05.08.2022

ACCEPTED: 12.09.2022

PUBLISHED: 30.09.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction. Lignin is a branched biopolymer of a polyphenolic nature with a network structure, which is part of the cell wall matrix of all higher plants. The molecular structure and consumer properties of lignins obtained from wood processing products have been studied the most. Due to the “refined” structure, the consumer properties of wood lignin as such are limited. Sugar beet pulp has great potential as a lignin-containing raw material. However, the molecular structure, the type of chemical bonds with the components of the cellular matrix is still not well understood, as well as the effect of extraction conditions on the properties of the resulting lignin. Thus, the study of the features of the lignin bond in plant tissue and the effect of extraction conditions on the composition of functional groups and bonds is very relevant.

Purpose. Study the influence of extraction conditions on the composition of functional groups and chemical bonds of lignin from beet pulp with regard to bond potential with pectin and hemicellulosic components of raw material cell wall matrix.

Materials and Methods. The lignin samples isolated from sugar beet pulp were the objects of research. The method is based on a comparative analysis of IR spectra of lignin samples obtained using acetone and DMSO as solvents from two versions of lignin-containing preparations: one variant was isolated after the preliminary removal of pectin substances from the pulp, the second preparation was isolated after the preliminary removal of pectin substances and hemicelluloses.

Results. It has been established that both the composition and the intensity of the peaks corresponding to functional groups and chemical bonds in the composition of molecules in the IR spectra of the studied lignin samples are identical, as a result of which the stage of preliminary removal of hemicelluloses has no practical significance. The belonging of sugar beet pulp lignin to the guaiacyl-syringyl type was experimentally determined. The presence of pectin residues and molecularly bound water was found in the structure of lignin samples, which indicates the exceptional strength of bonds in the cell wall between lignin and pectin. The connection via ether with ferulic acid turned out to be stronger than individual intra- and intermolecular bonds, hydrolytically cleaved at the stage of removing pectin from raw materials.

Conclusions. The lack of significant impact of the preliminary hemicelluloses removal step has the potential to reduce its cost of lignin production. The presence of pectin residues in the molecular structure of beet lignin can, potentially, significantly expand both the range of its consumer properties (presumably, formation of spatial structure, selective sorption and active influence on viscosity) and areas of application (in the food industry: by possibly increasing the hydrophilicity – as the functional or antimicrobial component). This makes it highly relevant to continue research in this direction.

KEYWORDS

lignin, infrared spectroscopy, sugar beet pulp, guaiacylpropane monomers, syringylpropane monomers, guaiacyl-syringyl type, pectin, ferulic acid

ВВЕДЕНИЕ

Лигнины представляют собой полифенольные соединения разветвлённого сетчатого строения, входящие в состав клеточных стенок всех высших растений. В состав молекулы входят три основных вида структурных звеньев — гваяцил-, сингил- и *п*-оксифенилпропановые, главное различие между которыми состоит в степени метоксилирования. Нативные антиоксидантные и антимикробные свойства лигнинов определяют их высокий потенциал практического применения в разных сферах человеческой деятельности. Не в последнюю очередь таковой потенциал имеет место в отношении пищевой и перерабатывающей промышленности (Sarkanen et al., 1971; Adler & Marton, 1959; Chang et al., 1975).

Выделенные из растительного сырья препараты лигнина находят широкое применение в различных отраслях хозяйственной деятельности как в конечном виде, так и в качестве полуфабриката для последующего органического синтеза. При выделении щелочным гидролизом, получаемый лигнин может находить применение также в качестве энтеросорбента и детоксиканта. В качестве полуфабриката лигнин активно используют для промышленного производства ванилина, в свою очередь находящего широкое применение в парфюмерной и кондитерской промышленности в качестве ароматизатора. Кроме того производные лигнина применяют в составе покрытия для светочувствительных копировальных бумаг, пластиков и солнцезащитных мазей, в фармацевтической промышленности и химическом анализе (Sarkanen et al., 1971; Шорыгина и соавт., 1976; Тарабанько и соавт., 1998).

Не смотря на это, широкий нативный потенциал практического применения как лигнина, так и его производных, в настоящее время ещё крайне далёк от полноценной реализации в силу ряда причин. Среди таковых не последнюю роль занимает несовершенство технологических решений, лежащих в основе существующих технологий извлечения лигнина из растительного сырья. В свою очередь, основная причина этому — крайняя недостаточность непротиворечивой информации о молекулярной структуре лигнина, типах и выраженности химических связей с другими компонентами матрикса клеточных стенок в составе тканей растительных организмов в зависимости от их таксономической принадлежности.

В настоящее время установлено наличие прочных химических связей лигниновых структур в составе растительной ткани с соединениями углеводной природы (Грушников и соавт., 1973). Это могут быть эфирные связи (простые и сложные), углерод-углеродные, координированные к разным атомам углерода, а также — гликозидные (Карпунин и соавт., 1973). В отдельных работах (Дудкин и соавт., 1991) показано, что лигнины могут нативно иметь химические связи с нейтральными структурами матрикса клеточных стенок — гемицеллюлозами. При этом исследования по установлению типов лигноуглеводных связей разных видов растительного сырья, приводимые разными авторами, имеют противоречивый результат (Грушников и соавт., 1973). Вероятнее всего это связано с тем, что как состав и структура лигнина в составе растительной ткани, так и ассортимент и выраженности видов химических связей в составе клеточных стенок в значительной степени определяются таксономической принадлежностью растительного организма-продуцента сырья для выделения лигнина.

В настоящее время основным промышленным источником лигнина являются продукты первичной переработки древесины в силу высокого нативного содержанием лигнина в одревесневших тканях, что стимулирует наиболее активное изучение лигнинов именно этой группы сырья (Adler & Marton, 1959; Chang et al., 1975; Chua et al., 1982; Fengel & Wegener, 2011; Eriksson et al., 1980; Gellerstedt et al., 1975; Fergus et al., 1969; Hatakeyama & Kubota, 1972; Koshijima et al., 1989; Lai & Sarkanen, 1971; Lin & Detroit, 1981). Однако, лигнины из древесного сырья довольно «рафинированы» — весьма однородны по спектру составляющих полимерную сеть звеньев — фенольных веществ. В этой связи и потенциальный спектр такого лигнина ограничен его природой. Но и сама химическая структура древесины тоже довольно однообразна.

В противовес этому, в настоящее время существует ряд видов растительного сырья, имеющих потенциал исследований в качестве источников лигнин-содержащих продуктов и полуфабрикатов, обладающих более широким спектром практического применения в силу более высокой неоднородности компонентов матрикса клеточных стенок, сопутствующих лигнину в процессе биогенеза. Одним из таких перспективных в смысле лигнинового производства является жом сахарной свё-

клы. Являясь вторичным продуктом переработки при производстве сахара, объёмы ежегодного производства свекловичного жома достигают 50 млн. тонн, из которых промышленную утилизацию в настоящее время находит чуть более половина. Однако степень исследованности структуры и свойств свекловичного лигнина, а также влияния условий извлечения на его потенциальную применимость в том или ином направлении ещё недостаточно изучены. При этом направление увеличения антиоксидантных свойств пищевых продуктов, увеличение их антимикробной устойчивости в процессе хранения, в том числе и за счёт введения в пищевые продукты компонентов-продуктов глубокой технологической и/или биотехнологической переработки вызывает всё больший интерес как среди исследователей, так и в промышленности (Oganesyants et al., 2019; Кондратенко и соавт., 2018; Царёва, 2017; Кондратенко и соавт., 2016; Puchkova et al., 2019; Posokina et al., 2019; Krikunova et al., 2018). Все изложенные выше положения делают актуальными исследования влияния условий его извлечения на молекулярную структуру и свойства лигнина.

Цель работы — изучить влияние условий извлечения лигнина из свекловичного жома на состав функциональных групп и химических связей с учётом потенциала связи с пектиновыми и гемицеллюлозами компонентами матрикса клеточных стенок сырья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Объектом исследования был препарат лигнина, извлечённый из жома сахарной свёклы (*Beta vulgaris* L.) производства АО «Успенский сахарник» (Краснодарский край, Россия).

Методы

В исследовании использован подход, основанный на извлечении лигнина из жома сахарной свёклы в двух вариантах — с предварительным последовательным удалением только пектиновых веществ, либо пектиновых веществ и гемицеллюлоз — и последующем сравнительном анализе ИК-спектров поглощения.

Процедура исследования и инструменты

Подготовку сырья проводили в 4 этапа по модифицированной методике (Оленников & Танхаева, 2006). На первом этапе удаляли сахара. Для этого к навеске 20 г воздушно сухого жома сахарной свёклы прибавляли 400 см³ 80 % об. этилового спирта и тщательно перемешивали. Смесь выдерживали при температуре 100 °С в течение 1 часа, после чего экстракт отфильтровывали через складчатый фильтр. К остатку прибавляли новую порцию экстрагента. Экстрагирование повторяли трижды. На втором этапе удаляли водорастворимые компоненты навески. Для этого к остатку прибавляли 400 см³ бидистиллированной воды и тщательно перемешивали. Смесь выдерживали при температуре 100 °С в течение 1 часа, после чего экстракт отфильтровывали через складчатый фильтр. К остатку прибавляли новую порцию бидистиллированной воды. Экстрагирование повторяли трижды. На третьем этапе удаляли пектиновые вещества. Для этого к остатку прибавляли 400 см³ смеси 0,5 % водных растворов щавелевой кислоты и оксалата аммония в соотношении 1 : 1 и тщательно перемешивали. Смесь выдерживали при температуре 100 °С в течение 1,5 часа, после чего экстракт отфильтровывали через складчатый фильтр. К остатку прибавляли новую порцию экстрагента. Экстрагирование повторяли трижды. На четвёртом этапе проводили удаление гемицеллюлоз. Для этого к остатку прибавляли 400 см³ 5 % водного раствора КОН и тщательно перемешивали. Смесь выдерживали при температуре 20 °С в течение 4 часов, после чего экстракт отфильтровывали через складчатый фильтр. К остатку прибавляли новую порцию экстрагента. Экстрагирование повторяли трижды.

Для проведения исследования связей компонентов матрикса клеточных стенок жома сахарной свёклы и их влияния на молекулярные свойства выделяемого лигнина, применяли два варианта подготовки сырья: с использованием только трёх этапов (с удалением только пектиновых веществ) и всех четырёх этапов (с удалением как пектиновых веществ, так и гемицеллюлоз).

Из каждого варианта предварительно подготовленного сырья затем извлекали лигнин-содержащий препарат. Извлечение лигнина проводили по модифицированной методике (Сакович и соавт., 2008). К остатку сырья прибавляли 100 см³ 2 % водного

раствора NaOH, тщательно перемешивали. Смесь выдерживали при температуре 100 °С в течение 3 часов. Экстракт отфильтровывали горячим через стеклянный фильтр ПОР №100 под вакуумом. Осадок на фильтре промывали 1 % водным раствором NaOH. Остаток на фильтре высушивали в сушильном шкафу при 60 °С до воздушно-сухого состояния. Лигнин-содержащий экстракт концентрировали выпариванием в 10 раз на роторно-плёночном испарителе. Выпавший лигнин-содержащий осадок отделяли фильтрованием через стеклянный фильтр ПОР №100 под вакуумом, высушивали в сушильном шкафу при 60 °С до воздушно-сухого состояния, качественно переносили в фарфоровую ступку и измельчали. Порошок лигнин-содержащего препарата хранили в стеклянном бюксе при температуре $+4 \pm 2$ °С.

Для получения ИК-спектров из каждого варианта лигнин-содержащего препарата были приготовлены по две вытяжки — концентрированным ацетоном и диметилсульфоксидом (ДМСО). В каждом из вариантов к навеске препарата массой 0,4 г прибавляли 20 см³ растворителя. Смесь выдерживали при температуре 20 °С 1 часа, после чего полученный раствор фильтровали через складчатый бумажный фильтр «красная лента».

ИК-спектры исследуемых образцов получали на ИК-спектрометре IR Affinity-1, («Shimadzu», Япония) в среднем диапазоне 4000–400 см⁻¹. Для получения каждого спектра выполняли 20-кратное сканирование. Обработку спектров проводили с оригинального программного обеспечения Essential FTIR, использованием поставляемого со спектрометром.

Анализ данных

Идентификацию элементов молекулярной структуры лигнина из полученных лигнин-содержащих препаратов осуществляли путём сравнительного анализа с существующими базами данных соответствия пиков ИК-спектров функциональным группам и молекулярным связям органических веществ.

Для уменьшения статистической погрешности эксперименты проводили в трёхкратной повторности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

ИК-спектры исследованных образцов лигнина в диапазоне от 700 до 1850 см⁻¹, модифицированные в формат спектра поглощения, представлены на Рисунке 1. Анализ спектров показывает на присутствие пиков высокого разрешения в диапазоне от 1150 до 1825 см⁻¹, характерных для лигнина (El Mansouri et al., 2011; Rashid et al., 2016; Lin & Dence, 1992; Tetsuo & Takashi, 2003). Наличие пиков при 1092 см⁻¹, предположительно, свидетельствует о присутствии в составе исследованных образцов примесей пектиновых веществ (C—O, C—C связи циклических звеньев пектиновых молекул), а при 1559 см⁻¹ — о присутствии хиноновых примесей в растворе (Chylińska et al., 2016).

Чёрный и красный и спектры Рисунка 1 принадлежат образцам лигнина препаратов, выделенных, соответственно, после предварительного удаления только пектиновых веществ и после предварительного удаления как пектиновых веществ, так и гемицеллюлоз. Оба спектра были получены в среде ацетона. Сравнительный анализ количества и расположения пиков на спектрах показывает, что результаты обоих вариантов предварительной подготовки сырья перед извлечением лигнин-содержащих препаратов практически идентичны. Результат анализа позволяет сделать первичный

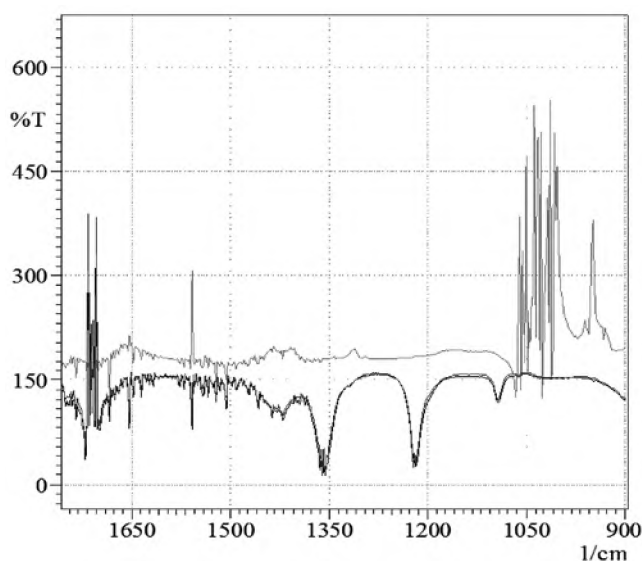


Рисунок 1
ИК-спектр вытяжек лигнина

вывод об отсутствии значимого влияния предварительного извлечения из сырья гемицеллюлоз на качественные характеристики лигнина. Третий (зелёный) спектр соответствует образцам лигнина в среде диметилсульфоксида (ДМСО). Спектры образцов по вариантам предварительной подготовки также совпадают, что подтверждает сделанный вывод. Спектр имеет все те же пики, что и спектр образцов лигнина в среде ацетона, но многие из них менее выражены, что связано, вероятно, с влиянием среды. При этом имеют место пики в диапазоне 1702–1714 см⁻¹, характерные одновременно как для С=О групп лигнина, так и для ацетона.

Совокупность идентифицированных пиков ИК-спектров образцов лигнина, а также их коэффи-

циенты поглощения и идентифицированные соответствия функциональным группам и молекулярным связям, представлены в Таблице 1. Сведения о принадлежности пиков определённым функциональным группам лигнина приведены согласно (El Mansouri et al., 2011; Rashid et al., 2016; Lin & Dence, 1992). Поглощение в диапазоне 1707–1710 см⁻¹ среде ацетона выражено более явно, чем в среде ДМСО. Данный диапазон может соответствовать двойной С=О связи как лигнина, так и ацетона. В этой связи выраженность пиков в среде ацетона может быть обусловлена растворителем, а не высокой концентрацией соответствующих групп и связей образцов лигнина.

Таблица 1.

Соответствие идентифицированных пиков ИК-спектров лигнина сахарной свёклы функциональным группам и молекулярным связям

Длина волны, см ⁻¹	Коэффициент поглощения	Соответствие функциональным группам и молекулярным связям
1092	122	Функциональные группы пектина
1217	30	С=О – группа гваяцилпропановых единиц
1220	23	
1363	25	Алифатическая С–Н связь метоксильных групп
1457	119	С–Н метоксильных групп
1473	132	С–Н связь ароматических колец
1507	122	С–Н группы циклических соединений
1511	144	С–О связь карбоновых кислот (феруловая кислота)
1521	119	С–Н группы циклических соединений
1559	120	Хиноновые соединения
1604	154	С=С связь ароматического кольца феруловой кислоты
1608	152	
1624	143	Вода
1647	130	Соединение карбонильных групп с ароматическим кольцом
1670	132	Сложноэфирная связь
1676	123	С=О связь
1690	119	С–Н связь карбоновых кислот (феруловая кислота)
1697	82	Связанная вода
1702	77	Карбонильные группы, связанные с ароматическим кольцом
1707	87	
1710	113	
1714	80	
1720	54	Карбонильные группы лигнина
1734	108	Ацетильные группы
2970	156	С–Н метильных групп

Диапазон 1720–1734 см⁻¹ явно указывает на карбонильные группы лигнина, а пик 1647 см⁻¹ и диапазон 1702–1714 см⁻¹ — на их связь с ароматическим кольцом лигнина. Пики волн 1457 и 2970 см⁻¹ соответствуют метоксильным группам, в том числе входящим в состав лигнина, что указывает на достаточную степень метоксилирования исследуемых образцов и, следовательно, — о преимущественном содержании в них метоксилированных структурных единиц, таких как гваяцилпропановые и сиригилпропановые. Такой состав выделенных образцов лигнина подтверждается присутствием пиков поглощения в диапазоне 1217–1220 см⁻¹, характерные для С–Н групп гваяцил- и сиригилпропановых структурных единиц. Однако на фоне ДМСО пики в этом диапазоне отсутствуют, что может быть связано с особенностями влияния растворителя. Идентифицировать преобладание конкретных типов звеньев по полученным данным, к сожалению, не представляется возможным, поскольку отдельные пики названных типов звеньев на полученном спектре не разделены. При этом пики 1473, 1507 и 1521 см⁻¹ однозначно принадлежат С–Н группам ароматических циклов лигнина. Пик 1363 см⁻¹ явно указывает на наличие в растворе алифатической С–Н связи метоксильных групп лигнина.

В составе матрикса клеточных стенок растительной ткани лигнин достаточно слабо связан со структурами гемицеллюлоз (Дудкин и др., 1991), что подтверждается отсутствием пиков, характерных для этого семейства биогенных олиго- и полимеров в исследованных образцах лигнина. Комплексный анализ экспериментальных данных даёт основание определить принадлежность лигнина жома сахарной свёклы к гваяцил-сиригильному типу, что соответствует лигнинам двудольных растений. Такие особенности свекловичного лигнина определяют его потенциал в качестве возобновляемого и дешёвого сырья для синтеза ванилина и сиреневого альдегида (Sarkanen & Ludwig, 1971; Шорыгина и соавт., 1976; Lin & Dence, 1992; Tetsuo & Takashi, 2003).

Однако, кроме типично «лигниновых» пиков, в ИК-спектрах исследованных образцов присутствуют полосы поглощения, характерные для пектина и связанной воды, но совсем нехарактерные для выбранных видов растворителя и способов извлечения лигнина. Соответственно, пики связанной воды могут принадлежать молекулам воды

в соединении с пектиновыми остатками, входящими в молекулярную структуру образцов лигнина. Сами же пектиновые остатки могут быть нативно соединены с лигнином только через феруловую кислоту (Голубев & Шелухина, 1995). В то же время пики феруловой кислоты в составе образцов выражены слабо. Можно говорить о наличии пиков двойной С=Н-связи (1690 см⁻¹), двойной С=С связи ароматического кольца (1604, 1608 см⁻¹) и одинарной С–О-связи (1511 см⁻¹) (Sajjadi et al., 2012). Отдельные пики поглощения, характерные для функциональных групп С–ОН феруловой кислоты (3450 см⁻¹), идентифицированы не были, что может указывать на участие гидроксильных групп феруловой кислоты в связях с лигнином и пектином. Действительно, анализ спектра показывает наличие в соединении сложноэфирных связей (1670 см⁻¹) (Карпунин и др., 2013), которые могут быть образованы гидроксильными группами феруловой кислоты с лигнином и пектиновыми остатками. Отмеченные выше пики поглощения метоксильных групп могут также в равной мере принадлежать как феруловой кислоте, так и метоксилированным карбоксильным группам остатков галактуроновой кислоты пектиновых молекул. Таким образом, можно сделать вывод о наличии в составе клеточных стенок тканей сахарной свёклы (*B. vulgaris*) связей между пектиновыми молекулами и лигнином посредством остатков феруловой кислоты. При этом стоит констатировать факт, что прочность этих связей к гидролитическому расщеплению активными агентами гораздо выше, чем таковая между пектином и гемицеллюлозами, а также — между отдельными видами внутримолекулярных связей пектина. При этом пектиновые фрагменты, остающиеся в процессе предварительной обработки и последующего выделения в составе извлекаемого лигнинового препарата имеют потенциал увеличения целевых потребительских свойств свекловичных лигнинов за счёт уменьшения их гидрофобности (что само по себе ценно, так как может увеличить прикладную сферу применения лигнина), а также проявления типично «пектиновых» свойств — образования пространственной структуры, избирательной сорбции и активного влияния на вязкость.

ВЫВОДЫ

В результате проведённых исследований было установлено отсутствие значимого влияния этапа предварительного удаления гемицеллюлоз перед извлечением лигнин-содержащих препаратов их тканей жома сахарной свёклы на молекулярную структуру извлекаемого лигнина, само по себе уже имеет потенциал удешевления промышленного производства свекловичного лигнина за счёт уменьшения количества технологических операций. Предположительно это подтверждает нативное отсутствие связей между лигнином и гемицеллюлозами в составе матрикса клеточных стенок свекловичного жома. В то же время установлено, что между нативным пектином и лигнином имеют место исключительно прочные связи посредством феруловой кислоты, не поддающиеся гидролизу даже в условиях молекулярной деградации самого пектинового комплекса растительной ткани. Благодаря этим связям, в процессе извлечения лигнина из свекловичного жома в состав конечного препарата переходит не чистый лигнин а его комплекс с остатками пектиновых молекул, что при сохранении исходного спектра чисто лигниновых потребительских свойств, потенциально может добавлять

также и некоторую часть свойств пектина, в том числе и уменьшая гидрофобность. В комплексе это может приводить к расширению как спектра потребительских свойств свекловичного лигнина, так и — сфер практического применения за счёт увеличения гидрофильности (например, в пищевой промышленности в качестве функционального компонента в пищевых продуктах или в составе полимерных плёнок как антимикробный агент). Открываемые перспективы предполагают необходимость дальнейшего расширения и углубления исследований в данном направлении.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Царёва М. А.: концептуализация, методология, проведение исследования, создание рукописи и ее редактирование.

Казанцев Е. В.: проведение исследования.

Протункевич И. В.: проведение исследования; визуализация; создание черновика рукописи.

Горячева Е. Д.: верификация данных.

ЛИТЕРАТУРА

- Голубев, В. Н., & Шелухина, Н. П. (1995). *Пектин: Химия, технология, применение*. М.: Академии технологических наук.
- Грушников, О. П., & Елкин, В. В. (1973). *Достижения и проблемы химии лигнина*. М.: Наука.
- Дудкин, М. С., Громов, В. С., Ведерников, Н. А., Каткевич, Р. Г., & Черно, Н. К. (1991). *Гемицеллюлозы*. Рига: Зинагне.
- Карпунин, И. И., Кузьмич, В. В., & Козлов, Н. Г. (2013). О природе связи лигноуглеводного комплекса еловой древесины. *Весті Національної академії наук України. Серія хімічних наук*, (1), 115–120.
- Кондратенко, В. В., Синицын, А. П., Кондратенко, Т. Ю., Киселёва, Л. В., Алабина, Н. М., Царёва, М. А., & Костылёв, А. С. (2016). Влияние режимов обработки на некоторые свойства полигликанов свекловичного жома. В *Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: фундаментальные и прикладные аспекты: Материалы VI Международной научно-практической конференции* (с. 42–46). Воронеж: Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания.
- Кондратенко, В. В., Царёва, М. А., Кондратенко, Т. Ю., Давыдова, А. Ю., & Алабина, Н. М. (2018). О декатионизации пектинсодержащего сырья на примере свекловичного жома. *Научные труды Северо-Кавказского Федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия*, (21), 42–48.
- Оленников, Д. Н., & Танхаева, Л. М. (2006). Методика количественного определения группового состава углеводного комплекса растительных объектов. *Химия растительного сырья*, (4), 29–33.
- Сакович, Г. В., Ильясов, С. Г., Василишин, М. С., Будаева, В. В., & Егоров, В. Ю. (2008). Результаты комплексной переработки биомассы. *Ползуновский вестник*, (3), 259–266.
- Тарабанько, В. Е., Кудрашев, А. В., Первышина, Е. П., Кузнецов, Б. Н., & Коропачинская, Н. В. (1998). Новые процессы разделения ванилина и сиреневого альдегида. *Химия растительного сырья*, (3), 93–97.
- Царёва, М. А. (2017). Разработка научно обоснованных параметров декатионизации свекловичного жома перед ступенчатым ферментированием. В *Пищевые системы: Теория, методология, практика: Сборник на-*

- учных трудов XI Международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук (с. 354–354). М.: ВНИИХ.
- Шорыгина, Н. Н., Резников, В. М., & Елкин, В. В. (1976). *Реакционная способность лигнина*. М.: Наука.
- Adler, E., & Marton, J. (1959). Carbonyl groups in lignin. *Acta Chemica Scandinavica*, 13(2), 75–96. <https://doi.org/10.3891/acta.chem.scand.13-0075>
- Chang, H., Cowling, E. B., & Brown, W. (1975). Comparative studies on cellulolytic enzyme lignin and milled wood lignin of sweetgum and spruce [Comparative studies on cellulolytic enzyme lignin and milled wood lignin of sweetgum and spruce]. *Mitteilungen zur Chemie, Physik, Biologie und Technologie des Holzes*, 29(5), 153–159. <https://doi.org/10.1515/hfsg.1975.29.5.153>
- Chua, M. G. S., Chen, Ch.-L., Chang, H.-M., & Kirk, T. K. (1982). C NMR spectroscopic study of spruce lignin degraded phanerochaete chrysosporium. *Holzforschung*, 36(4), 165–172. <https://doi.org/10.1515/hfsg.1982.36.4.165>
- Chylińska, M., Szymańska-Chargot, M., Kruk, B., & Zdunek, A. (2016). Study on dietary fibre by Fourier transform-infrared spectroscopy and chemometric methods. *Food Chemistry*, (196), 114–122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.029>
- El Mansouri, N.-E., Yuan, Q., & Huang, F. (2011). Characterization of alkaline lignins for use in phenol-formaldehyde and epoxy resins. *BioResources*, 6(3), 2647–2662.
- Eriksson, Ö., Goring, D. A. I., & Lindgren, B. O. (1980). Structural studies on the chemical bonds between lignins and carbohydrates in spruce wood. *Wood Science and Technology*, (14), 267–279. <https://doi.org/10.1007/BF00383454>
- Fengel, D., & Wegener, G. (Eds.). (2011). *Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions*. Berlin: Walter de Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110839654>
- Fergus, B. J., Procter, A. R., Scott, J. A. N., & Goring, D. A. I. (1969). The distribution of lignin in sprucewood as determined by ultraviolet microscopy. *Wood Science and Technology*, (3), 117–138. <https://doi.org/10.1007/BF00639636>
- Gellerstedt, G., & Pettersson E.-L. (1975). Light-induced oxidation of lignin. The behaviour of structural units containing a ring-conjugated double bond. *Acta Chemica Scandinavica. Series B: Organic chemistry and biochemistry*, (29), 1005–1010. <https://doi.org/10.3891/acta.chem.scand.29b-1005>
- Hatakeyama, H., & Kubota, K. (1972). Thermal analysis of lignin by differential scanning calorimetry. *Cellulose Chemistry and Technology*, 6(5), 521–529.
- Koshijima, T., Watanabe, T., & Yaku, F. (1989). Structure and properties of the lignin-carbohydrate complex polymer as an amphipathic substance. In W. Glasser & S. Sarkanen (Eds.). *Lignin: Properties and material* (vol. 397, pp. 11–28). <https://doi.org/10.1021/bk-1989-0397.ch002>
- Krikunova, L. N., Obodeeva, O. N., Zakharov, M. A., & Danilyan, A. V. (2018). Development of technological parameters of the two-stage method of dried Jerusalem artichoke preparation for distillation. *Food Systems*, 1(1), 24–34. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-1-24-34>
- Lai, Y.-Z., & Sarkanen, K.V. (1971). Isolation and structural studies. In K. Sarkanen & C. Ludwig (Eds.), *Lignins. Occurrence, formation, structure and reactions* (pp. 165–189). New York: Wiley-Interscience.
- Lin, S. Y., & Dence, C. W. (1992). *Methods in lignin chemistry*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-74065-7>
- Lin, S. Y., & Detroit, W. (1981). Chemical heterogeneity of technical lignins: Its significance in lignin utilization. In *Proceedings of the 1st International Symposium on Wood and Pulp Chemistry* (pp. 44–52). Stockholm: Ekman-Days.
- Oganesyants, L. A., Panasyuk, A. L., & Kuzmina, E. I. (2019). Rational use of the secondary resources of the vineyard and winebranding industry. *Food Systems*, 2(2), 20–26. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-20-26>
- Posokina, N. E., Alabina, N. M., & Davydova, A. Y. (2019). Development of functional beverages from plant raw materials. *Food Systems*, 2(2), 44–47. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-44-47>
- Puchkova, T. S., Pikhalo, D. M., & Karasyova, O. M. (2019). About the universal technology of processing Jerusalem artichoke and chicory for inulin. *Food Systems*, 2(2), 36–43. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-36-43>
- Rashid, T., Kait, Ch. F., & Murugesan, Th. (2016). A “Fourier Transformed Infrared” compound study of lignin recovered from a formic acid process. *Procedia Engineering*, (148), 1312–1319. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.547>
- Sajjadi, S. E., Shokoohinia, Y., & Moayedi, N. S. (2012). Isolation and identification of ferulic acid from aerial parts of *kelussia odoratissima* mozaff. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, 7(4), 159–62.
- Sarkanen, K. V., & Ludwig, C. H. (1971). *Lignins: Occurrence, formation, structure and reactions*. New York: Wiley-Interscience.
- Tetsuo, K., & Takashi, W. (2003). *Association between lignin and carbohydrates in wood and other plant tissues*. Berlin: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-05191-7>

REFERENCES

- Golubev, V. N., & Shelukhina, N. P. (1995). *Pektin: Khimiya, tekhnologiya, primeneniye* [Pectin: Chemistry, technology, application]. Moscow: Akademii tekhnologicheskikh nauk.
- Grushnikov, O. P., & Elkin, V. V. (1973). *Dostizheniya i problemy khimii lignina* [Achievements and problems of lignin chemistry]. Moscow: Nauka.
- Dudkin, M. S., Gromov, V. S., Vedernikov, N. A., Katkevich, R. G., & Chernov, N. K. (1991). *Gemitsellyulozy* [Hemicelluloses]. Riga: Zinatne.
- Karpunin, I. I., Kuz'mich, V. V., & Kozlov, N. G. (2013). O prirode svyazi lignouglevodnogo kompleksa elovoi drevesiny [On the nature of the connection of the ligno-carbon complex of spruce wood]. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk* [News of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Sciences Series], (1), 115–120.
- Kondratenko, V. V., Sinitsyn, A. P., Kondratenko, T. Yu., Kiseleva, L. V., Alabina, N. M., Tsareva, M. A., & Kostylev, A. S. (2016). Vliyaniye rezhimov obrabotki na nekotorye svoystva poliglikanov sveklovichnogo zhoma [Influence of processing modes on some properties of beet pulp polyglycans]. In *Innovatsionnye pishchevye tekhnologii v oblasti khraneniya i pererabotki sel'skokhozyaystvennogo syr'ya: fundamental'nye i prikladnye aspekty: Materialy 6th Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Innovative food technologies in the field of storage and processing of agricultural raw materials: fundamental and applied aspects: Materials of the 6th International Scientific and Practical Conference] (pp. 42–46). Voronezh: Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya.
- Kondratenko, V. V., Tsareva, M. A., Kondratenko, T. Yu., Davydova, A. Yu., & Alabina, N. M. (2018). O dekarbonizatsii pektinsoderzhashchego syr'ya na primere sveklovichnogo zhoma [On decarbonization of pectin-containing raw materials on the example of beet pulp]. *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo Federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya* [Scientific works of the North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking], (21), 42–48.
- Olennikov, D. N., & Tankhaeva, L. M. (2006). Metodika kolichestvennogo opredeleniya gruppovogo sostava uglevodnogo kompleksa rastitel'nykh ob'ektov [Method of quantitative determination of the group composition of the carbohydrate complex of plant objects]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Materials], (4), 29–33.
- Sakovich, G. V., Il'yasov, S. G., Vasilishin, M. S., Budaeva, V. V., & Egorov, V. Yu. (2008). Rezul'taty kompleksnoi pererabotki biomassy [Results of complex processing of biomass]. *Polzunovskii vestnik* [Polzunovsky Bulletin], (3), 259–266.
- Taraban'ko, V. E., Kudrashev, A. V., Pervyshina, E. P., Kuznetsov, B. N., & Koropachinskaya, N. V. (1998). Novye protsessy razdeleniya vanilina i sirenevoogo al'degida [New processes of separation of vanillin and lilac aldehyde]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], (3), 93–97.
- Tsareva, M. A. (2017). Razrabotka nauchno obosnovannykh parametrov dekarbonizatsii sveklovichnogo zhoma pered stupenchatym fermentirovaniem [Development of scientifically based parameters of decarbonization of beet pulp before stepwise fermentation]. In *Pishchevye sistemy: Teoriya, metodologiya, praktika: Sbornik nauchnykh trudov 11th Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov otdeleniya sel'skokhozyaystvennykh nauk Rossiiskoi akademii nauk* [Food systems: Theory, methodology, practice: Collection of scientific papers of the 11th International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and specialists of the Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences] (pp. 354–354). Moscow: VNIKhI.
- Shorygina, N. N., Reznikov, V. M., & Elkin, V. V. (1976). *Reaktivnaya sposobnost' lignina* [Reactivity of lignin]. Moscow: Nauka.
- Adler, E., & Marton, J. (1959). Carbonyl groups in lignin. I. *Acta Chemica Scandinavica*, 13(2), 75–96. <https://doi.org/10.3891/acta.chem.scand.13-0075>
- Chang, H., Cowling, E. B., & Brown, W. (1975). Comparative studies on cellulolytic enzyme lignin and milled wood lignin of sweetgum and spruce. *Mitteilungen zur Chemie, Physik, Biologie und Technologie des Holzes* [Notes on the Chemistry, Physics, Biology and Technology Of Wood], 29(5), 153–159. <https://doi.org/10.1515/hfsg.1975.29.5.153>
- Chua, M. G. S., Chen, Ch.-L., Chang, H.-M., & Kirk, T. K. (1982). C NMR spectroscopic study of spruce lignin degraded phanerochaete chrysosporium. *Holzforschung* [Oegh], 36(4), 165–172. <https://doi.org/10.1515/hfsg.1982.36.4.165>
- Chylińska, M., Szymańska-Chargot, M., Kruk, B., & Zdunek, A. (2016). Study on dietary fibre by Fourier transform-infrared spectroscopy and chemometric methods. *Food Chemistry*, (196), 114–122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.029>
- El Mansouri, N.-E., Yuan, Q., & Huang, F. (2011). Characterization of alkaline lignins for use in phenol-formaldehyde and epoxy resins. *BioResources*, 6(3), 2647–2662.
- Eriksson, Ö., Goring, D. A. I., & Lindgren, B. O. (1980). Structural studies on the chemical bonds between lignins and carbohydrates in spruce wood. *Wood Science and Technology*, (14), 267–279. <https://doi.org/10.1007/BF00383454>
- Fengel, D., & Wegener, G. (Eds.). (2011). *Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions*. Berlin: Walter de Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110839654>
- Fergus, B. J., Procter, A. R., Scott, J. A. N., & Goring, D. A. I. (1969). The distribution of lignin in spruce wood as determined by ultraviolet microscopy. *Wood Science and Technology*, (3), 117–138. <https://doi.org/10.1007/BF00639636>
- Gellerstedt, G., & Pettersson E.-L. (1975). Light-induced oxidation of lignin. The behaviour of structural units con-

- taining a ring-conjugated double bond. *Acta Chemica Scandinavica. Series B: Organic chemistry and biochemistry*, (29), 1005–1010. <https://doi.org/10.3891/acta.chem.scand.29b-1005>
- Hatakeyama, H., & Kubota, K. (1972). Thermal analysis of lignin by differential scanning calorimetry. *Cellulose Chemistry and Technology*, 6(5), 521–529.
- Koshijima, T., Watanabe, T., & Yaku, F. (1989). Structure and properties of the lignin-carbohydrate complex polymer as an amphipathic substance. In W. Glasser, S. Sarkanen (Eds.). *Lignin: Properties and material* (vol. 397, pp. 11–28). <https://doi.org/10.1021/bk-1989-0397.ch002>
- Krikunova, L. N., Obodeeva, O. N., Zakharov, M. A., & Danilyan, A. V. (2018). Development of technological parameters of the two-stage method of dried Jerusalem artichoke preparation for distillation. *Food Systems*, 1(1), 24–34. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-1-24-34>
- Lai, Y.-Z., & Sarkanen, K.V. (1971). Isolation and structural studies. In K. Sarkanen & C. Ludwig (Eds.), *Lignins. Occurrence, formation, structure and reactions* (pp. 165–189). New York: Wiley-Interscience.
- Lin, S. Y., & Dence, C. W. (1992). *Methods in lignin chemistry*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-74065-7>
- Lin, S. Y., & Detroit, W. (1981). Chemical heterogeneity of technical lignins: Its significance in lignin utilization. In *Proceedings of the 1st International Symposium on Wood and Pulping Chemistry* (pp. 44–52). Stockholm: Ekman-Days.
- Oganesyants, L. A., Panasyuk, A. L., & Kuzmina, E. I. (2019). Rational use of the secondary resources of the vineyard and winebranding industry. *Food Systems*, 2(2), 20–26. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-20-26>
- Posokina, N. E., Alabina, N. M., & Davydova, A. Y. (2019). Development of functional beverages from plant raw materials. *Food Systems*, 2(2), 44–47. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-44-47>
- Puchkova, T. S., Pikhalo, D. M., & Karasyova, O. M. (2019). About the universal technology of processing Jerusalem artichoke and chicory for inulin. *Food Systems*, 2(2), 36–43. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-36-43>
- Rashid, T., Kait, Ch. F., & Murugesan, Th. (2016). A “Fourier Transformed Infrared” compound study of lignin recovered from a formic acid process. *Procedia Engineering*, (148), 1312–1319. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.547>
- Sajjadi, S. E., Shokoohinia, Y., & Moayedi, N. S. (2012). Isolation and identification of ferulic acid from aerial parts of *kelussia odoratissima* mozaff. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, 7(4), 159–62.
- Sarkanen, K. V., & Ludwig, C. H. (1971). *Lignins: Occurrence, formation, structure and reactions*. New York: Wiley-Interscience.
- Tetsuo, K., & Takashi, W. (2003). *Association between lignin and carbohydrates in wood and other plant tissues*. Berlin: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-05191-7>

УДК 664.764:579

Всероссийский
научно-исследовательский институт
пищевых добавок — филиал
Федерального научного центра
пищевых систем им. В.М. Горбатова
РАН

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

191014, Литейный пр. 55,
г. Санкт-Петербург, Россия
Электронная почта: info@vniipd.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Свердлова, О. П., Шарова, Н. Ю.,
Причепа, А. О., Лоскутов, С. И., &
Принцева, А. А. (2022). Идентификация
аборигенной микрофлоры пшеничных
отрубей: бактериальные изоляты-по-
тенциальные промышленные проду-
центы. *Хранение и переработка сель-
хозсырья*, (3). [https://doi.org/10.36107/
spfrp.2022.294](https://doi.org/10.36107/spfrp.2022.294)

ПОСТУПИЛА: 15.03.2022

ПРИНЯТА: 20.06.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2022

КОНФИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Исследования проведены по теме
FGUS-2022-0003 в рамках
государственного задания
№ 075-01190-22-00 ВНИИ пищевых
добавок — филиал ФГБНУ «ФНЦ
пищевых систем им. В.М. Горбатова»
РАН. Выражение признательности
сотрудникам Всероссийского научно-
исследовательского института
сельскохозяйственной микробиологии
(ВНИИСМ) за оказанную помощь
в проведении идентификации
микроорганизмов по гену 16S rRNA.



Идентификация аборигенной микрофлоры пшеничных отрубей: бактериальные изоляты — потенциальные промышленные продуценты

О. П. Свердлова, Н. Ю. Шарова, А. О. Причепа, С. И. Лоскутов,
А. А. Принцева

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время в силу условий дефицита ценных питательных нутриентов разработка технологий безотходного или малоотходного производства новых продуктов на основе побочных продуктов переработки зерна вызывают особый интерес. В результате переработки зерна пшеницы образуется значительное количество пшеничных отрубей, которые представляют интерес не только в качестве компонентов кормовых субстанций, пищевого сырья, но и вторичного сырья для получения ряда полезных для человека соединений различной химической природы и функционального назначения. Согласно литературным источникам, в отрубях содержатся белки, витамины и пищевые волокна, которые являются субстратами для аборигенной микрофлоры. В условиях влажности, отличной от нормируемой для хранения пшеничных отрубей, развиваются микроорганизмы, которые в основном изучались на предмет безопасности. Однако многие представители аборигенной микрофлоры пшеничных отрубей представляют интерес в качестве потенциальных промышленных продуцентов пищевых микроингредиентов и биологически активных веществ.

Цели. Исследовать аборигенную микрофлору пшеничных отрубей и выделить изоляты, представляющие интерес в качестве потенциальных промышленных продуцентов. По данному направлению информация в литературных источниках освещает в основном таксономическую принадлежность микробиома отрубей, поэтому исследование биосинтетической способности его представителей актуально.

Материалы и методы. Для идентификации микроорганизмов был проведен поиск данных из литературных источников о микроорганизмах, которые обладают биотехнологическим потенциалом. Для изучения микрофлоры пшеничных диетических отрубей повышенной влажности (более 7%) проводили 2, 5 и 7-суточные ферментации в шейкере-инкубаторе глубинным способом; для получения микробных изолятов применяли методы поверхностного и глубинного культивирования на плотной агаризованной среде.

Результаты. Полученные чистые культуры идентифицировали методом секвенирования по гену 16S rRNA. Названия микроорганизмов определяли с помощью сайта BLAST. Среди идентифицированных 16 культур преобладали 7 культур при 7-суточной ферментации, далее 6 культур при 5-суточной ферментации. Значительно меньше культур выявлено при 2-суточной ферментации (3 культуры). Данные результаты, предположительно, свидетельствуют о том, что выявленные в результате 2-суточной ферментации микроорганизмы выделяют метаболиты, которые являются субстратом для остальных микроорганизмов.

Выводы. В результате проведенных исследований идентифицированы бактериальные изоляты пшеничных отрубей *Arthrobacter agilis*, *Acinetobacter radioresistens*, *Rhizobium leguminosarum*, *Kocuria rhizophila*, в том числе, пробиотические — представители рода *Enterococcus*, перспективные для применения в качестве промышленных продуцентов полезных метаболитов, в частности, ферментов, красящих веществ, органических кислот для применения в пищевой отрасли, сельском хозяйстве, медицине.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

пшеничные диетические отруби, аборигенная микрофлора, повышенная влажность, продуцент, биотехнологический потенциал

Identification of native microflora of wheat bran: Bacterial isolates are potential industrial producers

All-Russian Research Institute for Food Additives – Branch of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS

Olga P. Sverdlova, Nataliya Yu. Sharova, Artem O. Prichepa, Svetoslav I. Loskutov

CORRESPONDENCE:

191014, 55, Liteyny Prospekt,
St. Peterburg, Russia
E-mail: info@vniipd.ru

FOR CITATIONS:

Sverdlova, O. P., Sharova, N. Yu., Prichepa, A. O., Loskutov, S. I., & Printseva, A. A. (2022). Identification of native microflora of wheat bran: Bacterial isolates are potential industrial producers. *Storage and Processing of Farm Products*, (3).
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.294>

RECEIVED: 15.03.2022

ACCEPTED: 20.06.2022

PUBLISHED: 30.09.2022

DECLARATION OF COMPETING
INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background. At present, due to the conditions of deficiency of valuable nutrients, the development of technologies for the waste-free or low-waste production of new products based on by-products of grain processing is of particular interest. As a result of wheat grain processing, a significant amount of wheat bran is formed, which are of interest not only as components of feed substances, food raw materials, but also secondary raw materials for obtaining a number of compounds of various chemical nature and functional purposes useful for humans. According to literary sources, bran contains proteins, vitamins and dietary fiber, which are substrates for native microflora. In conditions of humidity other than normalized for the storage of wheat bran, microorganisms develop, which were mainly studied for safety. However, many representatives of the native microflora of wheat bran are of interest as potential industrial producers of food micro-ingredients and biologically active substances.

Purpose. To study the native microflora of wheat bran and identify isolates that are of interest as potential industrial producers. In this area, information in the literature covers mainly the taxonomic affiliation of the bran microbiome, so the study of the biosynthetic ability of its representatives is relevant.

Materials and Methods. For the identified microorganisms, a search was made for data from the literature on microorganisms that have biotechnological potential. In the course of research, the moisture content of wheat dietary bran was determined according to GOST 9404-88. To study the microflora of wheat dietary bran with high humidity (more than 7%), 2, 5 and 7-day fermentations were carried out in a shaker-incubator using the deep method; to obtain microbial isolates, the methods of surface and deep cultivation on a dense agar medium were used.

Results. The resulting pure cultures were identified by sequencing for the 16srRNA gene. The names of microorganisms were determined using the BLAST site. Among the identified 16 cultures, 7 cultures with a 7-day fermentation prevailed, followed by 6 cultures with a 5-day fermentation. Significantly fewer cultures were detected during 2-day fermentation (3 cultures). These results presumably indicate that the microorganisms identified as a result of 2-day fermentation secrete metabolites, which are a substrate for other microorganisms.

Conclusions. As a result of the research, bacterial isolates of wheat bran *Arthrobacter agilis*, *Acinetobacter radioresistens*, *Rhizobium leguminosarum*, *Kocuria rhizophila*, including probiotic representatives of the genus *Enterococcus*, were identified, promising for use as industrial producers of useful metabolites, in particular, enzymes, dyes, organic acids for use in the food industry, agriculture, medicine.

KEYWORDS

dietary wheat bran, native microflora, high humidity, producer, biotechnological potential

ВВЕДЕНИЕ

Микроорганизмы, составляющие естественную микрофлору вторичного пищевого и сельскохозяйственного сырья (отруби, жмых, шрот, дробина и др.), которое в основном утилизируется в качестве компонентов кормовых добавок, представляют интерес в качестве потенциальных продуцентов промышленного значения. Адаптируясь к субстратному составу вторичного сырья для роста и развития, эти микроорганизмы, в зависимости от окружающих условий, могут синтезировать соединения со свойствами, которые позволят присвоить им статус пищевых и биологически активных добавок.

Доступная информация о микроорганизмах, развивающихся на отрубях, жмыхах и др., носит в основном общий характер и не несет прикладного значения. Известны данные об использовании указанного выше вторичного сырья для культивирования различных индивидуальных, искусственно «внесенных» микроорганизмов, которые являются штаммами-продуцентами, выделенными из других сред. Научный и практический интерес представляет изучение аборигенных микроорганизмов, составляющих естественную микрофлору вторичного сырья, и их консорциума с использованием генетических методов исследований. Подобного рода исследования известны по направлению создания комбикормов и биоудобрений (Ефимова & Удалова, 2011; Yan, 2020; Котляров & Сединина, 2014).

Из зернового сырья, распространенного на территории РФ и производимого в больших масштабах, к экономически важной сельскохозяйственной культуре относится пшеница. В настоящее время её доля составляет 27 % на мировом рынке зерна (Хромова, 2019).

Первое место среди побочных продуктов мукомольного производства занимают пшеничные отруби (Хромова, 2019). В состав пшеничных отрубей при переработке зерна в муку переходит 93,4 % клетчатки, 74,2 % минеральных веществ, 62,3 % липидов и 27,8 % белка (Конева, 2011). Химическим составом пшеничных отрубей обусловлено их применение в производстве хлебобулочных изделий с низким гликемическим индексом, пробиотических продуктов с высокой питательной ценностью

(Конева, 2011; Radenkovs et al., 2013). Допустимая массовая доля влажности для диетических отрубей во избежание размножения болезнетворных бактерий и плесневых грибов по ГОСТ Р 53496–2009¹ составляет не более 7 %. При повышенной влажности наблюдается развитие аборигенной микрофлоры. Микрофлора пшеничных отрубей представлена в основном бактериальным консорциумом, где преобладает *Erwiniaher bicola* (Ильяшник, 2011). Встречаются спорообразующие бактерии *Bacillus mesentericus* и *Bacillus mycoides*, являющиеся активными продуцентами амилаз и целлюлаз. Идентифицированные и распространенные патогенные микроорганизмы, в частности *Xanthomonas campestris*, вызывающая бактериальную полосу на листьях. В то же время данная культура является промышленным продуцентом широко применяемого загустителя (пищевой добавки E415) — ксантановой камеди (Осовская и соавт., 2021). Выявленная культура *Pseudomonas syringae* вызывает бактериальный ожог листьев, а род *Corynebacterium* spp. — желтую гниль початков, морщинистость или скрученность листьев (Radenkovs et al., 2013). В то же время, известен штамм *Corynebacterium glutamicum* B — 11167 — продуцент лизина (Роганина, 2017; Сиротин и соавт., 2012).

По сравнению с бактериальной микрофлорой среди мицелиальных грибов в пшеничных отрубях преобладают 4 рода: *Aspergillus* spp., *Alternaria* spp., *Penicillium* spp., *Fusarium* spp. (Ильяшник и соавт., 2011; Осовская и соавт., 2021). Следует отметить, что *Aspergillus avamori*, несмотря на принадлежность к умеренно опасным микроорганизмам, является продуцентом глюканаза (Espinheira et al., 2022).

Ранее нами по результатам микробиологических исследований было показано, что в диетических пшеничных отрубях присутствует более 40 видов бактериальных культур (Свердлова и соавт., 2021). Однако только по морфологическим признакам невозможно достоверно классифицировать микроорганизмы, поэтому необходимо применение генетических методов для идентификации выявленных бактерий.

Целью работы является идентификация выявленных микроорганизмов с использованием генетических приемов в совокупности с изучением

¹ ГОСТ Р 53496–2009. (2019). *Отруби пшеничные и ржанные диетические. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

морфологических свойств бактериальных изолятов аборигенной микрофлоры пшеничных диетических отрубей повышенной влажности и поиск микроорганизмов — потенциальных продуцентов промышленно полезных веществ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы

Объектами исследования в ходе выполнения работы являлись диетические пшеничные отруби пищевого назначения рассыпные (партия отрубей АО «Петербургский мельничный комбинат», г. Санкт-Петербург) и колонии микроорганизмов, выделенные в результате ферментации пшеничных отрубей.

Оборудование

Шейкер-инкубатор Multitron PRO (Швейцария), спектрофотометр Shimadzu UV-1800 (Япония), термостат DaihanLabtech LIB-M (Южная Корея), сушижаровой шкаф DaihanLabtech LDO-E (Южная Корея), лабораторная центрифуга MPW-251 (США), ламинарный бокс биологической безопасности ESCO Streamline® II класса (Сингапур), лабораторные весы AND GR-200 (Япония), лабораторная центрифуга EppendorfCentrifuge 5418 (Германия), термошейкерEppendorfThermoMixer C (Германия), вортекс универсальный IKA Lab dancer (Германия).

Инструменты

Для выделения ДНК использовали набор реагентов «Сорб-ГМО-Б» (ЗАО «Синтол», Россия). После выделения ДНК проводили ПЦР и колонии микроорганизмов идентифицировали методом секвенирования по Сенглеру по гену 16s рРНК. Названия микроорганизмов определяли с помощью сайта BLAST².

Методы

Влажность пшеничных диетических отрубей определяли по ГОСТ 9404–88³ с использованием сушижарового шкафа DaihanLabtech LDO-E (Южная Корея). Колонии микроорганизмов получали методом поверхностного культивирования разведенных суспензий на мясо-пептонном агаре (МПА) (Лабинская и соавт., 2004).

Процедура исследования

Для проведения ферментации в 3 стерильные начальные колбы вместимостью 750 см³ добавляли по 10 ± 1 г пшеничных отрубей и 200 см³ стерильной воды. Пшеничные отруби взвешивали на лабораторных весах ANDGR-200 (Япония). Колбы с содержимым помещали на 2, 5 и 7 сут для ферментации отрубей под действием аборигенной (собственной) микрофлоры в шейкере-инкубаторе Multitron PRO (Швейцария) при температуре 37 ± 1 °С и скорости вращения платформы шейкера 200 об/мин. С соответствующей периодичностью отбирали культуральную жидкость и центрифугировали (лабораторная центрифуга MPW-251 (США)) в течение 10 мин при скорости вращения ротора 6000 об/мин.

Колонии микроорганизмов получали методом поверхностного культивирования на МПА (ООО НИЦФ, Россия). Высев на чашки проводили в ламинарном боксе II класса биологической безопасности ESCO Streamline® (Сингапур). После центрифугирования супернатант разводили в 100, 1000 и 10 000 раз. Надосадочную жидкость соответствующего разведения в количестве 100 мкл добавляли в чашку Петри с МПА. Посев проводили в двух повторностях и в трёх распределениях. Разведенную надосадочную жидкость по среде распределяли шпателем Дригальского и тем же шпателем распределяли остатки смыва в остальные две чашки. Чашки Петри помещали в термостат DaihanLabtech LIB-M (Южная Корея) при температуре 37 ± 1 °С на 3 суток.

Также колонии микроорганизмов получали методом глубинного культивирования. Надосадочную жидкость соответствующего разведения в количестве 100 мкл помещали в чашку Петри и заливали

² BLAST. <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>

³ ГОСТ 9404–88. (2007). *Мука и отруби. Метод определения влажности*. М.: Стандартинформ.

МПА. Посев проводили в двух повторностях. Чашки помещали в термостат DaihanLabtech LIB-M (Южная Корея) при температуре $37 \pm 1^\circ\text{C}$ на 3 суток.

После культивирования исследовали морфологию каждой культуры. Описание колоний представлено в таблице 1 (см. Результаты и их обсуждение).

Далее для выделения ДНК микроорганизма с последующей идентификации по гену 16s рРНК выявленную колонию пересекали в отдельную чашку с МПА. Чашки помещали в термостат DaihanLabtech LIB-M (Южная Корея) при температуре $28 \pm 1^\circ\text{C}$ на 3 суток.

Если после культивирования выросло слишком мало колоний для выделения ДНК, то готовили 1 см^3 смыва с колониями и добавляли в пробирку с 15 см^3 LB-среды. LB-среда состоит из: 20 г триптона (VWR Chemicals, США), 10 г дрожжевого экстракта микрогранулированного (Bio Springer, Франция), 20 г NaCl (АО ЛенРеактив, Россия), 1 дм^3 дистиллированной воды. Пробирки с культурами помещали в шейкер-инкубатор Multitron PRO (Швейцария) при температуре $37 \pm 1^\circ\text{C}$ и скорости вращения платформы шейкера 200 об/мин на 16–17 часов. Далее измеряли оптическую плотность среды с культурами на спектрофотометре Shimadzu UV-1800 (Япония) при длине волны 600 нм, чтобы удостовериться в нужном количестве клеток для последующей идентификации. Если оптическая плотность среды была меньше 0.6, то пробирки с культурами помещали в термостат DaihanLabtech LIB-M (Южная Корея) на 17 ч при температуре $19 \pm 1^\circ\text{C}$ и повторно проверяли оптическую плотность.

Для выделения ДНК использовали набор реагентов из пищевых продуктов, растительного сырья и кормов «Сорб-ГМО-Б» (ЗАО «Синтол», Россия). Для проведения некоторых операций по протоколу набора использовали термошейкер Eppendorf ThermoMixerC (Германия), лабораторную центрифугу Eppendorf Centrifuge 5418 (Германия) и вортекс универсальный IKA Lab dancer (Германия). Колонии микроорганизмов идентифицировали методом секвенирования по Сенглеру по гену 16S. Выделение ДНК проводилось на базе Всероссийского научно-исследовательского инсти-

тута пищевых добавок (ВНИИПД), а постановка ПЦР и секвенирование по Сенглеру — на базе Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной микробиологии (ВНИИСХМ). Название микроорганизмов определяли с помощью сайта BLAST⁴.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Целью данных исследований являлось выделение из пшеничных отрубей аборигенных бактериальных изолятов, представляющих интерес в качестве потенциальных промышленных продуцентов ингредиентов, полезных для человека и животных. Данные о видовой принадлежности и свойствах идентифицированных культур представлены в подсекциях «Литературные данные об отдельных представителях выявленных таксонов», «Особенности роста выявленных культур *Acinetobacter radioresistens* и *Arthrobacter agilis*».

Поскольку исследуемые пшеничные отруби имеют рассыпную форму, которая обладает способностью быстро впитывать влагу по сравнению с гранулированной формой, в условиях повышенной влажности окружающей среды в процессе хранения может изменяться такой нормируемый показатель качества данного вида сырья, как «массовая доля влаги». Числовое значение данного показателя позволяет оценить количественный состав микроорганизмов изучаемого сырья и предположить возможность его изменения наряду с качественным разнообразием аборигенной микрофлоры, поскольку влажная среда благоприятна для развития микробных таксонов, в том числе не культивируемых. В результате хранения отрубей при влажности в толще слоя выше 13 % более месяца рост численности микрофлоры с увеличением этого показателя может увеличиться в 10–300 раз, поэтому на первом этапе исследований определяли показатель влажности в исследуемой партии пшеничных отрубей. Полученное значение показателя превысило нормативные требования практически в 2 раза и составило $14 \pm 2\%$ (не более 7 %, ГОСТ Р 53496–2009⁵). На основании результатов опыта сделано предположение, что спектр аборигенной микрофлоры изучаемого сырья более разнообразен по сравнению

4 BLAST. <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>

5 ГОСТ Р 53496–2009. (2019). *Отруби пшеничные и ржаные диетические. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

с отрубями со стандартной влажностью. Высказанное предположение подтверждено на практике в результате ферментации партии отрубей в качалочных колбах и посева на плотную агаризованную среду МПА (см. Процедура исследования). Выявлен спектр бактериальных культур, преимущественно аэробов, проявляющих рост в различные периоды культивирования в глубинных условиях. Идентификация изолятов, полученных из культуральной жидкости, проведенная методом секвенирования

по Сенглеру по гену 16S (см. Процедура исследования), позволила отнести микроорганизмы к семействам *Micrococcaceae*, *Moraxellaceae*, *Rhizobiaceae*. Выявленная аборигенная микрофлора исследуемых отрубей характеризуется видовым разнообразием. Идентифицированные культуры различаются по морфологическим признакам (Таблица 1).

Для оценки возможности использования идентифицированных культур в качестве потенци-

Таблица 1

Морфология колоний идентифицированных микроорганизмов

Размер колонии, мм	Цвет	Профиль	Прозрачность	Край	Структура	Название культуры
<i>2 сутки ферментации</i>						
4,5	Светло-серый	Выпуклая	+/-	Ровный	Однородная блестящая	<i>Acinetobacter radioresistens</i>
2,5	Красная	Выпуклая	-	Ровный	Однородная блестящая	<i>Arthrobacter agilis</i>
3	Бесцветная	Вогнутая	+	Ровный	Однородная блестящая	<i>Enterococcus</i> sp.
<i>5 сутки ферментации</i>						
2	Серый	Вогнутая	+	Ровный	неоднородная блестящая	<i>Enterococcus faecium</i>
3	Желтый	Выпуклая	-	Неровный	Однородная блестящая	<i>Rhizobium leguminosarum</i>
5	Коричневый	Выпуклая	+	Неровный	Однородная блестящая	<i>Enterobacter cloacae</i>
2	Светло-серый	Вогнутая	+	Ровный	Однородная блестящая	<i>Kocuria rhizophila</i>
3	Желто-оранжевый	Выпуклая	+	Ровный	однородная блестящая	<i>Enterococcus mundtii</i>
<i>7 сутки ферментации</i>						
4	Белый	Выпуклая	-	Неровный	Однородная блестящая	<i>Staphylococcus warneri</i>
1	Белый	Выпуклая	-	Ровный	Однородная блестящая	<i>Kocuria rhizophila</i>
3	Молочный	Вогнутая	-	Ровный	Однородная блестящая	<i>Acinetobacter radioresistens</i>
7	Желтый	Выпуклая	+	Неровный	Однородная блестящая	<i>Enterobacter cloacae</i>
3	—	Выпуклая	+	Ровный	однородная блестящая	<i>Enterococcus</i> sp.
30	Бледно-Желтый	Ровная	+	Неровный	неоднородная блестящая	<i>Atlantibacter hermannii</i>
4	Бледно-пшеничный	Вогнутая	+	Неровный	неоднородная блестящая	<i>Enterococcus hirae</i>

альных промышленных продуцентов проведен информационный поиск, который выявил ряд интересных биосинтетических свойств различных штаммов.

Литературные данные об отдельных представителях выявленных таксонов

Ниже представлены фотографии, иллюстрирующие рост идентифицированных в ходе проведенного эксперимента бактериальных изолятов на среде МПА, и информация об известных штаммах-продуцентах с выявленной таксономической принадлежностью.

На Рисунке 1 представлены колонии *Rhizobium leguminosarum*.

Rhizobium leguminosarum — грамотрицательная подвижная палочковидная азотофиксирующая бактерия из семейства *Rhizobiaceae*. Не только обладает симбиотическими связями с бобовыми, но и стимулирует рост рапса, томатов и салата (Благова и др., 2015; Вершинина и др., 2013). *Rhizobium leguminosarum* интересна как продуцент экзополисахаридов (ЭПС) и в качестве сырья использует промышленные сточные воды (Sellami et al., 2015). Сами ЭПС применяют в случаях загрязнения почв тяжелыми металлами, используя микроорганизмы и растения для восстановления биологической активности экосистемы (Вершинина и др., 2020). В сфере экологии *Rhizobium leguminosarum* обладает потенциалом в удалении

трёхвалентного и шестивалентного хрома в промышленных сточных водах (Raaman et al., 2012).

На Рисунке 2 представлена *Kocuria rhizophila*.

Kocuria rhizophila — почвенная грамположительная палочка семейства *Micrococcaceae*. До реклассификации имела название *Micrococcus luteus* (Tang & Patrick, 2003). При росте на плотных средах формируются гладкие выпуклые колонии желтого цвета диаметром 3–5 мм. Обладает высокой протеолитической, кератинолитической активностями. Поэтому обладает высоким потенциалом в биодegradации куриных перьев с целью получения аминокислот (Wojciech et al., 2015; Wojciech et al., 2018). Так как является условно патогенным микроорганизмом, то используется как эталонный штамм в фармацевтике и пищевой отрасли на проверку качества сред и продуктов (Wojciech et al., 2018).

На Рисунке 3 представлены колонии *Acinetobacter radioresistens*.

Acinetobacter radioresistens — грамотрицательная строго аэробная не ферментирующая, каталазопозитивная бактерия-прототроф семейства *Moraxellaceae* (Чеботарь и др., 2014). Растет на простых средах, и при росте на плотных средах образуются выпуклые гладкие колонии диаметром 2–3 мм бледно-желтого цвета. Обладает высокой липазной активностью, что позволяет использовать синтезируемые ею липазы в качестве компонентов поверхностно-активных препаратов для моющих средств. Благодаря универсальной метаболической



Рисунок 1
Колонии *Rhizobium leguminosarum*, среда МПА

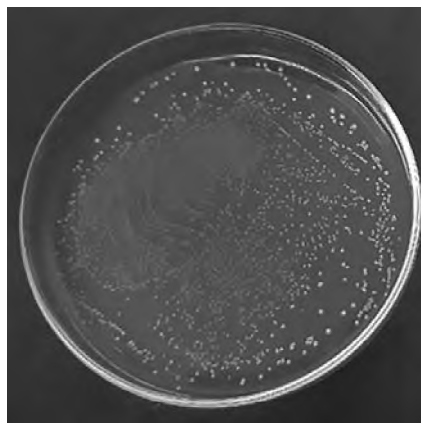


Рисунок 2
Колонии *Kocuria rhizophila*, среда МПА



Рисунок 3
Колонии *Acinetobacter radioresistens*, среда МПА

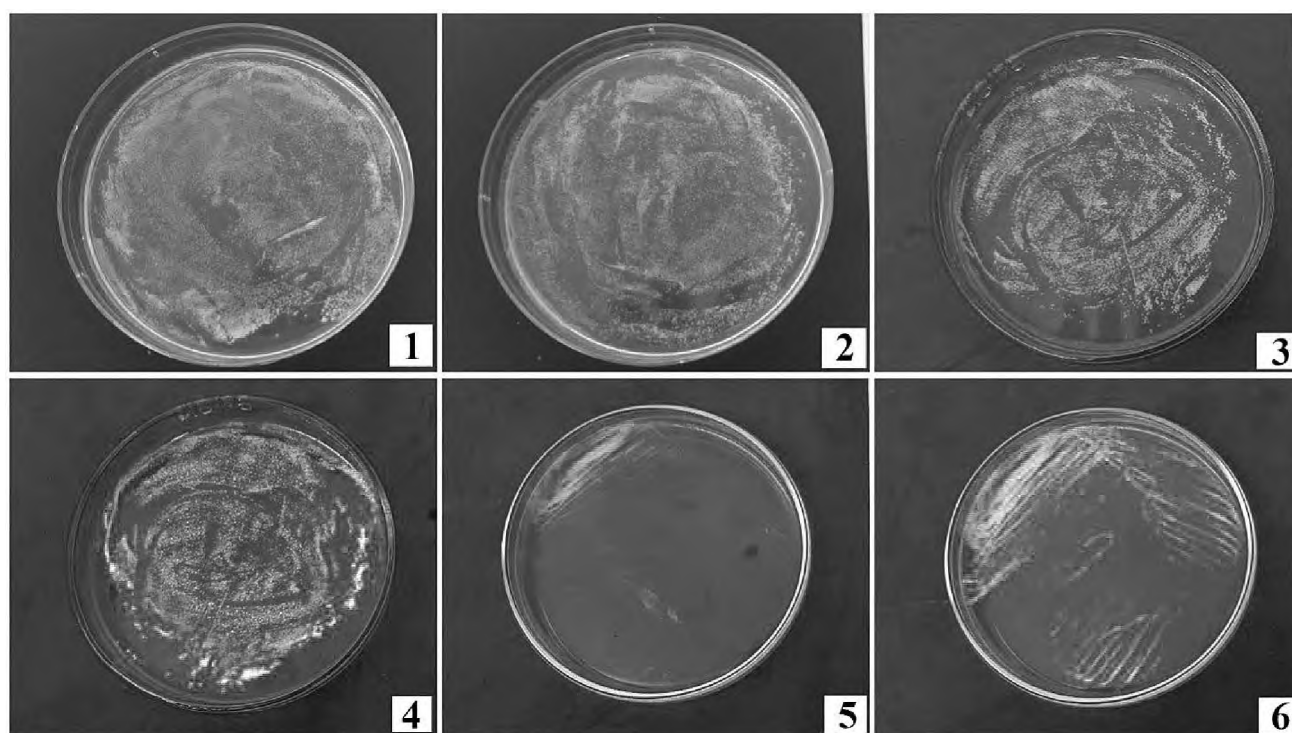


Рисунок 4

Колонии *Arthrobacter agilis*, растущие на МПА (1), LB среде (3), LB среде без NaCl (5) при температуре 28 °С, и пигментообразование на МПА (2), LB среде (4), LB среде без NaCl (6) при температуре 4 °С

активности, *Acinetobacter radioresistens* синтезирует полиуретаназу, расщепляющую полиуретан, и фенолгидроксилазу, используя фенол в качестве единственного источника углерода (Чеботарь и др., 2014). Штаммы *Acinetobacter radioresistens* ВКПМ-В-2838 и *Acinetobacter radioresistens* ВКПМ-В-5064 входят в состав биопрепарата по очистке почвы от нефти и нефтепродуктов⁶.

Особый интерес *Acinetobacter radioresistens* вызывает в сфере нанотехнологии. *Acinetobacter radioresistens* эффективно синтезирует в среде Мейнелла наночастицы серебра, обладающие бактерицидными и ранозаживляющими свойствами. Наночастицы серебра ингибируют рост таких болезнетворных бактерий как *Staphylococcus saprophyticus* (возбудитель инфекций мочевыделительных органов) и *Salmonella typhimurium* (возбудитель брюшного тифа). Способность к формированию наночастиц в супернатанте имеет защитный эффект, так как продуцент более устойчив к собственным наноча-

стицам, чем к ионам серебра (Лобанова, 2020; Нахаева, 2018).

На Рисунке 4 представлены колонии *Arthrobacter agilis*.

Arthrobacter agilis — грамположительная аэробная бактерия семейства *Micrococcaceae*. Относится к психротрофам и растет при низких температурах с образованием пигмента — каротиноидов. Может продуцировать холодоактивные ферменты, такие как липаза, амилаза, протеаза, хитиназа и β-галактозидаза (Ram et al., 2016). Дополнительно *Arthrobacter agilis* интересна как продуцент индол-3-уксусной кислоты, применяемый в сельском хозяйстве как гормон роста для растений (Ozdal et al., 2017a) и диметилгексадециламин, ингибирующий рост фитопатогенных грибов (Velázquez-Becerra et al., 2013). В пищевой промышленности интересен как продуцент натурального красителя — бета-каротина (Ozdal et al., 2017b).

⁶ Байсангуров, Э. К., Бекузарова, С. А., Салбиева, З. И., Хестанов, А. А., & Кайтмазова, Д. Б. (2005). РФ Патент № 2343667. Способ биологической защиты растений картофеля. Владикавказ: Владикавказский институт управления.

Особенности роста выявленных культур *Acinetobacter radioresistens* и *Arthrobacter agilis*

В ходе проведенных исследований было отмечено, что культура *Acinetobacter radioresistens* благотворно влияет на рост бактерии *Arthrobacter agilis* и ускоряет процесс накопления каротиноидов. Ниже, на Рисунке 5 представлены отдельно растущие колонии *Acinetobacter radioresistens* (1), *Arthrobacter agilis* (2) и продемонстрирован совместный их рост на агаризованной среде LB (3) с (см. Процедура исследования).

Следует отметить, что характер роста культуры *Arthrobacter agilis* без бактерии *Acinetobacter radioresistens* на плотных питательных средах с варьированием концентрации соли и температурного режима культивирования различается. Так, на агаризованной среде LB без NaCl (Рисунки 4(5) и 5(1)), при температуре 28°C рост культуры средний, пигментообразование четко выражено. На той же среде с NaCl (Рисунок 4(3)) при той же температуре рост средний, единичный, цвет колоний не насыщенный. При температуре культивирования 28 ± 1 °C на МПА (см. Рисунок 4(1)) рост слабый, колонии проявляются при длительном культивировании (более 10 суток), цвет при температуре 4°C практически не изменился (Рисунок 4(2)).

Можно предположить, что метаболиты, синтезируемые культурой *Acinetobacter radioresistens*, являются субстратами для развития *Arthrobacter agilis*. Для подтверждения высказанного предположения необходимо провести ряд экспериментов по культивированию *Acinetobacter radioresistens* и *Arthrobacter agilis* на жидких средах различного состава глубинным способом и изучить химический состав культуральной жидкости.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты, в отличие от известных данных о микробиологическом составе пшеничных отрубей, в основном обсуждаемом с точки зрения отрицательного воздействия на показатели качества сырья в процессе хранения, позволяют рассматривать аборигенные таксоны в качестве потенциальных продуцентов полезных ингредиентов. Многие идентифицированные в изучаемом образце пшеничных отрубей бактериальные культуры представляют практический интерес для разработки технологий пищевых и кормовых добавок при ферментации пшеничных отрубей под действием как одного собственного изолята, так и консорциума аборигенных микроорганизмов. Выявленное взаимовлияние продуктов обменных процессов культур *Acinetobacter radioresistens*

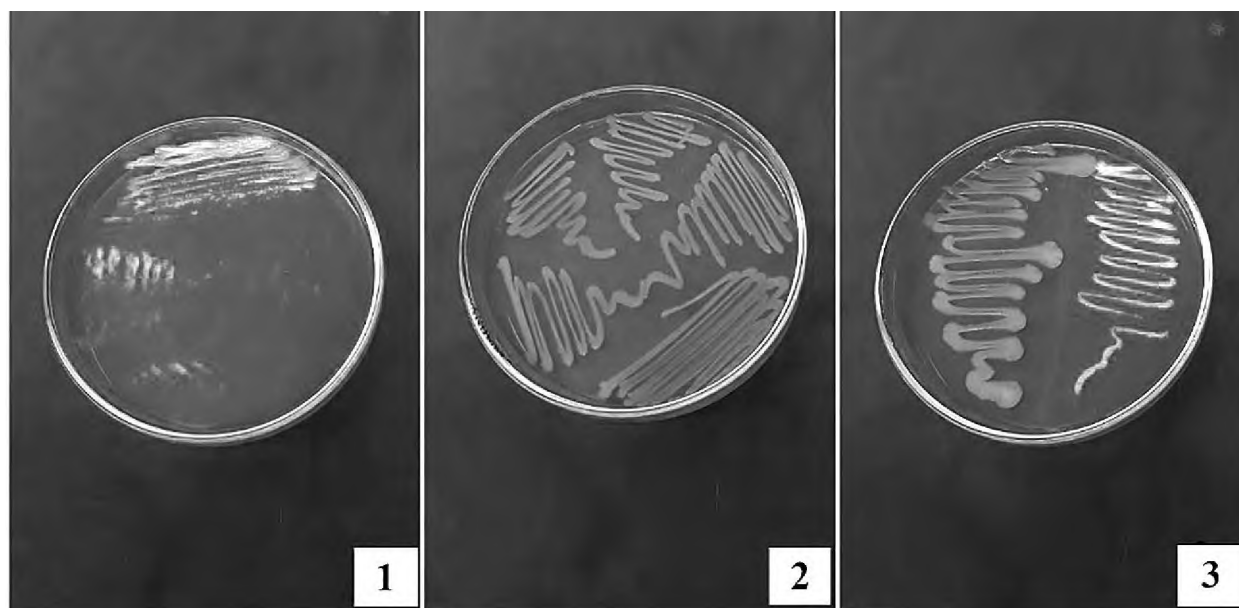


Рисунок 5

Отдельно растущие колонии *Arthrobacter agilis* (1), *Acinetobacter radioresistens* (2) и их совместный рост на чашке Петри (3) с агаризованной средой LB без NaCl при температуре 28°C

и *Arthrobacter agilis*, заключающееся в биосинтезе субстратов одним видом бактерии для роста и развития другого вида, можно рассматривать как результат цепного механизма инициации роста не культивируемых микроорганизмов.

Пшеничные отруби как источник потенциальных промышленных микробных продуцентов пищевых микроингредиентов и биологически активных веществ практически не изучен. Известная информация об их микробиологическом составе дает представление о возможных путях заражения сырья при хранении и механизмах развития патогенной микрофлоры, в основном грибного происхождения (Radenkovs et al., 2013; Чеботарь и соавт., 2014). Данные о бактериальной микрофлоре более доступны, но представляют в основном информационный характер, констатирующий факт присутствия той, или иной культуры в пшеничных отрубях (Radenkovs et al., 2013; Чеботарь и соавт., 2014; Ильяшник и соавт., 2011). Научный и практический интерес представляет изучение консорциума микроорганизмов, составляющих естественную микрофлору вторичного сырья, с использованием генетических методов исследований, направленных на изучение метагенома микробного консорциума и идентификацию его отдельных представителей. (Radenkovs et al., 2013). Применительно к пшеничным отрубям такого рода исследования единичны. Представленные в данной работе результаты по изучению микробиологического состава пшеничных отрубей пищевого назначения показали, что повышение влажности в толще слоя сырья индуцирует рост и развитие микроорганизмов, в частности бактериальных культур. Идентифицированный качественный состав, как показали полученные результаты, отличается от данных других авторов, упоминающих в своих работах такие таксоны, как *Erwiniaher bicola* (Ильяшник и соавт., 2011), *Bacillus mesentericus* и *Bacillus mycoides*, *Xanthomonas campestris* (Осовская и соавт., 2021), *Pseudomonas syringae*, *Corynebacterium* spp (Radenkovs et al., 2013; Роганина, 2017; Сиротин и соавт., 2012). В исследуемой нами партии пшеничных отрубей пищевого назначения выше представленные культуры не обнаружены. Идентифицированные нами изоляты являются представителями родов *Arthrobacter*, *Acinetobacter*, *Rhizobium*, *Kocuria*, а *Enterococcus*. Выявленное различие обусловлено сортом пшеницы,

при переработке которой получены отруби, производственными режимами, технологией обработки, условиями перевозки и хранения и др. Превышение нормируемого показателя «массовая доля влаги»⁷ является одним из основных факторов, вызывающих развитие микрофлоры, в том числе посторонней, занесенной извне, при открытом доступе к партии отрубей после вскрытия упаковки и длительном хранении.

Выявленные в исследуемых диетических пшеничных отрубях бактериальные культуры не упоминаются в качестве микрофлоры, характерной для данного вида отхода мукомольных производств. По-видимому, известные данные, касающиеся микробиологического состава пшеничных отрубей, относятся к их кормовой форме. Однако идентифицированная микрофлора может относиться к некультивируемой микрофлоре, то есть не проявляющей рост в процессе хранения при соблюдении нормативной влажности, но быстро развивающейся при ее повышении. В результате проведенных нами исследований выявлено, что в зависимости от длительности культивирования изучаемых пшеничных отрубей глубинным способом качественный и количественный состав микробного консорциума изменяется. Так, качественный состав идентифицированной микрофлоры на 2, 5 и 7 сут. ферментации пшеничных отрубей варьирует (Таблица 1). Среди выявленных 15 культур меньше всего культур проявили рост при 2-суточной ферментации (3 культуры). При 5-суточной ферментации проявили рост 5 культур, при 7-суточной ферментации — 7 культур. Представленную выше тенденцию, предположительно, можно обосновать так, что выявленные в результате 2-суточной ферментации микроорганизмы выделяют метаболиты, которые являются субстратами для остальных микроорганизмов, проявляющих рост значительно позже, при увеличении времени ферментации. Следует отметить, что некоторые морфологические свойства одних и тех же бактерий, идентифицированных в исследуемые периоды ферментации, отличаются (см. Таблицу 1), например, цвет колоний культур *Acinetobacter radioresistens* (2 и 7 сут.), *Enterobacter cloacae* (5 и 7 сут.), *Kocuria rhizophila* (5 и 7 сут.), профиль и прозрачность колоний *Acinetobacter radioresistens* (2 и 7 сут) и *Kocuria rhizophila* (5 и 7 сут).

⁷ ГОСТ Р 53496–2009. (2019). *Отруби пшеничные и ржаные диетические. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

Интересна выявленная зависимость роста культуры *Arthrobacter agilis* при совместном культивировании с изолятом *Acinetobacter radioresistens* на питательной среде LB без NaCl и при температуре 28°C (Рисунок 5). Используемая в экспериментах плотная питательная среда LB содержит существенно больше минеральной соли NaCl (Свердлова, 2021), чем МПА, и, возможно, при изменении температурного режима присутствие соли сохраняет бактериальную клетку от термошока и ответной реакции в виде пигментообразования не происходит. С практической точки зрения защитный эффект образования пигмента можно использовать для промышленного получения пищевого красящего вещества из группы каротиноидов. Из литературных источников известно, что культура *Arthrobacter agilis* холодоустойчива (Ram et al., 2016; Ozdal et al., 2017a) и характерна для регионов с низкотемпературными климатическими условиями. Возможно, что идентифицированная в исследуемой партии пшеничных отрубей бактерия *Arthrobacter agilis* изначально присутствовала в зерне обрабатываемой пшеницы не исключено, что она попала в пшеничные отруби в результате переработки зерна. Подобного рода информация известна из ряда работ, в которых упоминается возможность миграции микроорганизмов с поверхности зерна на продукты его переработки (Ильяшник и соавт., 2011). Такое предположение применительно и к идентифицированной культуре *Rhizobium leguminosarum*, которая, по литературным источникам, синтезирует ЭПС, применяемые для удаления тяжелых металлов и восстановления экосистемы (Sellami et al., 2015; Вершинина и соавт., 2020) и, возможно, использовалась для выращивания зерна пшеницы, при переработке которой получены исследуемые в данной работе отруби. Из бактерий, охарактеризованных выше (см. «Литературные данные об отдельных представителях выявленных таксонов»), выявленные культуры *Acinetobacter radioresistens*, по-видимому, обладают наиболее пластичной ферментной системой по сравнению с другими таксонами микробного консорциума изучаемых пшеничных отрубей, поскольку клетки этой бактерии встречаются на протяжении всего биотехнологического процесса и, по литературным данным, она является продуцентом гидролитических ферментов, в том числе и промышленного значения, например, липазы (Чеботарь и соавт., 2014). Другая культура, которая идентифицирована на 5–7 сут ферментации отрубей, *Kocuria rhizophila*, также является про-

дуцентом гидролаз, таких как протеазы, кератиназы (Wojciech et al., 2015; Wojciech et al., 2018).

Поскольку состав пшеничных отрубей включает углерод- и азотсодержащие вещества, являющиеся субстратами для развития микроорганизмов, и важные микроэлементы, то, очевидно, что они обладают значительным биотехнологическим потенциалом в качестве сырья для получения промышленно важных микроорганизмов. В свою очередь эти микроорганизмы при усвоении субстратов при глубокой ферментации в разные временные периоды выделяют во внешнюю среду метаболиты, которые являются также промышленно важными веществами (ферменты, аминокислоты, витамины, экзополисахариды, биоактивные пептиды, фенольные соединения, антиоксиданты). Они же в определенных условиях проявляют себя как биологически ценные компоненты питательной среды для роста микроорганизмов, не культивируемых в менее влажных условиях. В данных исследованиях это в основном представители *Enterococcus* (Таблица 1), которые потребляют субстраты, выделенные на 2 сут ферментации пшеничных отрубей другими бактериями и являющиеся пробиотическими культурами.

По информационным источникам, общее количество микроорганизмов в зерне составляет 2–3 млн на 1 г продукта, многие из которых встречаются в продуктах переработки зерна и, как показали представленные результаты, являются промышленно полезными. Несмотря на то, что некоторые из выявленных бактериальных культур являются условно патогенными, многие из них обладают биотехнологическим потенциалом и являются объектом исследований для разработки промышленных технологий получения различных пищевых продуктов, пищевых добавок, технологических вспомогательных средств, биологически активных веществ.

Полученные результаты являются начальным звеном для развития такого биотехнологического направления как реализация продуктов переработки пищевого и сельскохозяйственного сырья в качестве источника микробных продуцентов. Для получения более полного представления о качественном и количественном разнообразии аборигенной микрофлоры необходимо расширить объем выборки исследуемого вторичного сырья, провести

метагеномные исследования и идентифицировать таксоны, установить механизмы взаимодействия выявленных таксонов на обменном уровне и механизмы биосинтеза ими полезных метаболитов, создать базу данных аборигенных микроорганизмов вторичного сырья, базу данных синтезируемых ими метаболитов, позволяющие целенаправленно подобрать штамм-продуцент и прогнозировать его продуктивность по конкретному веществу.

ВЫВОДЫ

Полученные данные свидетельствуют о том, что бактериальный консорциум исследуемых диетических пшеничных отрубей обладает морфологическим разнообразием. Тот факт, что наибольшее количество микроорганизмов обнаружено при 7-суточной ферментации, позволяет предположить, что метаболиты, синтезируемые бактериальными представителями консорциума на начальных стадиях ферментации, являются субстратами для роста и развития других бактерий. В их отсутствии такие бактерии не имеют источников углерода, азота и других необходимых для жизнедеятельности элементов в культуральной среде. Возможно, что многокомпонентный сложный состав пшеничных отрубей не доступен для усвоения этими культурами, а выделяемые на более поздних временных этапах ферментации простые вещества способствуют накоплению их биомассы и формированию ферментной системы, индуцируя синтез ферментов, участвующих в обменных процессах, в том числе и гидролаз.

Исследованные диетические пшеничные отруби являются источником микроорганизмов — потенциальных продуцентов ферментов, гормонов, пигментов, антиоксидантов, биостимуляторов роста растений, экзополисахаридов. Являясь представителями микробного консорциума, они синтезируют широкий спектр ферментов, уча-

ствующих в клеточных обменных процессах как собственных, так и в биохимических реакциях, протекающих для других аборигенных таксонов. Таким примером является взаимовлияние развития выявленных в результате исследований культур *Acinetobacter radioresistens* и *Arthrobacter agilis*. Бактерия *Acinetobacter radioresistens* способствует росту бактерии *Arthrobacter agilis* и ускорению процесса накопления каротиноидов.

Диетические пшеничные отруби являются перспективным источником субстратов для микроорганизмов различных таксономических групп и могут найти широкое применение в различных отраслях промышленности, помимо пищевой. Поэтому актуальным является вопрос о получении полезных продуктов из пшеничных отрубей с помощью не только собственной (аборигенной) микрофлоры, но и индивидуальных микроорганизмов-продуцентов. Для решения таких задач необходимо в перспективе исследовать гидролитическую активность выделенных микробных изолятов, оценить биосинтетическую способность и определить направления использования синтезируемых ими метаболитов.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Свердлова О. П.: проведение исследования; создание черновика рукописи.

Причеп А. О.: проведение исследования.

Шарова Н. Ю.: руководство исследованием; концептуализация; методология; создание рукописи и ее редактирование.

Лоскутов С. И.: программное обеспечение, валидация данных.

Принцева А. А.: проведение исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- Благова, Д. К., Вершинина, З. Р., Нигматуллина, Л. Р., Лавина, А. М., Баймиев, Ан. Х., & Баймиев, Ал. Х. (2015). Искусственные ассоциативные симбиозы между томатом и ризобиями, обладающими фунгистатической активностью. *Сельскохозяйственная биология*, 50(1), 107–114. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.1.107rus>
- Вершинина, З. Р., Благова, Д. К., Нигматуллина, Л. Р., Оркодашвили, А. М., & Баймиев, Ал. Х. (2013). Искусственная ассоциативная симбиотическая система рапса с ризобиями для защиты от фитопатогенов. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 3, 1579–1582.
- Вершинина, З. Р., Лавина, А. М., & Чубукова, О. В. (2020). Экзополисахариды *Rhizobium leguminosarum* — краткий обзор. *Биомика*, 12(1), 27–49. <https://dx.doi.org/10.31301/2221-6197.bmc.2020-3>
- Ефимова, Л. В., & Удалова, Т. А. (2011). Эффективные микроорганизмы в кормлении крупного рогатого скота и свиней: *Монография*. Красноярск: Красноярский НИИЖ Россельхозакадемии.
- Ильяшник, А. В., Ваницкая, Т. В., Соловьева, Е. В., & Козинец, А. В. (2011). Некоторые особенности развития микрофлоры в отрубях. *Известия вузов. Пищевая технология*, 4, 118–119.
- Конева, С. И., & Могучева, Э. П. (2011). Исследование влияния пшеничных отрубей на качество хлеба повышенной пищевой ценности. *Ползуновский вестник*, 2, 141–144.
- Котляров, В. В., & Сединина, Н. В. (2014). Особенности малотонажного производства микробиологических препаратов для защиты растений и его оптимизация. *Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 100(6), 1–19.
- Лабинская, А. С., Блинкова, Л. П., & Ещина, А. С. (2004). Общая и санитарная микробиология с техникой микробиологических исследований. В *Санитарно-микробиологические исследования почвы* (с. 432–445). М.: Медицина.
- Лобанова, И. В. (2020). Способность бактерий рода *Acinetobacter* синтезировать наночастицы серебра и их антибактериальная активность. *Universum: Химия и биология*, 9, 5–7.
- Нахаева, Н. В. (2018). Образование наночастиц серебра бактериями *Acinetobacter radioresistens*. В *75-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета* (т. 3, с. 314–317). Минск: Белорусский государственный университет.
- Осовская, И. И., Бородин, А. М., Курзин, А. В., & Рошин, В. И. (2021). Синтез и свойства модифицированной ксантановой камеди. *Химия растительного сырья*, 4, 95–104. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021049525>
- Роганина, В. Ю. (2017). Влияние времени инкубации стартовой культуры сверхпродуцента лизина *Corynebacterium glutamicum* В-11167 на выход продукта в технологическом цикле. *Евразийский Союз Ученых*, 6, 9–11.
- Свердлова, О. П., Причеп, А. О., & Сычева, В. С. (2021). Микробиологическая структура пшеничных отрубей: Перспективность и технологические решения. *Пищевые системы*, 4, 248–251. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-248-251>
- Сиротин, А. А., Глухарева, Н. А., & Оспишева, Н. В., Бондаренко, В. В., Резун, А. П. & Зенинская, Н. А. (2012). Процесс биосинтеза лизина штаммом *Corynebacterium glutamicum* В-11167 на основе сред, содержащих гидролизат пшеничного глютен. *Современные проблемы науки и образования*, 6, 1–8.
- Хромова, Н. Ю. (2019). *Биотехнологическая конверсия зернового сырья для получения пробиотических продуктов и кормовых белковых добавок* [Кандидатская диссертация, Российский химико-технологический университет имени Менделеева]. М., Россия.
- Чеботарь, И. В., Лазарева, А. В., Масалов, Я. К., Михайлович, В. М., & Маянский, Н. А. (2014). *Acinetobacter*: Микробиологические, патогенетические и резистентные свойства. *Вестник Российской академии медицинских наук*, 66(9–10), 39–50.
- Espinheira, R. P., Lima, V. A., Tiago, R., Guimarães, M., Oliveira, C. A., de Souza, M. V., Gilberto, B., Nogueira, F. C. S., Teixeira, R. S. S., da Silva Bon, E. P., da Silva, A. S. (2022). *Aspergillus awamori* endoglucanase-rich supernatant enhances lignocellulosic biomass liquefaction in high-solids enzymatic hydrolysis. *Biochemical Engineering Journal*, 183, Article 108448. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2022.108448>
- Ozidal, M., Ozdal, O. G., & Gurkok, S. (2017a). Statistical optimization of beta-carotene production by *Arthrobacter agilis* A17 using response surface methodology and box-behnken design. *AIP Conference Proceedings*, 1833(1), Article 020101. <https://doi.org/10.1063/1.4981749>
- Ozidal, M., Ozlem, O. G., Sezen, A., Algur, O. F., & Kurbanoğlu, E. B. (2017b). Continuous production of indole-3-acetic acid by immobilized cells of *Arthrobacter agilis*. *Biotech*, 7, Article 23. <https://doi.org/10.1007/s13205-017-0605-0>
- Raaman, N., Mahendran, B., Jaganathan, C., SukumarS, & Chandrasekaran, V. (2012). Removal of chromium using *Rhizobium leguminosarum*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 627–636. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0856-6>
- Radenkovs, V., Klava, D., & Juhnevic, K. (2013). Microbiology and safety of bran from Latvia. *International Conference on Nutrition and Food Sciences*, 53(17), 87–92. <https://doi.org/10.7763/IPCBE.2013.V53.17>
- Ram, N. S., Sonam, G., Ajar, N. Y., Prakhar, G., Sneha, G., Rajeev, K., & Anil, K. S. (2016). First high quality draft genome sequence of a plant growth promoting and cold active enzyme producing psychrotrophic *Arthrobacter agilis* strain L77. *Standards in Genomic Sciences*, 1, Article 54. <https://doi.org/10.1186/s40793-016-0176-4>

- Sellami, M., Oszako, T., Miled, N., & Rebah, F. B. (2015). Industrial wastewater as raw material for exopolysaccharide production by *Rhizobium leguminosarum*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 46(2), 407–413. <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-838246220140153>
- Tang, J. S., & Patrick, M. G. (2003). Reclassification of ATCC 9341 from *Micrococcus luteus* to *Kocuriarhizophila*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53(4), 995–997. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.02372-0>
- Velazquez-Becerra, C., Macias-Rodríguez, L. I., Lopez-Bucio, J., Flores-Cortez, I., Santoyo, G., Hernandez-Soberano, C., & Valencia-Cantero, E. (2013). The rhizobacterium *Arthrobacter agilis* produces dimethylhexadecylamine, a compound that inhibits growth of phytopathogenic fungi in vitro. *Protoplasma*, 1, 100–112. <https://doi.org/10.1007/s00709-013-0506-y>
- Wojciech, L., Choinska, A., Rodziejewicz, A., & Piegza, M. (2015). Keratinolytic abilities of *Micrococcus luteus* from poultry waste. *Brazilian Journal of Microbiology*, 46(3), 691–700. <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-838246320140098>
- Wojciech, L., Zarowska, B., Chorążyk, D., Pudło, A., Piegza, M., Kancelista, A., & Kopec, W. (2018). New keratinolytic bacteria in valorization of chicken feather waste. *AMB Expr.*, 8. Article 9. <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0538-y>
- Yan, F., Lei, W., Ajab, K., Rui, Z., Siang, W., & Xiaoyuan, J. (2020). Fermented wheat bran by xylanase-producing *Bacillus cereus* boosts the intestinal microflora of broiler chickens. *Poultry Science*, 99(1), 263–271. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pez482>
- ## REFERENCES
- Blagova, D. K., Vershinina, Z. R., Nigmatullina, L. R., Lavina, A. M., Baimiev, An. Kh., & Baimiev, Al. Kh. (2015). Iskusstvennyye assotsiativnyye simbiozy mezhdu tomatom i rizo-biyami, obladayushchimi fungistaticheskoi aktivnost'yu [Artificial associative symbioses between tomato and rhizobia with fungistatic activity]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 50(1), 107–114. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.1.107rus>
- Chebotař, I. V., Lazareva, A. V., Masalov, Ya. K., Mikhailovich, V. M., & Mayanskii, N. A. (2014). Acinetobacter: Mikrobiologicheskie, patogeneticheskie i rezistentnye svoystva [Acinetobacter: Microbiological, pathogenetic and resistant properties]. *Vestnik Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk [Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences]*, 66(9–10), 39–50.
- Efimova, L. V., & Udalova, T. A. (2011). *Effektivnyye mikroorganizmy v kormlenii krupnogo rogatogo skota i svinei: Monografiya [Effective Microorganisms in Cattle and Pigs Feeding: Monograph]*. Krasnoyarsk: Krasnoyarskii NIIZh Rossel'khozakademii.
- Il'yashnik, A. V., Vanitskaya, T. V., Solov'eva, E. V., & Kozinets, A. V. (2011). Nekotorye osobennosti razvitiya mikroflory v otrubakh [Some features of the development of microflora in bran]. *Izvestiya vuzov. Pishchевaya tekhnologiya [University News. Food Technology]*, 4, 118–119.
- Khromova, N. Yu. (2019). *Biotehnologicheskaya konversiya zernovogo syr'ya dlya polucheniya probioticheskikh produktov i kormovykh belkovykh dobavok [Biotechnological conversion of grain raw materials for the production of probiotic products and feed protein additives]* [Candidate Dissertation, Rossiiskii khimiko-tekhnologicheskii universitet imeni Mendeleeva]. Moscow, Russia.
- Koneva, S. I., & Mogucheva, E. P. (2011). Issledovanie vliyaniya pshenichnykh otrubei na kachestvo khleba povyshennoi pishchevoi tsennosti [Study of the influence of wheat bran on the quality of bread with increased nutritional value]. *Polzunovskii vestnik [Polzunovsky Bulletin]*, 2, 141–144.
- Kotlyarov, V. V., & Sedinina, N. V. (2014). Osobennosti malotonazhnogo proizvodstva mikrobiologicheskikh preparatov dlya zashchity rastenii i ego optimizatsiya [Features of low-tonnage production of microbiological preparations for plant protection and its optimization]. *Nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University]*, 100(6), 1–19.
- Labinskaya, A. S., Blinkova, L. P., & Eshchina, A. S. (2004). Obshchaya i sanitarnaya mikrobiologiya s tekhniki mikrobiologicheskikh issledovaniy [General and sanitary microbiology with microbiological research techniques]. In *Sanitarno-mikrobiologicheskie issledovaniya pochvy [Sanitary and microbiological studies of the soil]* (pp. 432–445). Moscow: Meditsina.
- Lobanova, I. V. (2020). Sposobnost' bakterii roda Acinetobacter sintezirovat' nanochastitsy srebra i ikh antibakterial'naya aktivnost' [The ability of bacteria of the genus Acinetobacter to synthesize silver nanoparticles and their antibacterial activity]. *Universum: Khimiya i biologiya [Universum: Chemistry and Biology]*, 9, 5–7.
- Nakhaeva, N. V. (2018). Obrazovanie nanochastits srebra bakteriyami Acinetobacter radioresistens [Formation of silver nanoparticles by Acinetobacter radioresistens bacteria]. In *75-ya nauchnaya konferentsiya studentov i aspirantov Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta [75th Scientific Conference of students and postgraduates of the Belarusian State University]* (vol. 3, pp. 314–317). Minsk: Belorusskii gosudarstvennyi universitet.
- Osovskaya, I. I., Borodina A. M., Kurzin A. V., & Roshchin V. I. (2021). Sintez i svoystva modifitsirovannoi ksantanovoi kamedy [Synthesis and properties of modified xanthan gum]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of Plant Raw Materials]*, 4, 95–104. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021049525>
- Roganina, V. Yu. (2017). Vliyanie vremeni inkubatsii startovoi kul'tury sverkhproduksenta lizina Corynebacterium glutamicum B-11167 na vykhod produkta v tekhnologicheskoy tsikle [The effect of the incubation time of the starter culture of the overproducer lysine Corynebacterium glutamicum B-11167 on the yield of the product in

- the technological cycle]. *Evrasiiskii Soyuz Uchenykh [Eurasian Union of Scientists]*, 6, 9–11.
- Sirotnin, A. A., Glukhareva N. A., & Ospishcheva N. V., Bondarenko V. V., Rezun A. P. & Zeninskaya N. A. (2012). Protseess biosinteza lizina shtammom *Corynebacterium glutamicum* B – 11167 na osnove sred, sodержashchikh gidrolizat pshenichnogo glyutena [The process of lysine biosynthesis by *Corynebacterium glutamicum* B-11167 strain based on media containing wheat gluten hydrolysate]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]*, 6, 1–8.
- Sverdlova, O. P., Prichepa, A. O., & Sycheva, V. S. (2021). Mikrobiologicheskaya struktura pshenichnykh otrubei: Perspektivnost' i tekhnologicheskie resheniya [Microbiological structure of wheat bran: Prospects and technological solutions]. *Pishchevye sistemy [Food Systems]*, 4, 248–251. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-248-251>
- Vershinina, Z. R., Blagova, D. K., Nigmatullina, L. R., Orkodashvili, A. M., & Baimiev, Al. Kh. (2013). Iskusstvennaya assotsiativnaya simbioticheskaya sistema rapsa s rizobiymi dlya zashchity ot fitopatogenov [Artificial associative symbiotic system of rapeseed with rhizobia for protection against phytopathogens]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*, 3, 1579–1582.
- Vershinina, Z. R., Lavina, A. M., & Chubukova, O. B. (2020). Ekzopolisakharidy *Rhizobium leguminosarum* – kratkii obzor [Exopolysaccharides of *Rhizobium leguminosarum* – a brief overview]. *Biomika [Biomics]*, 12(1), 27–49. <https://dx.doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2020-3>
- Espinheira, R. P., Lima, V. A., Tiago, R., Guimarães, M., Oliveira, C. A., de Souza, M. V., Gilberto, B., Nogueira, F. C. S., Teixeira, R. S. S., da Silva Bon, E. P., da Silva, A. S. (2022). *Aspergillus awamori* endoglucanase-rich supernatant enhances lignocellulosic biomass liquefaction in high-solids enzymatic hydrolysis. *Biochemical Engineering Journal*, 183, Article 108448. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2022.108448>
- Ozdal, M., Ozdal, O. G., & Gurkok, S. (2017a). Statistical optimization of beta-carotene production by *Arthrobacter agilis* A17 using response surface methodology and box-behnken design. *AIP Conference Proceedings*, 1833(1), Article 020101. <https://doi.org/10.1063/1.4981749>
- Ozdal, M., Ozlem, O. G., Sezen, A., Algur, O. F., & Kurbanoglu, E. B. (2017b). Continuous production of indole-3-acetic acid by immobilized cells of *Arthrobacter agilis*. *Biotech*, 7, Article 23. <https://doi.org/10.1007/s13205-017-0605-0>
- Raaman, N., Mahendran, B., Jaganathan, C., SukumarS, & Chandrasekaran, V. (2012). Removal of chromium using *Rhizobium leguminosarum*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 627–636. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0856-6>
- Radenkovs, V., Klava, D., & Juhneveica, K. (2013). Microbiology and safety of bran from Latvia. *International Conference on Nutrition and Food Sciences*, 53(17), 87–92. <https://doi.org/10.7763/IPCBE.2013.V53.17>
- Ram, N. S., Sonam, G., Ajar, N. Y., Prakhar, G., Sneha, G., Rajeev, K., & Anil, K. S. (2016). First high quality draft genome sequence of a plant growth promoting and cold active enzyme producing psychrotrophic *Arthrobacter agilis* strain L77. *Standards in Genomic Sciences*, 1, Article 54. <https://doi.org/10.1186/s40793-016-0176-4>
- Sellami, M., Oszako, T., Miled, N., & Rebah, F. B. (2015). Industrial wastewater as raw material for exopolysaccharide production by *Rhizobium leguminosarum*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 46(2), 407–413. <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-838246220140153>
- Tang, J. S., & Patrick, M. G. (2003). Reclassification of ATCC 9341 from *Micrococcus luteus* to *Kocuriarhizophila*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 53(4), 995–997. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.02372-0>
- Velazquez-Becerra, C., Macias-Rodríguez, L. I., Lopez-Bucio, J., Flores-Cortez, I., Santoyo, G., Hernandez-Soberano, C., & Valencia-Cantero, E. (2013). The rhizobacterium *Arthrobacter agilis* produces dimethylhexadecylamine, a compound that inhibits growth of phytopathogenic fungi in vitro. *Protoplasma*, 1, 100–112. <https://doi.org/10.1007/s00709-013-0506-y>
- Wojciech, L., Choinska A., Rodziewicz, A., & Piegza, M. (2015). Keratinolytic abilities of *Micrococcus luteus* from poultry waste. *Brazilian Journal of Microbiology*, 46(3), 691–700. <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-838246320140098>
- Wojciech, L., Zarowska, B., Chorązyk, D., Pudlo, A., Piegza, M., Kancelista, A., & Kopec, W. (2018). New keratinolytic bacteria in valorization of chicken feather waste. *AMB Expr.*, 8, Article 9. <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0538-y>
- Yan, F., Lei, W., Ajab, K., Rui, Z., Siang, W., & Xiaoyuan, J. (2020). Fermented wheat bran by xylanase-producing *Bacillus cereus* boosts the intestinal microflora of broiler chickens. *Poultry Science*, 99(1), 263–271. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pez482>

УДК 577.151.45:57.037+664.868

Всероссийский
научно-исследовательский институт
технологии консервирования –
филиал ФГБНУ «Всероссийский
научный центр пищевых систем
им. В.М. Горбатова» РАН

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

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:

Петров, А. Н., & Кондратенко, Т. Ю.
(2022). О введении принципа насыщающей
дополнительности ферментативного
процесса в методологию глубокой
переработки растительного сырья. *Хра-
нение и переработка сельхозсырья*, (3).
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.365>

ПОСТУПИЛА: 05.08.2022

ПРИНЯТА: 07.09.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.



О введении принципа насыщающей дополнительной ферментативного процесса в методологию глубокой переработки растительного сырья

А. Н. Петров, Т. Ю. Кондратенко

АННОТАЦИЯ

Введение. Биотехнологический подход к глубокой переработке растительного сырья с использованием ферментов позволяет эффективно использовать нативный биологический и/или технологический потенциал. Целевые компоненты сырья являются фрагментами молекулярных компонентов матрикса клеточных стенок с трудно устанавливаемой концентрацией целевых гликозидных связей, которая необходима для определения кинетических характеристик ферментных препаратов.

Цель. Разработка научной концепции, позволяющей на основе экспериментальных данных ферментативной динамики определять эффективную предельную концентрацию субстрата для установления рациональных параметров ферментативной обработки

Материалы и методы. Объектом исследования был негранулированный сухой немеласированный свекловичный жом, а также отечественные ферменты лиазного и гидролазного действия в концентрациях 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4 и 0,8 % от количества субстрата. В работе использован подход, основанный на математическом описании зависимости отклика системы «субстрат – фермент» от продолжительности процесса с определением асимптотического предела для каждого варианта концентрации фермента и дальнейшем анализе влияния концентрации фермента на величину данного предела.

Результаты. Обоснована адекватность применения косвенных показателей, таких как удельная электрическая проводимость, при оценке кинетических показателей ферментов лиазного и гидролазного действия. Получен массив экспериментальных данных динамик удельной электрической проводимости от продолжительности обработки ферментными препаратами в интервале концентраций. В результате аппроксимации рассчитаны локальные пределы концентрации субстрата, выраженные в косвенных единицах. Экспериментально установлено, что в случае ферментов лиазного и гидролазного действия, рассчитанные локальные пределы концентрации субстрата монотонно увеличиваются при увеличении концентрации фермента, вырождаясь в горизонтальную асимптоту, соответствующую глобальному пределу концентрации субстрата, что подтверждает принцип насыщающей дополнительной и следствия из него. Экспериментально установлена применимость малых концентраций ферментов и нескольких последовательных этапов для ферментативной трансформации субстрата в продукт.

Выводы. В результате проведенных исследований разработан принцип насыщающей дополнительной ферментативного процесса, позволяющий на основе экспериментальных данных динамик трансформации субстрата заданными концентрациями фермента определить эффективную концентрацию целевого субстрата в условиях отсутствия определённости её значения, либо невозможности прямого определения. Принцип насыщающей дополнительной применим в отношении лиазных и гидролазных ферментов, является составляющей методологии глубокой переработки растительного сырья.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ферментативный гидролиз, концентрация субстрата, принцип насыщающей дополнительной, концентрация фермента, концентрация продукта

Introduction the Principle of Saturation Additionality for Enzymatic Process into the Methodology of Plants Raw Materials Complete Processing

Andrey N. Petrov, Tatyana Yu. Kondratenko

Russian Research Institute of Canning Technology – branch of Gorbатов Research Center for Food Systems, Academician of Russian Academy of Science

CORRESPONDENCE:

78 Scholnaya Str., Vidnoye, Moscow region, 142703, Russia,
e-mail: nauka@vniitek.ru

FOR CITATIONS:

Petrov, A. N., & Kondratenko, T. Yu. (2022). Introduction the principle of saturation additionality for Enzymatic process into the methodology of plants raw materials complete processing. *Storage and Processing of Farm Products*, (3). <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.365>

RECEIVED: 07.09.2022

ACCEPTED: 07.09.2022

PUBLISHED: 30.09.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background. Biotechnological approach to complete processing of plant raw materials using enzyme preparations allows the efficient use of its native biological and/or technological potential. The point components are fragments of molecular components of the cell wall matrix with a target glycoside bonds' hard-to-find concentration which is necessary to determine the enzyme kinetic characteristics.

Purpose. Development the scientific concept allowing to determine the effective substrate concentration limit for establishment of enzymatic treatment rational parameters on the basis of experimental data of enzymatic dynamics

Materials and Methods. Non-granulated dry non-molassed sugar beet pulp as well as lyase and hydrolase enzymes in concentrations as 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4 и 0,8 % were used as research objects. The approach used in this paper is based on the mathematical description of the substrate-enzyme system response as a function of the process duration, with determination the asymptotic limit for each variant of enzyme concentration, and further analysis of enzyme concentration effect on this limit.

Results. The adequacy of using an indirect indicators, such as specific electrical conductivity, for assessing the kinetic parameters of lyase and hydrolase enzymes is substantiated. An array of experimental data was obtained for dynamics of specific electrical conductivity during processing beet pulp with enzyme preparations in the range of concentration. As a result of the approximation, the local limits of the substrate concentration were calculated in indirect units. For dynamic of the "substrate - enzyme" system, a set of postulates was proposed. On the basis of this set, the principle of saturating complementarity for enzymatic process is formed. In according with it the local substrate concentration limit achieved at a given enzyme concentration is a fractional part of some global one, which can be completely converted into a product through several stages where the local limit of the duration of each stage tends to infinity. It has been experimentally established that, in the case of lyase and hydrolase enzyme, the calculated local substrate concentration limits increase monotonously with an increase of enzyme concentration, degenerating into a horizontal asymptote corresponding to the global substrate concentration limit, which confirms both the principle of saturating complementarity and its consequences. The applicability of low enzyme concentrations and several step-by-step stages for the enzymatic substrate transformation into a product has been experimentally established.

Conclusions. As a result of research, the principle of saturating complementarity for enzymatic process was developed. Based on experimental data on the enzymatic transformation dynamics for processed object, it allows an unambiguous determination of the effective substrate concentration in the absence of certainty about its quantity value, or the impossibility of direct determination. The resulting value can be used to establish the kinetic characteristics of enzymatic process. The principle of saturating complementarity is applicable for lyase and hydrolase homoenzymes. It is a one of the necessary components of the deep processing methodology for plant raw materials.

KEYWORDS

enzymatic hydrolysis, substrate concentration, principle of saturation additionality, enzyme concentration, product concentration

ВВЕДЕНИЕ

Растительное сырьё и вторичные продукты его переработки представляют собой сложную матрицу биохимических компонентов, находящихся как в относительно свободном состоянии (органические кислоты, их соли, низкомолекулярные биохимические компоненты, некоторые липиды и др.), так и в нативно связанном (компоненты органелл, цитоплазматического ретикулума, мембраны, клеточных стенок и межклетников). Каждый из компонентов, будучи выделенным в качестве самостоятельного продукта, имеет свою биологическую и/или технологическую ценности, а целесообразность практического воплощения процесса извлечения находится в тесной связи с экономической эффективностью, которая, в целом, строится на востребованности компонента, его себестоимости сырья и себестоимости извлечения, очистки и стабилизации целевых свойств компонента. Соответственно, максимальной степенью реализации нативного потенциала растительного сырья и вторичных продуктов его переработки является максимальная технологическая сепарация его на биологически- и/или технологически значимые нативные компоненты. По сути своей такой подход является глубокой переработкой, при которой степень глубины доведена до логического максимума. Однако в настоящее время практическая реализация максимальной глубокой переработки весьма ограничена в силу существующих особенностей технологий извлечения целевых компонентов: при извлечении одного компонента неизбежно происходит сопутствующая деградация в той или иной степени других.

Одним из путей решения данной проблемы является активное переориентирование технологических процессов в сторону биотехнологии, при котором основным технологическим процессом является использование «молекулярных ножниц» — ферментных систем (Болтовский, 2021). Их специфичность к тем или иным молекулярным связям, а также спектр целевых активностей, присущий применяемому ферментному препарату, либо их комплексу, позволяет выделять из сырья либо один или несколько компонентов с максимальным сохранением некоторой совокупности нативных свойств (Hennessey-Ramos et al., 2021; Hassan et al., 2021), модифицировать в процессе выделения целевые компоненты и, соответственно их свойства (Marjamaa et al., 2018), либо кардинальным обра-

зом трансформировать нативный компонентный потенциал в целевые продукты, в него не входящие (Barron et al., 2021; Vitol et al., 2019). Соответственно, совершенствование биотехнологических подходов и ферментных систем, в них использующихся, является путём, имеющим большие перспективы в отношении практического воплощения максимальной реализации нативного потенциала сырья посредством глубокой переработки.

В основе разработки технологических процессов с участием ферментных систем лежит анализ кинетики ферментативных процессов (Punekar, 2018). Классическим представлением о реализации процесса ферментации является рассмотрение системы «субстрат — фермент», в которой происходит катализируемая ферментом двухступенчатая трансформация субстрата в продукт. При этом на первом этапе вследствие взаимодействия фермента с субстратом образуется фермент-субстратный комплекс, а на втором — последний распадается на фермент и продукт. Первый этап, соответственно, в некоторой степени, обратим, тогда как второй — нет (Srinivasan, 2021). Оба этапа протекают непрерывно, вследствие чего динамика процесса (в случае его периодической реализации) характеризуется монотонным уменьшением концентрации субстрата с параллельным монотонным увеличением концентрации продукта (Рисунок 1).

Кинетика процесса хорошо описывается известным уравнением Михаэлиса-Ментен (Choi et al., 2017; Andersen et al., 2018; Saganuwan, 2021; Benz et al., 2014), в котором роль независимой переменной играет концентрация субстрата, а эффективность комплекса «ферментирующая способность

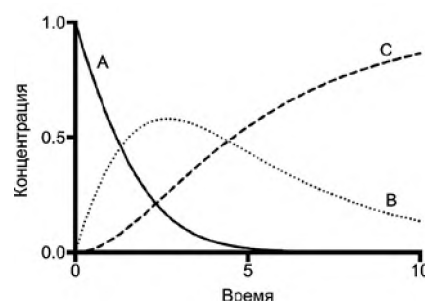


Рисунок 1

Динамики концентрации субстрата (A), фермент-субстратного комплекса (B) и продукта (C) в процессе ферментативной обработки. Адаптировано из "Parameter reliability and understanding enzyme function", by A. G. McDonald and K. F. Tipton, 2022, *Molecules*, 27(1), Article 263 (<https://doi.org/10.3390/molecules27010263>). Copyright 2022 by Molecules

препарата — сырьё — условия процесса» определяется на основании оценки коэффициентов (Srinivasan, 2021).

При этом появляются две проблемы. Одна связана с потенциальной нестационарностью системы вследствие непостоянства концентрации субстрата в процессе ферментативной обработки. Вторая — с некоторой неоднозначностью, возникающей при анализе того, что именно рассматривать в качестве субстрата и, следовательно, как определить концентрацию субстрата для расчёта кинетических характеристик фермента. Если первая проблема уже исследована, например в (Schnell, 2014), то вторая — на первый взгляд проблемой не является: практически для каждого промышленно применяемого ферментного препарата известен целевой компонент, на который действие данного фермента эффективно. Однако если рассматривать группу ферментных препаратов лиазного и гидролазного действия в отношении их использования для направленной фрагментации полимерных компонентов углеводной природы, то несложно видеть, что сам целевой объект обработки — растительное сырьё и вторичные продукты его переработки — представляет собой сложный комплекс надмолекулярных полимерных структур, образующих матрикс клеточных стенок и межклетников, связанных друг с другом сложной системой ковалентных, ионных и водородных связей (Zhang et al., 2021; Houston et al., 2016; Yilmaz et al., 2020; Rytioja et al., 2014; Zhao et al., 2019;

Holland et al., 2020; Carpita & Mccann, 2020). Так матрикс первичных клеточных стенок практически всех высших растений включает в себя целлюлозу, гемицеллюлозы, пектиновые вещества в виде надмолекулярного протопектинового комплекса (Рисунок 2). В то же время, за исключением фибрилл целлюлозы, остальные полимерные компоненты являются довольно гетерогенными в отношении компонентного состава.

Так, например, пектиновые вещества, несмотря на то, что основным их компонентом являются остатки α -(D+)-галактуроновой кислоты, могут включать в свой состав остатки до 17 различных углеводов и их производных (Sista Kameshwar & Qin, 2018; Phyo & Hong, 2019; Haas et al., 2021; Shin et al., 2021; He et al., 2021; Szerement et al., 2022). Кроме того, структурно молекулы пектиновых веществ могут быть условно зонированы на гомогалактуронановые участки, а также — на рамногалактуронаны I и II. Таким образом, для фрагментации пектиновых молекул в зависимости от конечной цели процесса может быть использован достаточно большой пул ферментных препаратов (Рисунок 3).

Для менее глубокой трансформации (например, для выделения только рамногалактуронана I) целесообразно использовать не весь возможный пул ферментных препаратов, а только те, что необходимы для достижения конечной цели. При этом в каждом отдельном случае субстратом выступает

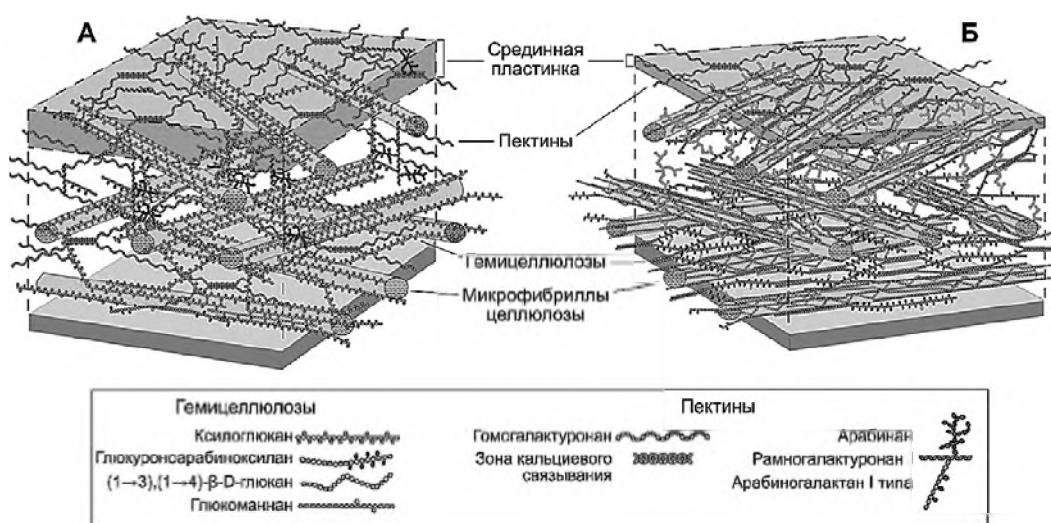


Рисунок 2

Структура первичных клеточных стенок двудольных, некоторых однодольных (А) и травянистых однодольных (Б) растений. Адаптировано из "Redesigning plant cell walls for the biomass-based bioeconomy" by N. C. Carpita & M. C. Mccann, 2020, *Journal of Biological Chemistry*, 295(44), 15144–15157. <https://doi.org/10.1074/jbc.REV120.014561>. Copyright 2020 by Journal of Biological Chemistry

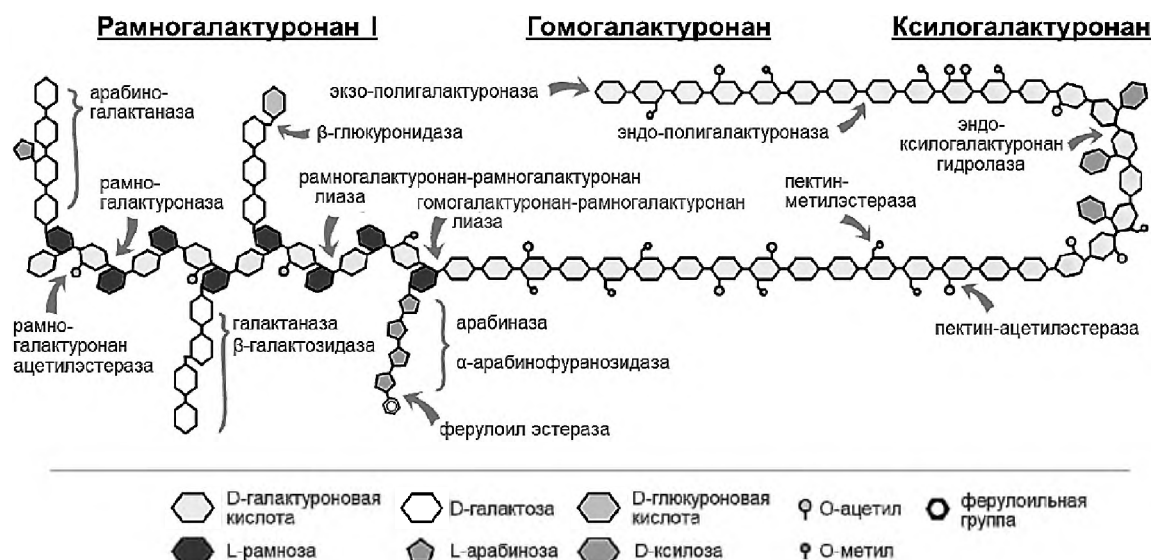


Рисунок 3

Ферменты фрагментации и модификации протопектинового комплекса растительной ткани (адаптировано из (Benz et al., 2014))

уже не вся молекула пектина, а лишь некоторые — целевые — гликозидные связи. В этом случае задача определения в обрабатываемом сырье молярной концентрации именно этих связей, что в условиях неопределённости представлений о точном химическом строении протопектинового комплекса именно данного сырья, как в части распределения остатков, так и в части распределения и молекулярных характеристик целевых участков, становится практически неразрешимой. А это, в свою очередь, делает актуальным необходимость решения задачи определения эффективной концентрации субстрата, целевого по отношению к применяемому ферменту.

Цель работы — разработать подход к определению эффективной концентрации целевого субстрата, на базе принципа насыщающей дополнителности процесса ферментации сложного матрикса препаратами лиазного и гидролазного действия с использованием косвенных показателей.

Задачи исследований: (1) определить применимость использования косвенных показателей при оценке кинетических показателей ферментных препаратов, (2) разработать комплекс постулатов динамики системы «субстрат — ферментный препарат», (3) определить практическую применимость принципа насыщающей дополнителности процесса ферментации на примере обработки матрикса клеточных стенок растительной ткани препаратами лиазного и гидролазного действия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Пектиносодержащее сырьё — негранулированный сухой немелассированный свеколовичный жом производства АО «Успенский сахарник» (с. Успенское, Краснодарский край). Ферменты лиазного и гидролазного действия — гомоферментные препараты «Пектиназа RCA RGL» (RGL) и «Целлюлаза без пектиназы» (CLS), соответственно (Лаборатория физико-химии ферментативной трансформации полимеров кафедры химической энзимологии химического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Россия). Информация по целевым активностям гомоферментных препаратов представлена в Таблице 1.

Таблица 1

Характеристики гомоферментных препаратов RGL и CLS

Препарат	Активность, ед./г			
	пектин-лиаза	ксила-наза	КМЦ-аза	β-глюка-наза
Пектиназа RCA RGL (RGL)	190	—	—	—
Целлюлаза без пектиназы (CLS)	—	30 644	21 054	30 371

Методы и инструменты

В работе использован подход, основанный на математическом описании зависимости отклика системы «субстрат — фермент» от продолжительности процесса с определением асимптотического предела для каждого варианта концентрации фермента и дальнейшем анализе влияния концентрации фермента на величину данного предела.

Процедура исследования

Для проведения ферментативного процесса в коническую колбу объёмом 100 см³ вносили навеску сухого немелассированного негранулированного свеколичного жома массой 6 г, прибавляли 50 см³ бидистиллированной воды комнатной температуры, перемешивали и оставляли на 15 часов. Навеску фермента (0,05; 0,1; 0,2; 0,4 и 0,8 % от массы жома для *RGL* и 0,1; 0,2; 0,4 и 0,8 % — для *CLS*) помещали в стеклянный стакан на 50 см³, прибавляли 20 см³ бидистиллированной воды с температурой 45 °С и тщательно перемешивали до полного растворения. Раствор гомоферментного препарата количественно переносили в колбу с жомом, используя для этого дополнительные 26 см³ бидистиллированной воды с температурой 45 °С. Смесь тщательно перемешивали, колбу со смесью переносили на водяную баню. В смесь помещали и фиксировали на одинаковом расстоянии от дна погружную ячейку кондуктометра WTW inoLab 7310 с чёрными платиновыми электродами. Ферментативный процесс проводили при температуре теплоносителя 45 °С течение 8 часов. Удельную электрическую проводимость снимали в автоматическом режиме с дискретностью 1 с помощью оригинального программного обеспечения WTW MultiLab Importer 1.24.

Анализ данных

Математическую обработку проводили с использованием табличного процессора Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation) с установленными надстройками «Анализ данных», «Поиск решения» и «Подбор параметра», а также специализированного программного обеспечения TableCurve 2D v.5.01 (SYSTAT Software Inc.).

Для уменьшения статистической погрешности, каждый эксперимент проводили в трёхкратной повторности с отбраковкой статистически ненадёжных экспериментальных данных в повторностях по существующим методикам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В основе любого ферментативного процесса лежит фундаментальный принцип ферментативной кинетики, основанный на механизмах взаимодействия фермента с субстратом, стехиометрических соотношениях эквивалентных (молярных) концентраций компонентов системы «субстрат — фермент — продукт — ингибитор» и их промежуточных комплексов, законе действующих масс и законе сохранения фермента. Основная закономерность ферментативной кинетики представлена уравнением Михаэлиса-Ментен, связывающая темп ферментативного процесса и концентрацию субстрата:

$$V = \frac{V_{\max} \cdot S}{K_m + S}, \quad (1)$$

где V — темп ферментативного процесса, моль/см³ · с; S — молярная концентрация субстрата, моль/см³; $V_{\max}$ — максимальный (асимптотический) темп ферментативного процесса, моль/см³ · с; K_m — константа Михаэлиса, моль/см³.

Физический смысл константы Михаэлиса заключается в том, что она численно равна концентрации субстрата, при которой темп ферментативного процесса равен половине $V_{\max}$.

Соответственно, ферментативный процесс происходит тем эффективнее с точки зрения максимизации использования потенциала фермента, чем большее значение имеет $V_{\max}$ и чем меньшее значение — K_m . Последнее утверждение справедливо в силу того, что чем меньше K_m , тем при меньшей концентрации субстрата темп ферментативного процесса находится ещё на уровне, превышающем половину от максимально возможного.

Проблема использования основного уравнения ферментативной кинетики для анализа состояния и дальнейшей оптимизации реального ферментативного процесса состоит в том, что сам процесс

сопровождается непрерывным изменением концентрации субстрата с таким же непрерывным накоплением продукта. При этом, если в качестве субстрата выступает матрица растительной ткани, то в процессе ферментативного разрушения (фрагментирования) одного или нескольких компонентов матрицы, с продуктом в систему потенциально могут переходить в окружающую матрицу среду и сопутствующие нецелевые компоненты, которые (так же потенциально) могут в некоторой степени изменять условия протекания ферментативного процесса, в силу чего элементы основного уравнения ферментативной кинетики, константные для стационарных — «чистых» — условий, в свою очередь, могут переставать быть таковыми. Таким образом, вся система непрерывно изменяется во времени. В этом случае существующие базовые подходы к определению констант ферментативной кинетики не позволяют достигать поставленной цели.

Дополнительной проблемой является выраженная дискретность контроля концентрации как субстрата, так и продукта, поскольку (в случае сложного целевого компонента матрицы, — например, гомогалактуронановых участков протопектинового комплекса растительной ткани) каждое такое определение ресурсо- и времезатратно, и последнее — особенно критично.

В этих условиях одним из эффективных вариантов может являться использование методов, позволяющих получать численные значения косвенного показателя, фундаментально эквивалентные S , когда справедливо следующее:

$$Z \propto S \Leftrightarrow Z = k \cdot S, \quad (2)$$

где Z — косвенный показатель; k — коэффициент, связывающий косвенный и целевой показатели.

В этом случае, логично принимая, что ($K_{m(z)} = k \cdot K_m$), справедливо:

$$\frac{V_{\max} \cdot k \cdot S}{k \cdot K_m + k \cdot S} = \frac{V_{\max} \cdot S}{K_m + S} = V. \quad (3)$$

Пусть $V_{\max(z)} = k \cdot V_{\max}$ и $V_{(z)} = k \cdot V$, тогда из условия (2) и равенства (3) явно следует, что

$$\frac{V_{\max(z)} \cdot Z}{K_{m(z)} + Z} = V_{(z)}. \quad (4)$$

Таким образом, формула (4) представляет собой полный эквивалент формулы (1), но оперирующий косвенными показателями.

Действительно, если изменение косвенного показателя Z_p эквивалентно накоплению в растворе продукта ферментативного процесса, следовательно, при начальной концентрации субстрата w_0 , эквивалентной значению Z_0 и связанной с ним, в соответствии с условием (2), соотношением $Z_0 = k \cdot w_0$, концентрация субстрата может быть представлена следующим образом:

$$S = w_0 - P \Rightarrow w_0 - S = P \Leftrightarrow k \cdot w_0 - k \cdot S = k \cdot P \Leftrightarrow Z_0 - Z = Z_p, \quad (5)$$

где P — молярная концентрация продукта, моль/см³.

Откуда явно следует, что $Z = Z_0 - Z_p$. Тогда темп ферментативного процесса в силу константности w_0 и динамики P по времени может быть представлен как

$$V = \frac{\partial}{\partial \tau}(w_0 - P) \Rightarrow V = \frac{\partial P}{\partial \tau}, \quad (6)$$

В этом случае, в соответствии с выражением (6), следствием перехода от действительных к косвенным показателям является

$$V_{(z)} = \frac{\partial Z_p}{\partial \tau} = k \cdot \frac{\partial P}{\partial \tau} = k \cdot V, \quad (7)$$

что подтверждает эквивалентность уравнений (4) и (1), и соответствие каждого из их показателей в парах друг другу через единый коэффициент k .

Таким образом, использование косвенных показателей для определения параметров ферментативной кинетики вполне оправдано, что в достаточной мере согласуется с (Wu et al., 2006; Jepsen et al., 2019; Hewitt et al., 2019) и др., при том, что авторы данных работ принимают эквивалентность косвенного и непосредственного показателей априорно.

В отношении ферментов семейств лиаз и гидролаз в качестве одного из таких косвенных показателей может быть принята удельная электрическая проводимость (УЭП): при гидролитическом ферментативном расщеплении, например, гликозидных связей, одному молю продукта соответствует фиксированное число молей образовавшихся свободных функциональных групп, приобретающих

в процессе сольватации фиксированный частичный заряд, вследствие чего проводимость раствора пропорционально увеличивается.

Динамика увеличения УЭП в зависимости от исходной концентрации ферментов на примере обработки гомоферментными препаратами рамногалакту-

ронанлиазного (RGL) и целлюлазного (CLS) действия предварительно подготовленных образцов свежеско-
ванного жома представлена на Рисунках 4 и 5.

Для действия обоих ферментных препаратов характерно как увеличение отклика — УЭП — при увеличении их концентрации, так и наличие динамики

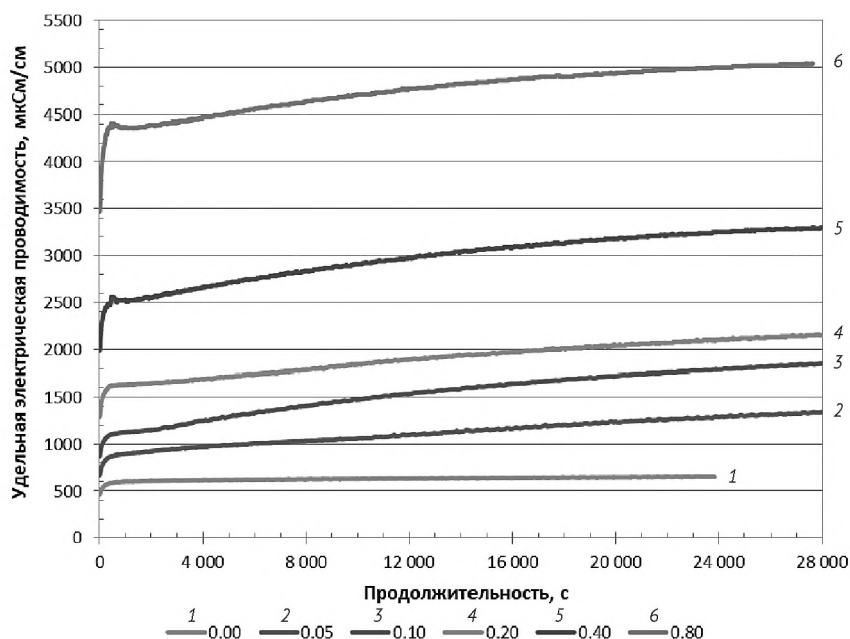


Рисунок 4

Влияние концентрации препарата RGL на динамику удельной электрической проводимости в системе «субстрат — фермент» в процессе ферментирования

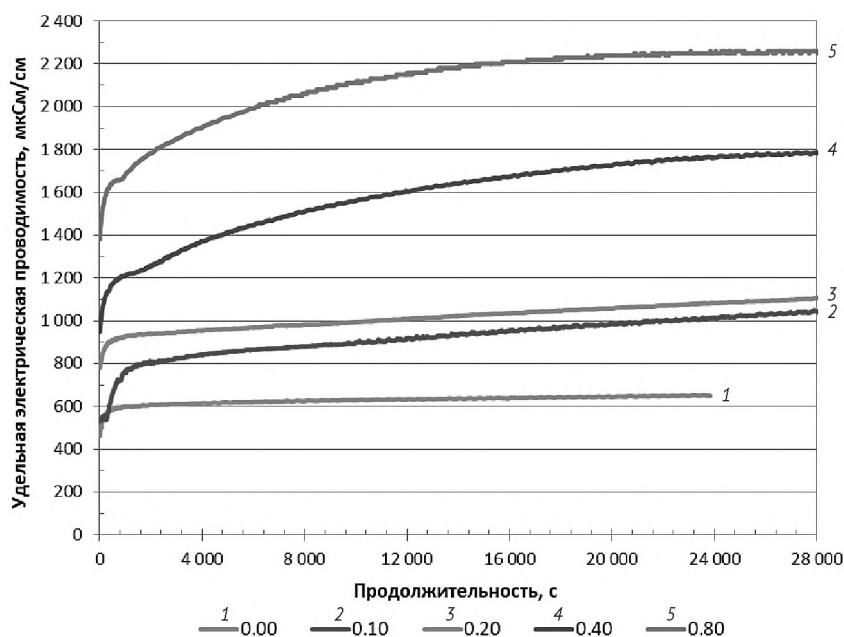


Рисунок 5

Влияние концентрации препарата CLS на динамику удельной электрической проводимости в системе «субстрат — фермент» в процессе ферментирования

прироста целевого показателя с течением времени. В качестве сравнения использовали динамику УЭП без внесения ферментных препаратов. В последнем случае динамику отклика определяли диффузионные процессы, связанные с переходом нативно растворимых компонентов свекловичного жома в окружающий раствор до достижения динамического равновесия. Более выраженная динамика прироста УЭП, соответственно, может быть интерпретирована как результат накопления в растворе продуктов ферментативного процесса. При этом в случае с препаратом RGL данный процесс визуально более выражен, чем в случае для CLS, что вероятно, связано с более высокой активностью RGL.

Для каждого варианта, включая соответствующий концентрации фермента 0%, аппроксимацией экспериментальных данных были определены математические описания вида $Z_{p(i,j)} = f_{Z_{p(i,j)}}(\tau)$, где i — гомоферментный препарат, а j — концентрация гомоферментного препарата, %. Результаты обработки данных представлены в Таблице 2.

Следует отметить, что все математические описания имеют асимптотический характер, что в целом хорошо согласуется с существующими представлениями о динамике ферментативного процесса (Boeckx et al., 2017; Wang et al., 2020; Ritonja et al., 2021).

Для формирования логики дальнейших этапов исследования, в силу априорной конечности концентрации субстрата в системе «субстрат — ферментный препарат», примем следующие постулаты её динамики:

- (1) в течение всего ферментативного процесса концентрация субстрата непрерывно убывает, а концентрация продукта также непрерывно возрастает;
- (2) ферментативный процесс идёт монотонно до тех пор, пока концентрация субстрата в системе не будет стремиться к нулю;
- (3) максимально возможная эквивалентная концентрация продукта в глобальный момент времени $\tau \rightarrow \infty$ численно равна максимальной

Таблица 2

Характеристики математических описаний

<i>i</i>	<i>j</i>	Математическое описание	Коэффициенты					r^2
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	
RGL, CLS	0.00	$a + b \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + b \cdot c \cdot \tau}\right) + d \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + d \cdot e \cdot \tau}\right)$	441.67	164.58	7.59×10^{-5}	110.10	2.58×10^{-7}	0.996
RGL	0.05	$a + b \cdot [1 - \exp(-c \cdot \tau)] + d \cdot [1 - \exp(-e \cdot \tau)]$	692.42	184.64	5.37×10^{-3}	1208.5	1.72×10^{-5}	0.998
RGL	0.10	$a + b \cdot [1 - \exp(-c \cdot \tau)] + d \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + d \cdot e \cdot \tau}\right)$	1035.3	348.73	6.66×10^{-5}	1051.9	3.30×10^{-8}	0.998
RGL	0.20	$a + \frac{b \cdot \tau}{c + \tau}$	1556.7	1473.7	40872.6	–	–	0.993
RGL	0.40	$a + \frac{b}{1 + \left(\frac{\tau}{c}\right)^d}$	2480.9	1235.2	16312.9	-1.271	–	0.992
RGL	0.80	$a + b \cdot [1 - \exp(-c \cdot \tau)] + d \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + d \cdot e \cdot \tau}\right)$	3386.0	818.26	1.33×10^{-2}	1363.8	4.26×10^{-8}	0.988
CLS	0.10	$a + b \cdot [1 - \exp(-c \cdot \tau)] + d \cdot [1 - \exp(-e \cdot \tau)]$	520.59	285.38	1.10×10^{-3}	878.48	1.13×10^{-5}	0.991
CLS	0.20	$a + b \cdot [1 - \exp(-c \cdot \tau)] + d \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + d \cdot e \cdot \tau}\right)$	545.44	628.60	1.19×10^{-5}	380.89	1.29×10^{-3}	0.999
CLS	0.40	$a + b \cdot [1 - \exp(-c \cdot \tau)] + d \cdot [1 - \exp(-e \cdot \tau)]$	1016.8	165.47	2.86×10^{-3}	667.30	8.40×10^{-5}	0.998
CLS	0.80	$a + b \cdot [1 - \exp(-c \cdot \tau)] + d \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + d \cdot e \cdot \tau}\right)$	1378.8	633.88	1.38×10^{-4}	264.50	3.40×10^{-5}	0.999

концентрации субстрата в глобальный начальный момент времени $\tau \rightarrow 0$;

- (4) темп ферментативного процесса непрерывно убывает во времени до достижения нуля при $\tau \rightarrow \infty$;
- (5) каждой i -й концентрации фермента соответствует свой локальный предел концентрации субстрата, которая может быть трансформирована в продукт к наступлению локального момента времени $\tau_i \rightarrow \infty$.

Для обеспечения необходимого непротиворечия постулата 5 постулату 2, в свою очередь обобщающе постулируем принцип насыщающей дополнителности, согласно которому локальный предел концентрации субстрата, достигаемый при данной концентрации фермента, составляет дробную часть некоторого глобального предела концентрации, который может быть полностью переведён в продукт посредством нескольких этапов, локальный предел продолжительности каждого из которых стремится к бесконечности (Рисунок 6).

Соответственно, сформулированный принцип насыщающей дополнителности ферментативного процесса, по сути, включает в себя предложенный комплекс из пяти постулатов, объединяя их в единое целое.

Анализ постулируемого принципа позволяет определить следующие следствия из него:

- (1) для каждой системы «субстрат — фермент» существует некоторый глобальный предел

концентрации субстрата, соответствующий концентрации фермента, стремящейся к бесконечности;

- (2) локальный предел концентрации субстрата, соответствующий некоторой (не максимальной) концентрации фермента, может быть полностью трансформирован в продукт за конечный период времени при использовании данного фермента в большей концентрации;
- (3) если на каждом этапе потенциал используемой концентрации фермента реализовывать не полностью достигая состояния $\tau_i \rightarrow \infty$, а лишь в дробной части, соответствующей некоторой конечной продолжительности каждого этапа, то, в соответствии с принципом насыщающей дополнителности, существует конечное количество этапов, соответствующее полному переводу всего субстрата в продукт за конечное совокупное время;
- (4) любой произвольно взятой концентрации субстрата будет соответствовать некоторая концентрация фермента, для которой данная концентрация субстрата будет предельной при $\tau_i \rightarrow \infty$.

Таким образом, на основании постулируемого принципа насыщающей дополнителности ферментативного процесса и следствий из него можно сделать промежуточный вывод, что локальный предел концентрации субстрата, в том числе и выраженный в косвенных единицах, может быть определён из асимптотического значения динамической функции, описывающей процесс измене-

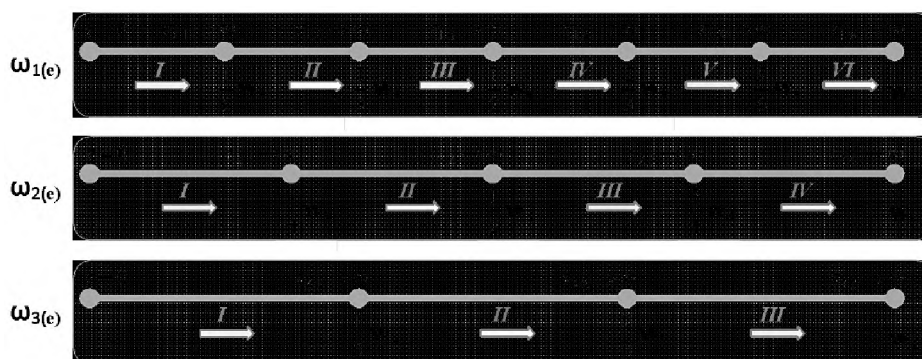


Рисунок 6

Принцип насыщающей дополнителности ферментативного процесса при разной концентрации субстрата

$\omega_{1(e)}, \omega_{2(e)}, \omega_{3(e)}$ — концентрации фермента; I, II, III, IV, V и VI — этапы ферментирования субстрата; τ — начальный момент времени; $\tau_{i,j}$ — продолжительность j -го этапа ферментирования субстрата ферментом i -й концентрации; w_s — глобальный предел концентрации субстрата; $1/6, 1/4, 1/3, 1/2, 2/3, 3/4, 5/6$ — доли w_s , частные пределы концентрации субстрата

Таблица 3

Характеристики функций, аппроксимирующих зависимость частного предела концентрации субстрата от концентрации ферментного препарата

<i>i</i>	Математическое описание	Коэффициенты					r^2
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	
<i>RGL</i>	$a \cdot \left\{ 1 - \exp(b \cdot w) - \frac{c \cdot \left[1 + \frac{b \cdot \exp(-e \cdot w) - e \cdot \exp(-b \cdot w)}{e - b} \right]}{e} \right\}$	81073.6	1.01035	63.6358	6.86678	70.5026	0.997
<i>CLS</i>		13431.9	0.96024	15.8755	3.68415	19.5596	0.994

ния косвенного показателя в процессе ферментирования, при $\tau_i \rightarrow \infty$. В свою очередь, на основании результатов аппроксимации локальных асимптот, представленных в координатах «концентрация — величина косвенного показателя», динамической функцией, можно определить глобальный предел концентрации w_s субстрата как асимптотическое значение функции $Z_{p(as)} = f_{Z_{p(as)}}(w_{(e)})$ при $w_{(e)} \rightarrow \infty$.

В результате применения данного подхода к процессу ферментирования препаратами *RGL* и *CLS*, для каждого из них по каждому из вариантов концентрации препарата были определены локальные асимптотические значения УЭП, на основании которых — рассчитаны частные пределы концентрации субстрата $w_{i,j}$ по формуле

$$w_{i,j} = Z_{p_{i,j}(as)} - Z_{p_{i,0}(as)} \mid j \neq 0, \quad (8)$$

где $Z_{p_{i,j}(as)}$ — асимптотическое значение динамической функции $Z_{p_{i,j}}$ для *i*-го препарата *j*-й кон-

центрации; $Z_{p_{i,0}(as)}$ — асимптотическое значение динамической функции при концентрации препарата 0%.

Совокупность значений частных пределов концентрации в пределах каждого из исследованных препаратов демонстрирует монотонное возрастание с увеличением концентрации фермента (Рисунки 7 и 8). Для *RGL* и *CLS* данные значения хорошо аппроксимируются функцией одного вида, имеющей, в свою очередь, горизонтальную асимптоту (Таблица 3).

Соответственно, для каждого ферментного препарата асимптотические значения данной функции эквивалентны глобальной концентрации субстрата.

Масштабируя шкалу концентрации фермента, несложно видеть, что увеличение данного показателя в системе достаточно быстро приближает значение результирующей функции к интегральному

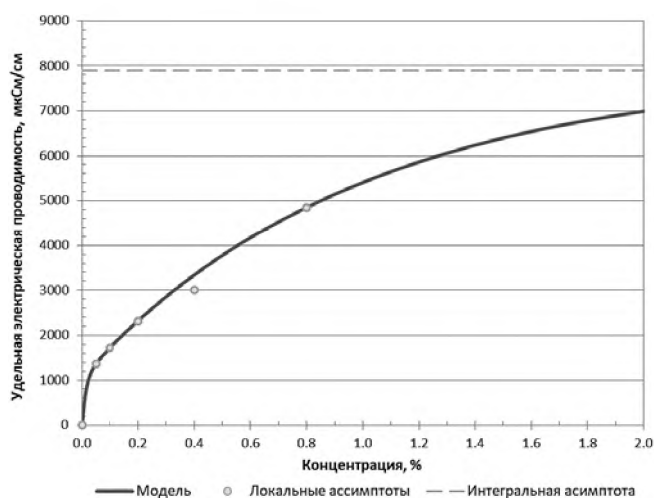


Рисунок 7

Динамика локальных асимптот при ферментировании субстрата препаратом *RGL* в зависимости от его концентрации

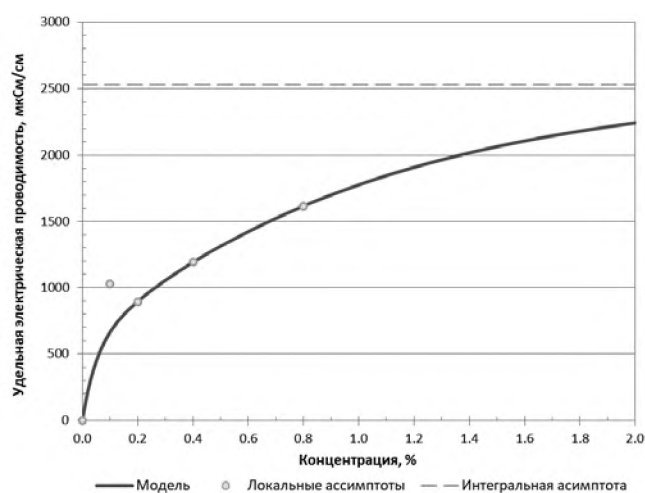


Рисунок 8

Динамика локальных асимптот при ферментировании субстрата препаратом *CLS* в зависимости от его концентрации

пределу концентрации субстрата. Если представить значения результирующей функции в долях от интегрального предела концентрации (Рисунки 9 и 10), можно видеть, что 95 персентилю соответствует концентрация фермента 4,41 % для препарата RGL и 4,53 % для препарата CLS, что наглядно подтверждает следствие 4 из принципа насыщающей дополнительности ферментативного процесса.

При этом 25 персентилю соответствует концентрация RGL 0,14 % и CLS – 0,09 %. То есть уже при малых концентрациях ферментов локальные асимптоты достигают 25% от интегрального предела концентрации субстрата, что косвенно показывает на перспективность оперирования в реальном промышленном ферментативном процессе именно малыми концентрациями ферментов.

В свою очередь, высокий темп приращения локального предела концентрации субстрата от асимптотического значения при увеличении концентрации фермента в области его малых концентраций позволяет, опираясь на следствия 2 и 3 из принципа насыщающей дополнительности ферментативного процесса, в первом приближении прогнозировать достаточность последовательного применения малых концентраций ферментного препарата в несколько этапов для достаточного в практическом смысле количественного перевода субстрата в продукт за технологически значимый конечный интервал времени.

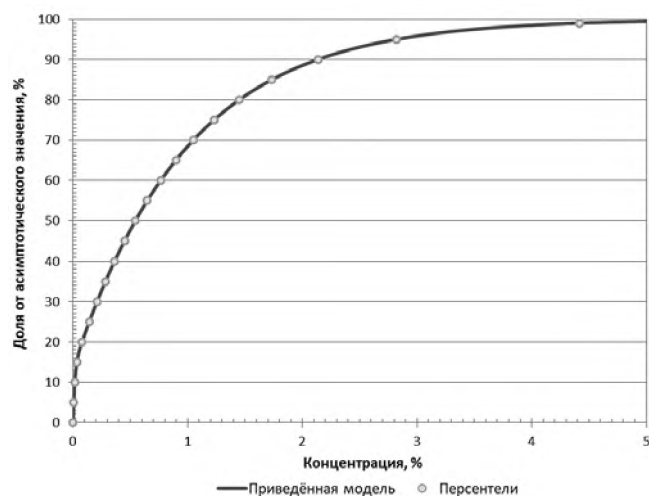


Рисунок 9

Влияние концентрации препарата *RGL* на долю интегрального предела концентрации субстрата

Следует отметить, что в описанный подход разработан впервые. Не смотря на то, что зависимость между концентрацией ферментного препарата и концентрацией субстрата отмечали и другие авторы, например, в (Dourado et al., 2021), данный эффект рассматривался ими как побочный и дальнейшего развития не находил.

Однако основное преимущество практического применения принципа насыщающей дополнительности при анализе динамики ферментативного процесса заключается в возможности однозначного определения эффективной предельной концентрации целевого субстрата в условиях отсутствия определённости относительно её численного значения, либо невозможности прямого определения, особенно когда сам субстрат является составным компонентом нативного сложного матрикса обрабатываемого сырья и/или сложной нативной молекулярной структуры компонента матрикса (как, например, гомолактуронановая составляющая протопектинового комплекса).

В этом случае эффективная концентрация целевого субстрата эквивалентна интегральному пределу таковой. Её значение может быть использовано для установления кинетических характеристик ферментативного процесса, таких как V_{max} и K_m , выраженных, в том числе, и в косвенных единицах.

Предложенный принцип справедлив в отношении ферментных препаратов, как минимум лиазного

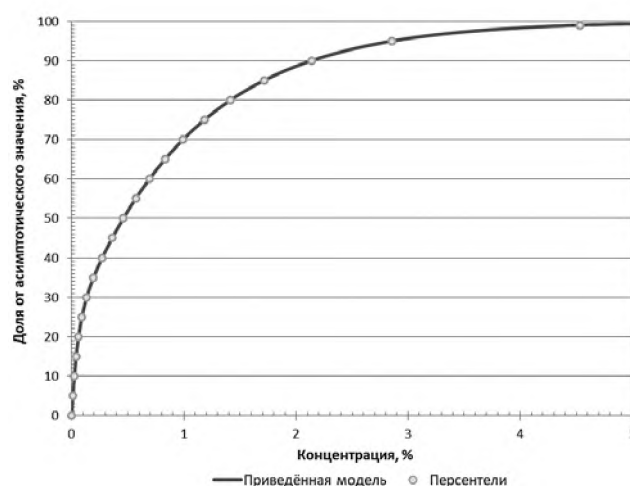


Рисунок 10

Влияние концентрации препарата *CLS* на долю интегрального предела концентрации субстрата

и гидролазного действия и является составляющей дерева принятия решений для разработки технологий промышленного производства растительных полигликанов с гарантированными физико-химическими характеристиками, начало формирования которого положено в наших предыдущих исследованиях (Kondratenko et al., 2020; Kondratenko et al., 2021).

ВЫВОДЫ

В результате проведённых исследований обосновано применение косвенных единиц измерения для описания кинетики ферментативных процессов. Разработан принцип насыщающей дополнительности ферментативного процесса, позволяющий на основе экспериментальных данных по динамике ферментативной трансформации обрабатываемого объекта препаратами в заданных концентрациях однозначно определить эффективную концентрацию целевого субстрата в косвенных единицах в условиях отсутствия определённости относительно её истинного численного значения, либо невозможности прямого определения. Результирующее значение может быть использовано для установления кинетических характеристик ферментативного процесса, таких как V_{max} и K_m .

Принцип насыщающей дополнительности применим в отношении гомоферментных препаратов лиазного и гидролазного действия, и является составляющей частью дерева принятия решений для

разработки технологий промышленного производства растительных полигликанов и неотъемлемой частью методологии глубокой переработки растительного сырья

Предположительно, применимость данного принципа можно экстраполировать и на другие группы ферментов. Однако это нуждается в экспериментальном подтверждении. Основы, заложенные в физический смысл принципа насыщающей дополнительности, определяют основные направления связанных с ним дальнейших исследований. В качестве таковых следует отметить разработку методологических подходов к определению целесообразности и оптимальных условий предварительной обработки сырья для интенсификации процессов его ферментативной трансформации, определению оптимальной концентрации ферментных препаратов, определению рационального количества этапов последовательной ферментативной обработки.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Петров А. Н.: руководство исследованием; концептуализация; методология; создание рукописи и ее редактирование.

Кондратенко Т. Ю.: проведение исследования; верификация данных; формальный анализ; визуализация; создание черновика рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

- Болтовский, В. С. (2021). Ферментативный гидролиз растительного сырья: Состояние и перспективы. *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук*, 57(4), 502–512. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-4-502-512>
- Andersen, M., Kari, J., Borch, K., & Westh, P. (2018). Michaelis-Menten equation for degradation of insoluble substrate. *Mathematical Biosciences*, 296, 93–97. <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2017.11.011>
- Barron, C., Devaux, M. F., Foucat, L., Falourd, X., Looten, R., Joseph-Aime, M., Durand, S., Bonnin, E., Lapierre, C., Saulnier, L., Rouau X., & Guillon F. (2021). Enzymatic degradation of maize shoots: monitoring of chemical and physical changes reveals different saccharification behaviors. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 14, Article 1. <https://doi.org/10.1186/s13068-020-01854-1>
- Benz, J. P., Chau, B. H., Zheng, D., Bauer, S., Glass, N. L., & Somerville, Ch. R. (2014). A comparative systems analysis of polysaccharide-elicited responses in *Neurospora crassa* reveals carbon source-specific cellular adaptations. *Molecular Microbiology*, 91(2), 275–299. <https://doi.org/10.1111/mmi.12459>
- Boeckx, J., Hertog, M., Geeraerd, A., & Nicolai B. (2017). Kinetic modelling: An integrated approach to analyze enzyme activity assays. *Plant Methods*, 13, Article 69. <https://doi.org/10.1186/s13007-017-0218-y>
- 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>
- Choi, B., Rempala, G. A., & Kim, J. K. (2017). Beyond the michaelis-menten equation: Accurate and efficient estimation of enzyme kinetic parameters. *Scientific Reports*, 7(1), Article 17018. <https://doi.org/10.1038%2Fs41598-017-17072-z>
- Dourado, H., Mori, M., Hwa, T., & Lercher, M. J. (2021). On the optimality of the enzyme-substrate relationship in bacteria. *PLoS Biology*, 19(10), Article e3001416. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001416>
- Haas, K. T., Wightman, R., Peaucelle, A., & Höfte, H. (2021). The role of pectin phase separation in plant cell wall assembly and growth. *The Cell Surface*, 7, Article 100054. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2021.100054>
- Hassan, M. L., Berglund, L., Abou Elseoud, W. S., Hassan, E. A., & Oksman, K. (2021). Effect of pectin extraction method on properties of cellulose nanofibers isolated from sugar beet pulp. *Cellulose*, 28, 10905–10920. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04223-9>
- He, Q., Yang, J., Zabolina, O. A., & Yu, C. (2021). Surface-enhanced Raman spectroscopic chemical imaging reveals distribution of pectin and its co-localization with xyloglucan inside onion epidermal cell wall. *PLoS ONE*, 16(5), Article e0250650. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250650>
- 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(5), Article 1473. <https://doi.org/10.3390%2Fmolecules26051473>
- Hewitt, S. H., Ali, R., Mailhot, R., Antonen, C. R., Dodson, C. A., & Butler, S. J. (2019). A simple, robust, universal assay for real-time enzyme monitoring by signal-ling changes in nucleoside phosphate anion concentration using a europium(iii)-based anion receptor. *Chemical Science*, 10(20), 5373–5381. <https://doi.org/10.1039/c9sc01552c>
- Holland, C., Ryden, P., Edwards, C. H., & Grundy, M. M.-L. (2020). Plant cell walls: Impact on nutrient bioaccessibility and digestibility. *Foods*, 9(2), 201. <https://doi.org/10.3390/foods9020201>
- Houston, K., Tucker, M. R., Chowdhury, J., Shirley, N., & Little, A. (2016). The plant cell wall: A complex and dynamic structure as revealed by the responses of genes under stress conditions. *Frontiers in Plant Science*, 7, 984. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00984>
- Jepsen, S. T., Jørgensen, T. M., Sørensen, H. S., & Kristensen, S. R. (2019). Realtime interferometric refractive index change measurement for the direct detection of enzymatic reactions and the determination of enzyme kinetics. *Sensors*, 19(3), 539. <https://doi.org/10.3390/s19030539>
- Kondratenko, V. V., Kondratenko, T. Y., & 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. Y., Petrov, A. N., & Belozero, 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>
- 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>
- McDonald, A. G., & Tipton, K. F. (2022). Parameter reliability and understanding enzyme function. *Molecules*, 27(1), 263. <https://doi.org/10.3390/molecules27010263>
- Phyo, P., Gu, Y., & Hong, M. (2019). Impact of acidic pH on plant cell wall polysaccharide structure and dynamics: Insights into the mechanism of acid growth in plants from solid-state NMR. *Cellulose*, 26, 291–304. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2094-7>
- Punekar, N. S. (2018). Henri-Michaelis-Menten Equation. In: *Catalysis, kinetics and mechanisms* (pp 155–176). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0785-0_15
- Ritonja, J., Goršek, A., Pecar, D., Petek, T., & Polajžer, B. (2021). Dynamic modeling of the impact of temperature changes on CO₂ production during milk fermentation in batch bioreactors. *Foods*, 10(8), 1809. <https://doi.org/10.3390/foods10081809>
- Rytioja, J., Hildén, K., Yuzon, J., Hatakka, A., de Vries, R. P., & Mäkelä, M. R. (2014). Plant-polysaccharide-degrading enzymes from basidiomycetes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 78(4), 614–649. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00035-14>
- Saganuwan, S. A. (2021). Application of modified Michaelis-Menten equations for determination of enzyme inducing and inhibiting drugs. *BMC Pharmacology and Toxicology*, 22, Article 57. <https://doi.org/10.1186/s40360-021-00521-x>
- Schnell, S. (2014). Validity of the Michaelis-Menten equation — steady-state or reactant stationary assumption: That is the question. *The FEBS Journal*, 281(2), 464–472. <https://doi.org/10.1111/febs.12564>
- Shin, Y., Chane, A., Jung, M., & Lee, Y. (2021). Recent advances in understanding the roles of pectin as an active participant in plant signaling networks. *Plants*, 10(8), 1712. <https://doi.org/10.3390/plants10081712>
- Sista Kameshwar, A. K., & Qin, W. (2018). Structural and functional properties of pectin and lignin-carbohydrate complexes de-esterases: A review. *Bioresources and Bioprocessing*, 5, Article 43. <https://doi.org/10.1186/s40643-018-0230-8>
- Srinivasan, B. (2021). A guide to the Michaelis-Menten equation: Steady state and beyond. *The FEBS Journal*, 289(20), 6086–6098. <https://doi.org/10.1111/febs.16124>
- Szerement, J., & Szatanik-Kloc, A. (2022). Cell-wall pectins in the roots of Apiaceae plants: Adaptations to Cd stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 44, Article 53. <https://doi.org/10.1007/s11738-022-03386-7>

- Vitol, I. S., Igoryanova, N. A., & Meleshkina, E. P. (2019). Bio-conversion of secondary products of processing of grain cereals crops. *Food Systems*, 2(4), 18–24. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-4-18-24>
- Wang, Y., Chan, K.-L., Abdel-Rahman, M. A., Sonomoto, K., & Leu, Sh.-Y. (2020). Dynamic simulation of continuous mixed sugar fermentation with increasing cell retention time for lactic acid production using *Enterococcus mundtii* QU 25. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 13, Article 112. <https://doi.org/10.1186/s13068-020-01752-6>
- Wu, J., Barbero, R., Vajjhala, S., & O'Connor, S. D. (2006). Real-time analysis of enzyme kinetics via micro parallel liquid chromatography. *ASSAY and Drug Development*

Technologies, 4(6), 653–660. <https://doi.org/10.1089/adt.2006.4.653>

- Yilmaz, N., Kodama, Y., & Numata, K. (2020). Revealing the architecture of the cell wall in living plant cells by bioimaging and enzymatic degradation. *Biomacromolecules*, 21(1), 95–103. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.9b00979>
- Zhang, B., Gao, Y., Zhang, L., & Zhou, Y. (2021). The plant cell wall: Biosynthesis, construction, and functions. *Journal of Integrative Plant Biology*, 63(1), 251–272. <https://doi.org/10.1111/jipb.13055>
- Zhao, Y., Man, Y., Wen, J., Guo, Y., & Lin, J. (2019). Advances in imaging plant cell walls. *Trends in Plant Science*, 24(19), 867–878. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.05.009>

REFERENCES

- Boltovskii, V. S. (2021). Fermentativnyi gidroliz rastitel'nogo syr'ya: Sostoyaniye i perspektivy [Enzymatic hydrolysis of plant raw materials: State and prospects]. *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk [News of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Sciences Series]*, 57(4), 502–512. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-4-502-512>
- Andersen, M., Kari, J., Borch, K., & Westh, P. (2018). Michaelis-Menten equation for degradation of insoluble substrate. *Mathematical Biosciences*, 296, 93–97. <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2017.11.011>
- Barron, C., Devaux, M. F., Foucat, L., Falourd, X., Looten, R., Joseph-Aime, M., Durand, S., Bonnin, E., Lapiere, C., Saulnier, L., Rouau X., & Guillon F. (2021). Enzymatic degradation of maize shoots: monitoring of chemical and physical changes reveals different saccharification behaviors. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 14, Article 1. <https://doi.org/10.1186/s13068-020-01854-1>
- Benz, J. P., Chau, B. H., Zheng, D., Bauer, S., Glass, N. L., & Somerville, Ch. R. (2014). A comparative systems analysis of polysaccharide-elicited responses in *Neurospora crassa* reveals carbon source-specific cellular adaptations. *Molecular Microbiology*, 91(2), 275–299. <https://doi.org/10.1111/mmi.12459>
- Boeckx, J., Hertog, M., Geeraerd, A., & Nicolai B. (2017). Kinetic modelling: An integrated approach to analyze enzyme activity assays. *Plant Methods*, 13, Article 69. <https://doi.org/10.1186/s13007-017-0218-y>
- 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>
- Choi, B., Rempala, G. A., & Kim, J. K. (2017). Beyond the Michaelis-Menten equation: Accurate and efficient estimation of enzyme kinetic parameters. *Scientific Reports*, 7(1), Article 17018. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17072-z>
- Dourado, H., Mori, M., Hwa, T., & Lercher, M. J. (2021). On the optimality of the enzyme-substrate relationship in bacteria. *PLoS Biology*, 19(10), Article e3001416. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001416>
- Haas, K. T., Wightman, R., Peaucelle, A., & Höfte, H. (2021). The role of pectin phase separation in plant cell wall assembly and growth. *The Cell Surface*, 7, Article 100054. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2021.100054>
- Hassan, M. L., Berglund, L., Abou Elseoud, W. S., Hassan, E. A., & Oksman, K. (2021). Effect of pectin extraction method on properties of cellulose nanofibers isolated from sugar beet pulp. *Cellulose*, 28, 10905–10920. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04223-9>
- He, Q., Yang, J., Zabolina, O. A., & Yu, C. (2021). Surface-enhanced Raman spectroscopic chemical imaging reveals distribution of pectin and its co-localization with xyloglucan inside onion epidermal cell wall. *PLoS ONE*, 16(5), Article e0250650. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250650>
- 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(5), Article 1473. <https://doi.org/10.3390/molecules26051473>
- Hewitt, S. H., Ali, R., Mailhot, R., Anttonen, C. R., Dodson, C. A., & Butler, S. J. (2019). A simple, robust, universal assay for real-time enzyme monitoring by signal-lig changes in nucleoside phosphate anion concentration using a europium(iii)-based anion receptor. *Chemical Science*, 10(20), 5373–5381. <https://doi.org/10.1039/c9sc01552c>
- Holland, C., Ryden, P., Edwards, C. H., & Grundy, M. M.-L. (2020). Plant cell walls: Impact on nutrient bioaccessibility and digestibility. *Foods*, 9(2), 201. <https://doi.org/10.3390/foods9020201>
- Houston, K., Tucker, M. R., Chowdhury, J., Shirley, N., & Little, A. (2016). The plant cell wall: A complex and dynamic structure as revealed by the responses of genes under stress conditions. *Frontiers in Plant Science*, 7, 984. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00984>

- Jepsen, S. T., Jørgensen, T. M., Sørensen, H. S., & Kristensen, S. R. (2019). Realtime interferometric refractive index change measurement for the direct detection of enzymatic reactions and the determination of enzyme kinetics. *Sensors*, 19(3), 539. <https://doi.org/10.3390/s19030539>
- Kondratenko, V. V., Kondratenko, T. Y., & 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. Y., Petrov, A. N., & Belozero, 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>
- 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>
- McDonald, A. G., & Tipton, K. F. (2022). Parameter reliability and understanding enzyme function. *Molecules*, 27(1), 263. <https://doi.org/10.3390/molecules27010263>
- Phyo, P., Gu, Y., & Hong, M. (2019). Impact of acidic pH on plant cell wall polysaccharide structure and dynamics: Insights into the mechanism of acid growth in plants from solid-state NMR. *Cellulose*, 26, 291–304. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2094-7>
- Punekar, N. S. (2018). Henri-Michaelis-Menten Equation. In: *Catalysis, kinetics and mechanisms* (pp 155–176). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0785-0_15
- Ritonja, J., Goršek, A., Pecar, D., Petek, T., & Polajžer, B. (2021). Dynamic modeling of the impact of temperature changes on CO₂ production during milk fermentation in batch bioreactors. *Foods*, 10(8), 1809. <https://doi.org/10.3390/foods10081809>
- Rytioja, J., Hildén, K., Yuzon, J., Hatakka, A., de Vries, R. P., & Mäkelä, M. R. (2014). Plant-polysaccharide-degrading enzymes from basidiomycetes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 78(4), 614–649. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00035-14>
- Saganuwan, S. A. (2021). Application of modified Michaelis-Menten equations for determination of enzyme inducing and inhibiting drugs. *BMC Pharmacology and Toxicology*, 22, Article 57. <https://doi.org/10.1186/s40360-021-00521-x>
- Schnell, S. (2014). Validity of the Michaelis-Menten equation — steady-state or reactant stationary assumption: That is the question. *The FEBS Journal*, 281(2), 464–472. <https://doi.org/10.1111/febs.12564>
- Shin, Y., Chane, A., Jung, M., & Lee, Y. (2021). Recent advances in understanding the roles of pectin as an active participant in plant signaling networks. *Plants*, 10(8), 1712. <https://doi.org/10.3390/plants10081712>
- Sista Kameshwar, A. K., & Qin, W. (2018). Structural and functional properties of pectin and lignin-carbohydrate complexes de-esterases: A review. *Bioresources and Bio-processing*, 5, Article 43. <https://doi.org/10.1186/s40643-018-0230-8>
- Srinivasan, B. (2021). A guide to the Michaelis-Menten equation: Steady state and beyond. *The FEBS Journal*, 289(20), 6086–6098. <https://doi.org/10.1111/febs.16124>
- Szerement, J., & Szatanik-Kloc, A. (2022). Cell-wall pectins in the roots of Apiaceae plants: Adaptations to Cd stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 44, Article 53. <https://doi.org/10.1007/s11738-022-03386-7>
- Vitol, I. S., Igoryanova, N. A., & Meleshkina, E. P. (2019). Bio-conversion of secondary products of processing of grain cereals crops. *Food Systems*, 2(4), 18–24. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-4-18-24>
- Wang, Y., Chan, K.-L., Abdel-Rahman, M. A., Sonomoto, K., & Leu, Sh.-Y. (2020). Dynamic simulation of continuous mixed sugar fermentation with increasing cell retention time for lactic acid production using *Enterococcus mundtii* QU 25. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 13, Article 112. <https://doi.org/10.1186/s13068-020-01752-6>
- Wu, J., Barbero, R., Vajjhala, S., & O'Connor, S. D. (2006). Real-time analysis of enzyme kinetics via micro parallel liquid chromatography. *ASSAY and Drug Development Technologies*, 4(6), 653–660. <https://doi.org/10.1089/adt.2006.4.653>
- Yilmaz, N., Kodama, Y., & Numata, K. (2020). Revealing the architecture of the cell wall in living plant cells by bioimaging and enzymatic degradation. *Biomacromolecules*, 21(1), 95–103. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.9b00979>
- Zhang, B., Gao, Y., Zhang, L., & Zhou, Y. (2021). The plant cell wall: Biosynthesis, construction, and functions. *Journal of Integrative Plant Biology*, 63(1), 251–272. <https://doi.org/10.1111/jipb.13055>
- Zhao, Y., Man, Y., Wen, J., Guo, Y., & Lin, J. (2019). Advances in imaging plant cell walls. *Trends in Plant Science*, 24(19), 867–878. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.05.009>

УДК 641.1:616.33:616.34

Исследование пробиотических свойств бактериального концентрата

Арктический государственный
агротехнологический университет

Т. Н. Занданова

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Занданова Туяна Нимбуевна

Адрес: 677007, город Якутск,

ш. Сергеляхское, 3 км, д. 3

E-mail: tuyana35@mail.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования
доступны по запросу

у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Занданова, Т. Н. (2022). Исследование пробиотических свойств бактериального концентрата. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3).

<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.311>

ПОСТУПИЛА: 09.04.2022

ПРИНЯТА: 25.08.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии
конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. Применение поликомпонентных пробиотиков при лечении дисбактериозов обеспечивает комплексное воздействие различных метаболитов на кишечную микробиоту. Многоштаммовые микробные сообщества обладают более высоким адаптационным потенциалом в сравнении с моновидными препаратами. Однако, создание многоштаммовых микробных сообществ требует тщательного подбора по их биосовместимости. Разработка новых подходов к созданию поликомпонентных пробиотических препаратов является актуальной проблемой.

Цель работы. Исследовать пробиотические свойства замороженного бактериального концентрата, полученного микробного консорциума.

Материалы и методы. Для исследования использовали замороженный бактериальный концентрат микробного консорциума, полученный путем наращивания биомассы на питательной среде из творожной сыворотки с добавлением ростовых компонентов. Для получения микробного консорциума использовали новый подход к формированию его состава - автоотбор микробиоты кефирной грибковой закваски при pH 3–4. В работе использованы современные общепринятые методы количественного учета микроорганизмов, устойчивости к желчи и низкой активной кислотности, адгезивной и антибиотической активности.

Результаты. Установлено что, микробиота бактериального концентрата способна к росту на питательной среде с 20 % желчи и активной кислотности среды pH2, проявляет высокоадгезивные свойства и антагонистическую активность по отношению к широкому спектру патогенных и условно-патогенных бактерий.

Выводы. Полученные данные указывают на сохранение исходных свойств микробного консорциума после замораживания и возможности применения бактериального концентрата в качестве эффективной биологически активной добавки к пище для профилактики дисбиоза кишечной микробиоты.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

пробиотики, молочнокислые бактерии, курунга, кумыс, адгезия, антибиотическая активность, устойчивость к желчи

Probiotic Properties Study of Bacterial Concentrate

Arctic State Agrotechnological University

Tuyana N. Zandanova

CORRESPONDENCE:

Tuyana N. Zandanova

Address: 677007, Yakutsk city, 3,
Sergelyakhskoe sh. 3 km,
E-mail: tuyana35@mail.ru

FOR CITATIONS:

Zandanova, T. N. (2022). Probiotic properties study of bacterial concentrate. *Storage and Processing of Farm Products*, (3). <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.311>

RECEIVED: 09.04.2022

ACCEPTED: 25.08.2022

PUBLISHED: 30.09.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background. The use of multicomponent probiotics in the treatment of dysbiosis provides a complex effect of various metabolites on the intestinal microbiota. Multi-strain microbial communities have a higher adaptive potential compared to single-species preparations. However, the creation of multi-strain microbial communities requires careful selection for their biocompatibility. The development of new approaches to the creation of multicomponent probiotic preparations is an urgent problem.

Purpose. The aim of the work is to study the probiotic properties of a frozen bacterial concentrate obtained by us from a microbial consortium.

Materials and Methods. The frozen bacterial concentrate of the microbial consortium, obtained by increasing the biomass on a nutrient medium from curd whey with the addition of growth components, used for the study. To obtain a microbial consortium, a new approach to the formation of its composition was used - autoselection of the microflora of kefir fungal starter at pH 3-4. The work uses modern generally accepted methods for quantitative accounting of microorganisms, resistance to bile and low active acidity, adhesive and anti-biotic activity.

Results. It found that the microflora of the bacterial concentrate is capable of growing on a nutrient medium with 20 % bile and active acidity of the pH2 medium, exhibits highly adhesive properties and antagonistic activity against a wide range of pathogenic and opportunistic bacteria.

Conclusions. The data obtained indicate the preservation of the original properties of the microbial consortium after freezing and the possibility of using the bacterial concentrate as an effective biologically active food supplement for the prevention of intestinal microbiota dysbiosis.

KEYWORDS

probiotics, lactic acid bacteria, kurunga, koumiss, adhesion, antibiotic activity, bile resistance

ВВЕДЕНИЕ

Пробиотики необходимы для поддержания и восстановления микробиологического статуса человека. Такие факторы как ухудшение экологии, стрессы, применение консервантов в продуктах питания, заболевания являются причинами развития дисбактериоза. Эпигенетические механизмы регуляции клеток организма может быть нарушены при развитии дисбиоза кишечной микробиоты. Измененная микрофлора кишечника может вызывать развитие различных заболеваний, иммуно-опосредованные, метаболические, а также сердечно-сосудистые заболевания. Пробиотические бактерии оказывают многоуровневое воздействие на организм человека: восстановление нормальной микрофлоры кишечника, синтез биологически активных веществ, укрепление кишечного барьера, подавление роста патогенных и условно-патогенных бактерий (Мазанкова & Лыкова, 2004; Новик, 2006; Маягский, 2000).

Кишечный микробиом желудочно-кишечного тракта человека способен поддерживать его здоровье, гомеостаз и эпигеном. Существует связь между дисбактериозом кишечника и системными иммунными заболеваниями, включая воспалительные заболевания кишечника (ВЗК), рассеянный склероз и аутоиммунные заболевания. Патогенные микроорганизмы способны при дисбактериозе повышать проницаемость кишечного барьера, вследствие чего патогены способны проникать в циркуляцию и вызывать ВЗК. Помимо того, γ -глутамилтрансферазы, секретируемые микробиотой кишечника в условиях дисбактериоза кишечника, приводят к измененной посттрансляционной модификации пептидов в просвете кишечника, активируя каскады иммунного ответа, которые инициируют патологические аутоиммунные процессы (Айтабаев и соавт., 2018; Qin, 2010).

Эффективность действия пробиотиков индивидуально и зависит от их способности адаптироваться к эндоэкологии человека. Основными факторами, влияющими на рост бактерий в условиях желудочно-кишечного тракта, является активная кислотность среды, движение пищевых масс, концентрация желчи. Указанные факторы обуславливают неоднородную плотность микробных популяций на различных участках желудочно-кишечного тракта (Stark & Lee, 1982).

Поликомпонентные бактериальные сообщества обладают широким спектром полезных свойств (Каледина и соавт., 2019; Галимзянов и др., 2012; Кригер & Сюй, 2018; Тихомирова, 2014). Известно, что микрофлора национальных кисломолочных продуктов, таких как курунга и кумыс, способна подавлять развитие условно-патогенной и патогенной микрофлоры (Занданова и соавт., 2020; Занданова & Гоголева, 2018; Букачакова, 2013; Ермолаева и соавт., 2012; Календина и соавт., 2019). Доказано, что микрофлора этих продуктов проявляет антагонистическую активность по отношению *Staphylococcus aureus*, *Alcaligenes faecalis*, *Proteus vulgaris*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas fluorescens* и фунгицидное действие по отношению к *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum*, *Fusarium oxysporum*, *Candida guilliermondii*, *Rhodotorula aurantiaca* (Стоянова, 2017). Вероятно, это связано с тем, что многокомпонентная микрофлора кумыса и курунги синтезирует комплекс бактериоцинов таких как диплококцин, низин, лактолин и др. (Стоянова и соавт., 2012; Лахтин и др., 2014). Так, было установлено, что сообщество лактобактерий *Lactobacillus gallinarum*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactococcus lactis subsp. lactis* и *Lactobacillus fermentum*, выделенных из курунги, кумыса, айрана и чегена, обладает высокой антагонистической активностью. Так, зона ингибирования роста *Escherichia coli* B-6954 — 33,2 мм, *Bacillus fastidiosus* B-5651 — 32,4 мм, *Pseudomonas fluorescens* B-3502 — 27,0 мм, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027—34,6 мм, *Leuconostoc mesenteroides* B-8404—31,7 мм, *Candida albicans* ATCC 885—653 — 32,2 мм, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923—30,2 мм. (Кригер, 2017; Кригер & Сюй, 2018, с.45–47).

Эффективность бактериальных препаратов определяется совокупностью биологических свойств штаммов, входящих в их состав. Спорозоносные аэробные бациллы (род *Bacillus*), энтерококки, пропионовокислые бактерии, аэрококки, сахаромикеты и высшие грибы (*Aspergillus*, *Risopus*, *Cordiceps*) являются составными компонентами рецептуры некоторых современных пробиотиков.

Современные клиники нуждаются в антидисбиозных препаратах и в расширении ассортимента пробиотиков. Большой интерес к поликомпонентным пробиотикам вызван тем, что введение симбиотических комплексов формируют в организме более

устойчивые биорезонансные системы эндосимбионтов, и на практике дают стабильные результаты (Алешкин и соавт., 2010).

Создание многокомпонентных препаратов проводится с помощью подбора культур на основе их биосовместимости. Использование чистых культур лактобактерий и дрожжей в заквасках не всегда позволяют воссоздать уникальную по своим свойствам микрофлору курунги и кумыса, известных своими лечебными свойствами. Одним из направлений получения мультиштаммовых препаратов является формирование естественной популяции микроорганизмов. В процессе проведения длительной автоселекции микрофлоры кефирной грибковой закваски с термофильными лактобактериями нами разработан способ получения симбиотической закваски при pH 3–4. Данный подход формирует симбиотический микробный консорциум, идентичный микрофлоре курунги и кумыса. В состав микробного консорциума входят термофильные и мезофильные лактобактерии, дрожжи сбраживающие и не сбраживающие лактозу, а также ацетобактерии.

Целью данной статьи явилось исследование пробиотических свойств бактериального концентрата микробного консорциума. Для решения поставленной цели в работе решались следующие задачи: (1) изучение устойчивости микрофлоры к низким pH и желчи; (2) исследование адгезивной и антагонистической активности микрофлоры бактериального концентрата.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

В качестве объекта исследования использовали замороженный бактериальный концентрат микробного консорциума, полученный путем наращивания биомассы на творожной сыворотке с добавлением ростовых компонентов. Для сравнительного анализа использовали исходный инокулят — микробный консорциум. Тест-штаммы микроорганизмов были получены из Государственной коллекции патогенных микроорганизмов ФГБУ «НЦ ЭСПИ» Министерства здравоохранения РФ.

Методы

Для исследования устойчивости к желчи использовали жидкие среды MRS, содержащие 20% и 40% желчи. Культивирование инокулированных питательных сред с различной концентрацией желчи проводили в течение 12 ч. В качестве контроля использовали посе́вы без добавления желчи.

Исследование проводили по ОФС.1.7.2.0009.15 «Определение специфической активности пробиотиков». Для определения антагонистической активности использовали метод отсроченного антагонизма на плотной среде по задержке роста тест-штаммов патогенных и условно-патогенных микроорганизмов.

Адгезивные свойства микробного консорциума и бактериального концентрата микробного консорциума оценивали по среднему показателю адгезии (СПА), коэффициенту участия эритроцитов (КУЭ); об адгезивности культур и микробного консорциума судили по индексу адгезивности микроорганизмов (ИАМ). Согласно методике микроорганизмы считали неадгезивными при ИАМ менее 1,75, низкоадгезивными — от 1,76 до 2,5; среднеадгезивными — от 2,51 до 4,0; высокоадгезивными — при ИАМ более 4,0 (Брилис, 1986).

Оборудование и материалы

В процессе эксперимента использовался анализатор «БакТрак 4100», производства SY-LAB Geracte GmbH 2018 года выпуска. Способность бактерий переносить низкие значения pH оценивали по росту на питательной среде BiMedia 620A с pH 2,0.

Процедура исследования

Были проведены исследования антибиотической активности микробного консорциума и бактериального концентрата к тестовым изолятам из коллекции патогенной и условно-патогенной микрофлоры ИЭВС и ДВ СФНЦА РАН (г. Новосибирск).

Титры культур измеряли через 30, 60, 90 и 120 мин после посева. В качестве контроля служила питательная среда с pH 6,0. В контроле титр определяли через 120 мин.

Анализ данных

Все исследования проводили в трехкратной и пятикратной повторности. Обработка экспериментальных данных проводилась методами математического анализа с использованием программы Microsoft Office Excel. Для обработки данных была установлена степень вероятности безошибочного прогноза 95%. Оценку среднеквадратичного отклонения значения показателя проводили по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2},$$

где σ — среднеквадратичное отклонение; x_k — значение показателя; $\bar{x}$ — среднее арифметическое значение показателя; n — кратность исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Важнейшей задачей при консервировании бактериального концентрата является сохранение жизнеспособности клеток и исходных пробиотических свойств инокулята (Хамнаева и соавт., 2016). Консервирование бактериального концентрата микробного консорциума проводили замораживанием в морозильной камере при -25°C со скоростью ох-

лаждения 100°C в минуту. После 24-часовой выдержки при -25°C флаконы размораживали в водяной бане при $(37-40)^\circ\text{C}$. Исследуемые образцы засевали в жидкие среды MRS, содержащих 20 % и 40 % желчи. Культивирование инокулированных питательных сред проводили в течение 12 ч. В качестве контроля использовали посеы без добавления желчи. Результаты исследования представлены в Таблице 1.

Из данных представленных в Таблице 1 следует, что микрофлора бактериального концентрата и микробного консорциума способна к росту на питательной среде с 20 % желчи (Шавыркина и соавт., 2017; Cagno, 2006).

Далее были проведены исследования по способности микрофлоры микробного консорциума и бактериального концентрата переносить низкие значения pH. Оценивали устойчивость бактерий по росту на питательной среде с pH 2,0. Титры культур измеряли через 30, 60, 90 и 120 мин после посева. Для сравнительного анализа использовали кефирную грибковую закваску.

В качестве контроля использовали питательную среду с pH 6,0. В контроле титр определяли через 120 мин. Результаты исследований представлены в Таблице 2.

Таблица 1

Устойчивость микрофлоры бактериального концентрата к желчи

№	Наименование образцов	Наличие помутнения инокулированной питательной среды после 12 часов культивирования		
		в питательной среде с 20 % желчи	в питательной среде с 40 % желчи	в питательной среде без добавления желчи
1	Бактериальный концентрат микробного консорциума	+	-	+
2	Закваска микробного консорциума на обезжиренном молоке	+	-	+

Таблица 2

Влияние pH на выживаемость микроорганизмов

Вид закваски	Интервал времени, мин					Контроль
	0	30	60	90	120	
	логарифм числа клеток/см ³					
Бактериальный концентрат	4,8 ± 0,08	4,8 ± 0,08	4,6 ± 0,17	4,4 ± 0,17	3,8 ± 0,08	6,8 ± 0,08
Микробный консорциум на обезжиренном молоке	3,8 ± 0,08	3,6 ± 0,17	3,4 ± 0,17	3,2 ± 0,08	2,8 ± 0,08	5,4 ± 0,17
Кефирная закваска	3,8 ± 0,08	3,4 ± 0,17	3,2 ± 0,08	2,8 ± 0,08	2,2 ± 0,08	5,4 ± 0,17

Из представленных в Таблице 2 данных видно, что снижение pH до 2 ед задерживает рост клеток во всех образцах. Вначале культивирования в течение 60 мин сохраняется исходный титр жизнеспособных бактерий в бактериальном концентрате, микробном консорциуме и кефирной закваске. Культивирование в течение 90 мин приводит к уменьшению количества бактерий в кефирной закваске на один порядок. Полученные данные свидетельствуют, что микрофлора бактериального концентрата и микробного консорциума более устойчива к активной кислотности среды pH 2. Вероятно, это связано с тем, что одним из факторов формирования микробного консорциума является длительная автоселекция микрофлоры кефирной грибковой закваски и термофильных лактобактерий при pH 3–4. Селективные условия формируют устойчивость микрофлоры к кислотному стрессу. Следовательно, сформированная при создании микробного консорциума устойчивость микрофлоры к низким значениям активной кислотности среды сохраняется в бактериальном концентрате.

Адаптация микроорганизмов к факторам внешней среды в процессе автоселекции обеспечивается механизмами, гарантирующими стабильность микробного консорциума. К таким механизмам относятся межклеточная когезия и адгезия бактерий.

Для изучения влияния условий культивирования на адаптационный потенциал микроорганизмов проводили изучение адгезивных свойств:

- чистых культур лактобактерий *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* культивируемые на стерилизованном обезжиренном молоке;
- микрофлоры бактериального концентрата, полученный культивированием микробного консорциума на питательной среде;

- микробного консорциума, полученного путем длительной автоселекции микрофлоры кефирной грибковой закваски.

Результаты исследования представлены в Таблице 3.

Из данных Таблицы 3 следует, что микробные сообщества проявляют более высокие адгезивные свойства. Из представленных данных следует, что чистые культуры проявляют средне — и низкоадгезивные свойства, а микробные сообщества высокоадгезивные свойства.

Полученные результаты подтверждают данные о том, что адгезивные свойства микроорганизмов зависят от физиологического состояния, вызванных адаптацией к внешним факторам. Высокие адгезивные свойства микроорганизмов способствует быстрой адаптации в условиях желудочно-кишечного тракта.

Антимикробная активность лактобактерий зависит от условий культивирования: активной кислотности, температуры культивирования, наличия питательных субстратов в среде и др. Исследования антагонистической активности бактериального концентрата и микробного консорциума проводили в Институте экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока СФНЦА Агробиотехнологий РАН. Результаты исследований представлены в Таблице 4.

Из Таблицы 4 видно, что испытуемые образцы проявляют антагонистическую активность против широкого круга грамм-положительных и отрицательных микроорганизмов. Из представленных данных видно, что в бактериальном концентрате сохраняются пробиотические свойства инокулята.

Таблица 3

Влияние условий культивирования на адгезивные свойства микроорганизмов

Наименование опыта	СПА	КУЭ	ИАМ	Адгезивные свойства
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	3,3	78	2,9	Среднеадгезивные
<i>Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus</i>	1,73	72	2,4	Низкоадгезивным
Кефирная закваска	3,3	74	4,4	Высокоадгезивные
Бактериальный концентрат микробного консорциума	4,2	80	5,25	Высокоадгезивные
Микробный консорциум	3,8	78	4,8	Высокоадгезивные

Таблица 4

Антагонистическая активность микробного консорциума и бактериального концентрата по отношению к тестовым изолятам

№	Наименование изолята и музейных штаммов	Наличие антагонистической активности	
		Микробного консорциума	Бактериального концентрата
1	<i>Enterococcus faecalis</i> Изолят 253	+	+
2	<i>Enterococcus faecium</i> Изолят 2198	+	+
3	<i>Staphylococcus haemolyticus</i> Изолят 2994	+	+
4	<i>Listeria monocytogenes</i> Изолят 1987	+	+
5	<i>Salmonella enterica</i> Изолят 2445	+	+
6	<i>Salmonella enterica</i> Изолят 2736	+	+
7	<i>Streptococcus bovis</i> Изолят 2109	+	+
8	<i>Klebsiella pneumonia</i> Изолят 2263	+	+
9	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> Изолят 1287	-	-
10	<i>Enterobacter cloacae</i> Изолят 2198	+	+
11	<i>Citrobacter diversus</i> Изолят 2298	+	+
12	<i>Citrobacter freundii</i> Изолят 2019	+	+
13	<i>Klebsiella pneumonia</i> K1 5054	+	+
14	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	+	+
15	<i>Shigella sonnei</i> I фазы 941	+	+
16	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	+	+
19	<i>Bacillus subtilis</i> 534	+	+

Качественная характеристика замороженного бактериального концентрата представлена в Таблице 5.

Из данных Таблицы 5 можно сделать вывод, что полученный замороженный бактериальный концентрат характеризуется высокой концентрацией

жизнеспособных клеток и ферментирующей активностью, что делает возможным его применение беспересадочным методом для производства кисломолочных продуктов смешанного брожения, а также в качестве биологически активной добавки к пище (Крумликов и др., 2016).

Таблица 5

Качественная характеристика замороженного бактериального концентрата

Показатель	Значение показателя
Консистенция и внешний вид	Однородная жидкость. Допускается отделение сыворотки
Цвет	От кремового до светло-коричневого по всему объему, с темными включениями
Вкус и запах	Кисломолочный с привкусом ржаной муки
Массовая доля сухих веществ, %	7,2 ± 0,5
Активная кислотность (pH)	5 – 7
Температура сквашивания, °C	28 + 2
Активность (продолжительность сквашивания 10 л при внесении концентрата с 1 ед. активности), ч	10 – 12
Титруемая кислотность, °T	120
Температура при выпуске с предприятия, °C	6 ± 2

Показатель		Значение показателя
Продолжительность хранения, мес.		3
Количество микроорганизмов, КОЕ/см ³ , не менее:		
лактобактерии:		
термофильные		5 · 10 ¹⁰
мезофильные		4 · 10 ¹¹
дрожжи:		
не сбраживающие лактозу		3 · 10 ⁸
сбраживающие лактозу		2 · 10 ⁷
Микрокартина		Единичные тонкие палочки разной длины, единичные и скопления дрожжей
	БГКП (колиформы)	10
Объем бакконцентрата	<i>S. aureus</i>	10
в см ³ , в котором отсутствуют:	Патогенные, в том числе сальмонеллы	100

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исходный инокулят для получения бактериального концентрата -микробный консорциум получают культивированием в течение 72 часов кефирной грибковой закваски и термофильных лактобактерий при pH 3–4. Известно, длительное нахождение лактобактерий в условиях кислотного стресса формирует фенотипически гетерогенное сообщество микроорганизмов (Gilbert et al., 2004), обладающее устойчивостью к неблагоприятным внешним условиям. К механизмам, формирующим устойчивость микробных сообществ, относятся изменение метаболизма микроорганизмов для поддержания роста (Serrazanetti et al., 2011), выработка бактериоцинов (Pang et al, 2022), экзополисахаридов (Caggianiello et al., 2016), уменьшение проницаемости клеточной мембраны путем перераспределения жирных кислот в ней (Fernandez et al., 2008; Wu et al, 2012).

Нами установлено, что микрофлора микробного консорциума и его бактериального концентрата способна сохранять жизнеспособность при концентрации желчи 20 % и активной кислотности pH 2.

При формировании гетерогенных микробных сообществ важную роль выполняет клеточная адгезия. Она необходима для клеточной коммуникации и регуляции, а также способствует развитию

бактерий в микробных сообществах. Механическое взаимодействие между клетками и внеклеточным матриксом влияет и контролирует функцию клеток (Khalili & Ahmad, 2015). Лактобактерии являются комменсалами, которые стабильно или временно колонизирует поверхности слизистых оболочек желудочно-кишечного тракта человека (Arena et al., 2017). Высокоадгезивные свойства микробных сообществ повышает кишечно-адаптированный потенциал поликомпонентных препаратов.

Молочнокислые бактерии продуцируют бактериоцины, которые представляют собой антимикробные пептиды, синтезированные на рибосомах. Синтез бактериоцинов лактобактериями является одним из механизмов борьбы с конкурирующей микрофлорой (Tatsaporn & Kornkanok, 2020). По некоторым данным, повышение антибиотической активности при длительном кислотном стрессе может быть связано так же с изменением метаболизма клеток, переходом от катаболизма углеводов к катаболизму аминокислот (Zhang et al., 2012).

Полученные результаты свидетельствуют о высокой антибиотической активности как микробного консорциума, так и бактериального концентрата к широкому спектру патогенных и условно-патогенных бактерий. Таким образом, селективные

условия формирования микробного консорциума обеспечивают высокий адаптационный потенциал и позволяет получить поликомпонентный бактериальный концентрат с пробиотическими свойствами.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты доказывают, что сформированные при длительном кислотном воздействии механизмы адаптации микроорганизмов при получении микробного консорциума сохраняются в ее

замороженном бактериальном концентрате. Бактериальный концентрат проявляет толерантность к высокой концентрации желчи и молочной кислоты, проявляет высокоадгезивные свойства и антибиотическую активность, и может быть рекомендован в качестве пробиотической биологически активной добавки к пище. Поликомпонентные пробиотики обеспечивают приживаемость бактерий в различных экологических нишах желудочно-кишечного тракта.

ЛИТЕРАТУРА

- Алешкин, А. В., Амерханова, А. М., Воропаева, Е. А., Ефимова, О. Г., Цейтлин, Г. Я., & Коновалова, М. В. (2010). Клинико-лабораторная оценка эффективности препарата «БифидумМульти» при диспансерном лечении онкобольных детей. *Медицинский альманах*, (1), 193–195.
- Брилис, В. И. (1986). Методика изучения адгезивного процесса микроорганизмов. *Лабораторное дело*, (4), 210–214.
- Букачакова, Л. Ч. (2013). Исследование физико-химических и микробиологических показателей закваски алтайского кисломолочного напитка чеген. *Процессы и аппараты пищевых производств*, (3), 1–7.
- Галимзянов, Х. М., Башкина, О. А., Досмуханова, Э. Г., Абдрахманова, Р. О., Демина, Ю. З., Даудова, А. Д., Алешкин, А. В., Несвижский, Ю. В., Рыбкин, В. С., Афанасьев, С. С., Чикобава, М. Г., Аршба, И. М., Рубальский, М. О., & Рубальский, Е. О. (2018). Клиническое значение биопленкообразования у бактерий. *Астраханский медицинский журнал*, 13(4), 32–42. <https://doi.org/10.17021/2018.13.4.32.42>
- Ермолаева, А. Н. (2012). Изучение культур молочнокислых микроорганизмов выделенных из кумыса различных регионов Северного Казахстана. *Биотехнология, теория и практика*, (3), 87–90.
- Занданова, Т. Н., & Гоголева, П. А. (2018). Подбор питательной среды для получения бактериального концентрата микробного консорциума. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (5), 67–72.
- Занданова, Т. Н., Лосорова, Ю. Е., & Мырьянова, Т. П. (2020). Исследование возможности получения ассоциативной закваски для курунги. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (9), 185–192. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-9-185-192>
- Каледина, М. В., Федосова, А. Н., & Байдина, И. А. (2019). Антипатогенная активность национальных кисломолочных напитков. *Пищевая промышленность*, (10), 72–75. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10163>
- Кригер, О. В. (2017). Актуальные вопросы создания функциональных напитков с антибиотическими свойствами. *Актуальные вопросы индустрии напитков*, (1), 62–64.
- Кригер, О. В., & Сюй, В. (2018). Разработка поликомпонентного пробиотика на основе лактобактерий, выделенных из национальных кисломолочных продуктов. В *Инновации в пищевой биотехнологии: Сборник трудов Международного симпозиума* (с. 44–47). Кемерово: Кемеровский государственный университет.
- Крумликов, В. Ю., Остроумов, Л. А., Сухих, С. А., & Кригер, О. В. (2016). Подбор параметров стабилизации (замораживание и сушка) симбиотического консорциума с целью получения закваски прямого внесения. *Техника и технология пищевых производств*, (3), 25–30.
- Лактин, М. В., Афанасьев, С. С., Лактин, В. М., Алешкин, В. А., Караулов, А. В., Алешкин, А. В., Несвижский, Ю. В., Байракова, А. Л., Афанасьев, М. С., & Воропаева, Е. А. (2014). Влияние лектинов пробиотических бактерий на условно-патогенный и пробиотический компартменты микробиоценоза биотопа человека. *Астраханский медицинский журнал*, (9), 51–58.
- Мазанкова, Л. Н., & Лыкова, Е. А. (2004). Пробиотики: Характеристика препаратов и выбор в педиатрической практике. *Детские инфекции*, (1), 18–24.
- Маягский, А. Н. (2000). Дисбактериоз: Иллюзии и реальность. *Педиатрия*, (4), 80–88.
- Новик, Г. И. (2006). Биологическая активность микроорганизмов-пробионтов. *Прикладная биохимия и микробиология*, (2), 187–194.
- Стоянова, Л. Г. (2017). Выделение и идентификация молочнокислых бактерий *Lactococcus lactis subsp. lactis* с антимикробным действием. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, (5), 41–65. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2017-5-41-61>
- Стоянова, Л. Г., Устюгова, Е. А., & Нетрусов, А. И. (2012). Антимикробные метаболиты молочнокислых бактерий: Разнообразие и свойства (обзор). *Прикладная биохимия и микробиология*, (3), 259–275.

- Тихомирова, О. М. (2014). Перспективы использования метаболитов микроорганизмов ассоциации «Тибетский рис» для повышения чувствительности грибов к антимикотикам. *Успехи медицинской микологии*, (12), 439–441.
- Хамнаева, Н. И., Олмоева, В. Д., & Намсараева, З. М. (2016). Исследование антагонистической активности комбинированного инокулята на основе микробной ассоциации кефирных грибов. *Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления*, (4), 84–88.
- Шавыркина, Н. А., Обрезкова, М. В., & Малиновская, М. Г. (2017). Получение кисломолочного напитка на основе ацидофильно-дрожжевой закваски. *Ползуновский вестник*, (4), 42–46.
- Arena, M. P., Capozzi, V., Spano, G., & Fiocco, D. (2017). The potential of lactic acid bacteria to colonize biotic and abiotic surfaces and the investigation of their interactions and mechanisms. *Applied microbiology and biotechnology*, 101(7), 2641–2657. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8182-z>
- Caggianiello, G., Kleerebezem, M. & Spano, S. (2016) Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria: from health-promoting benefits to stress tolerance mechanisms. *Applied Microbiology and Biotechnology*.100.3877–3886. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7471-2>
- Cagno, R. (2006) Assessing the proteolytic and lipolytic activities of single strains of mesophilic lactobacilli as adjunct cultures using Caciotta cheese model system. *Int.Dairy J.* 16. 119–130.
- Fernandez, A., Ogawa, J., Penaud, S., Boudebouze, S., Ehrlich, D., van de Guchte, M., & Maguin, E. (2008). Rerouting of pyruvate metabolism during acid adaptation in *Lactobacillus bulgaricus*. *Proteomics*, 8(15), 3154–3163. DOI: <https://doi.org/10.1002/pmic.200700974>
- Gilbert, P., Maira-Litran, T., J. McBain A., H. Rickard, A., & W. Whyte, F. (2004) The physiology and collective recalcitrance of microbial biofilm communities. *Advances in Microbial Physiology*. 46.203–256. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2911\(02\)46005-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2911(02)46005-5)
- Qin, J. (2010). A human gut microbial gene catalogue established by metagenomic sequencing. *Nature*, 464(7285), 59–65. <https://doi.org/10.1038/nature08821>
- Stark, P. L., & Lee, A. (1982). The microbial ecology of the large bowel of breast-fed and formula-fed infants during the first year of life. *Journal of Medical Microbiology*, 15(2), 189–203. <https://doi.org/10.1099/00222615-15-2-189>

REFERENCES

- Aleshkin, A. V. Amerkhanova, A. M., Voropaeva, E. A., Efimova, O. G., Tseitlin, G. Ya., & Konovalova, M. V. (2010). Kliniko-laboratornaya otsenka effektivnosti preparata “Bifidum-Mul’ti” pri dispansernom lechenii onkologicheskikh detei [Clinical and laboratory evaluation of the effectiveness of the drug “Bifidumulti” in the dispensary treatment of children with cancer]. *Medsitsinskii al'manakh [Medical Almanac]*, (1), 193–195.
- Brilis, V. I. (1986). Metodika izucheniya adgezivnogo protsesa mikroorganizmov [Methods of studying the adhesive process of microorganisms]. *Laboratornoe delo [Laboratory Business]*, (4), 210–214.
- Bukachakova, L. Ch. (2013). Issledovanie fiziko-khimicheskikh i mikrobiologicheskikh pokazatelei zakvaski altaiskogo kislomolochnogo napitka chegen [Investigation of physico-chemical and microbiological parameters of the starter culture of the Altai fermented milk drink chegen]. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv [Processes and Devices of Food Production]*, (3), 1–7.
- Ermolaeva, A. N. (2012). Izuchenie kul'tur molochnokisllykh mikroorganizmov vydelennykh iz kumysa razlichnykh regionov Severnogo Kazakhstana [Study of cultures of lactic acid microorganisms isolated from koumiss from various regions of Northern Kazakhstan]. *Biotehnologiya, teoriya i praktika [Biotechnology, Theory and Practice]*, (3), 87–90.
- Galimzyanov, Kh. M., Bashkina, O. A., Dosmukhanova, E. G., Abdrakhmanova, R. O., Demina, Yu. Z., Daudova, A. D., Aleshkin, A. V., Nesvizhskii, Yu. V., Rybkin, V. S., Afanas'ev, S. S., Chikobava, M. G., Arshba, I. M., Rubal'skii, M. O., & Rubal'skii, E. O. (2018). Klinicheskoe znachenie bioplenkoobrazovaniya u bakterii [Clinical significance of biofilm formation in bacteria]. *Astrakhanskii meditsinskii zhurnal [Astrakhan Medical Journal]*, 13(4), 32–42. <https://doi.org/10.17021/2018.13.4.32.42>
- Kaledina, M. V., Fedosova, A. N., & Baidina, I. A. (2019). Antipatogennaya aktivnost' natsional'nykh kislomolochnykh napitkov [Anti-pathogenic activity of national fermented milk drinks]. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*, (10), 72–75. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10163>
- Khamnaeva, N. I., Olmoeva, V. D., & Namsaraeva, Z. M. (2016). Issledovanie antagonistskoi aktivnosti kombinirovannogo inokulyata na osnove mikrobnoi assotsiatsii kefirnykh gribov [Study of the antagonistic activity of the combined inoculate based on the microbial association of kefir fungi]. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i upravleniya [Bulletin of the East Siberian State University of Technology and Management]*, (4), 84–88.
- Kruger, O. V. (2017). Aktual'nye voprosy sozdaniya funktsional'nykh napitkov s antibioticheskimi svoistvami [Topical issues of creating functional drinks with antibiotic properties]. *Aktual'nye voprosy industrii napitkov [Current Issues of the Beverage Industry]*, (1), 62–64.
- Kruger, O. V., & Syui, V. (2018). Razrabotka polikomponentnogo probiotika na osnove laktobakterii, vydelennykh iz natsional'nykh kislomolochnykh produktov [Development of a multicomponent probiotic based on lactobacilli isolated from national fermented milk products]. In *Innovatsii v pishchevoi biotekhnologii: Sbornik trudov Mezhdunarodnogo simpoziuma [Innovations in food biotechnology: Collection of papers of the International Symposium]*. Novosibirsk: SibGPI. 10–12.

- arodnogo simpoziuma [Innovations in Food Biotechnology: Proceedings of the International Symposium] (pp. 44–47). Kemerovo: Kemerovskii gosudarstvennyi universitet.
- Krumlikov, V. Yu., Ostroumov, L. A., Sukhikh, S. A., & Kriger, O. V. (2016). Podbor parametrov stabilizatsii (zamrazhivanie i sushka) simbioticheskogo konsortsiума s tsel'yu polucheniya zakvaski pryamogo vneseniya [Selection of stabilization parameters (freezing and drying) of the symbiotic consortium in order to obtain a starter culture of direct application]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Equipment and technology of food production], (3), 25–30.
- Lakhtin, M. V., Afanas'ev, S. S., Lakhtin, V. M., Aleshkin, V. A., Karaulov, A. V., Aleshkin, A. V., Nesvizhskii, Yu. V., Bairakova, A. L., Afanas'ev, M. S., & Voropaeva, E. A. (2014). Vliyaniye lektinov probioticheskikh bakterii na uslovno-patogennyy i probioticheskii kompartmenty mikrobiotsenoza biotopa cheloveka [Influence of probiotic bacteria lectins on conditionally pathogenic and probiotic compartments of human biotope microbiocenosis]. *Astrakhanskii meditsinskii zhurnal* [Astrakhan Medical Journal], (9), 51–58.
- Mayagetskii, A. N. (2000). Disbakterioz: Illyuzii i real'nost' [Dysbiosis: Illusions and reality]. *Pediatrics* [Pediatrics], (4), 80–88.
- Mazankova, L. N., & Lykova, E. A. (2004). Probiotiki: Kharakteristika preparatov i vybor v pediatricheskoi praktike [Probiotics: Characteristics of drugs and choice in pediatric practice]. *Detskie infektsii* [Childhood Infections], (1), 18–24.
- Novik, G. I. (2006). Biologicheskaya aktivnost' mikroorganizmov-probiontov [Biological activity of probiont microorganisms]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya* [Applied Biochemistry and Microbiology], (2), 187–194.
- Shavyrkina, N. A., Obrezkova, M. V., & Malinovskaya, M. G. (2017). Poluchenie kislomolochnogo napitka na osnove atsidofil'no-drozhzhevoi zakvaski [Obtaining a fermented milk drink based on acidophilic yeast starter culture]. *Polzunovskii vestnik* [Polzunovsky Bulletin], (4), 42–46.
- Stoyanova, L. G. (2017). Vydelenie i identifikatsiya molochnokislykh bakterii *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* s antimikrobnym deistviem [Isolation and identification of lactic acid bacteria *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* with antimicrobial action]. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [News of the Timiryazev Agricultural Academy], (5), 41–65. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2017-5-41-61>
- Stoyanova, L. G., Ustyugova, E. A., & Netrusov, A. I. (2012). Antimikrobnyye metabolity molochnokislykh bakterii: Raznoobrazie i svoystva (obzor) [Antimicrobial metabolites of lactic acid bacteria: Diversity and properties (review)]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya* [Applied Biochemistry and Microbiology], (3), 259–275.
- Tikhomirova, O. M. (2014). Perspektivy ispol'zovaniya metabolitov mikroorganizmov assotsiatsii "Tibetskii ris" dlya povysheniya chuvstvitel'nosti gribov k antimikotikam [Prospects for the use of metabolites of microorganisms of the association "Tibetan Rice" to increase the sensitivity of fungi to antimycotics]. *Uspekhi meditsinskoi mikologii* [Advances in Medical Mycology], (12), 439–441.
- Zandanova, T. N., & Gogoleva, P. A. (2018). Podbor pitatel'noi sredy dlya polucheniya bakterial'nogo konsentratа mikrobnogo konsortsiума [Selection of a nutrient medium for obtaining bacterial concentrate of the microbial consortium]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Вестник Красноярского государственного аграрного университета], (5), 67–72.
- Zandanova, T. N., Losorova, Yu. E., & Myr'yanova, T. P. (2020). Issledovanie vozmozhnosti polucheniya assotsiativnoi zakvaski dlya kurungi [Investigation of the possibility of obtaining an associative starter culture for kurunga]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], (9), 185–192. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-9-185-192>
- Arena, M. P., Capozzi, V., Spano, G., & Fiocco, D. (2017). The potential of lactic acid bacteria to colonize biotic and abiotic surfaces and the investigation of their interactions and mechanisms. *Applied microbiology and biotechnology*, 101(7), 2641–2657. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8182-z>
- Caggianiello, G., Kleerebezem, M., & Spano, S. (2016). Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria: from health-promoting benefits to stress tolerance mechanisms. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 100.3877–3886. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7471-2>
- Cagno, R. (2006). Assessing the proteolytic and lipolytic activities of single strains of mesophilic lactobacilli as adjunct cultures using Caciotta cheese model system. *The International Dairy Journal*, (16), 119–130.
- Fernandez, A., Ogawa, J., Penaud, S., Boudebouze, S., Ehrlich, D., van de Guchte, M., & Maguin, E. (2008). Rerouting of pyruvate metabolism during acid adaptation in *Lactobacillus bulgaricus*. *Proteomics*, 8(15), 3154–3163. <https://doi.org/10.1002/pmic.200700974>
- Gilbert, P., Maira-Litran, T., J. McBain A., H. Rickard, A. & W. Whyte, F. (2004) The physiology and collective recalcitrance of microbial biofilm communities. *Advances in Microbial Physiology*. 46. 203–256. [https://doi.org/10.1016/S0065-2911\(02\)46005-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2911(02)46005-5)
- Qin, J. (2010). A human gut microbial gene catalogue established by metagenomic sequencing. *Nature*, 464(7285), 59–65. <https://doi.org/10.1038/nature08821>
- Qin, J. (2010). A human gut microbial gene catalogue established by metagenomic sequencing. *Nature*, 464(7285), 59–65. <https://doi.org/10.1038/nature08821>
- Stark, P. L., & Lee, A. (1982). The microbial ecology of the large bowel of breast-fed and formula-fed infants during the first year of life. *Journal of Medical Microbiology*, 15(2), 189–203. <https://doi.org/10.1099/00222615-15-2-189>
- Stark, P. L., & Lee, A. (1982). The microbial ecology of the large bowel of breast-fed and formula-fed infants during the first year of life. *Journal of Medical Microbiology*, 15(2), 189–203. <https://doi.org/10.1099/00222615-15-2-189>

УДК 633.522:664.689

Влияние продуктов переработки семян конопли на потребительские свойства мучных кондитерских изделий

Федеральный научный центр лубяных культур

А. А. Гончарова, В. И. Ушаповский, И. Э. Миневич

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Гончарова Агата Анатольевна

Адрес: 170041, г. Тверь,
Комсомольский проспект, 17/56
E-mail: a.goncharova@fncl.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Гончарова, А. А., Ушаповский, В. И.,
& Миневич, И. Э. (2022). Влияние
продуктов переработки семян конопли
на потребительские свойства мучных
кондитерских изделий. *Хранение
и переработка сельхозсырья*, (3).
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.291>

ПОСТУПИЛА: 10.03.2022

ПРИНЯТА: 27.05.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Работа выполнена при поддержке
Минобрнауки РФ в рамках
государственного задания ФГБНУ
ФНЦ ЛК (FGSS-2022–0007).



АННОТАЦИЯ

Введение. Повышение пищевой ценности рационов питания населения относится к приоритетным задачам национального и международного уровня. В Российской Федерации это учитывается в «Доктрине продовольственной безопасности», утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20, в «Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 июня 2016 года № 1364-р. Мучные кондитерские изделия представляют собой перспективную основу для обогащения их функциональными ингредиентами. Семена конопли и продукты их переработки вызывают научный интерес в исследованиях области питания. В последние годы обсуждение данного сырья заметно возросло ввиду создания сортов технической конопли с низким содержанием наркотических компонентов – тетрагидроканнабинола (ТГК) (0,1...0,3 %), легализации возделывания и ее переработки. В связи с этим использование продуктов переработки семян конопли является актуальным направлением, однако, недостаточно изученным.

Цель. Изучение эффективности использования продуктов переработки семян конопли для повышения пищевой ценности мучных кондитерских изделий.

Материалы и методы. В данном исследовании изучались продукты переработки семян конопли – конопляная мука, измельченное ядро семян конопли, обрубленные семена конопли, белковый концентрат из семян конопли, измельченные семена конопли, конопляное масло и клетчатка семян конопли, в качестве добавок при изготовлении мучных кондитерских изделий. Исследуемые образцы вносились при замесе теста в рецептуру маффинов.

Результаты. Физико-химические показатели определялись стандартными методами анализа. Плотность образцов по сравнению с контролем менялась в зависимости от вносимой добавки. При внесении клетчатки и конопляного масла плотность образцов увеличивалась (0,58 и 0,56 г/см³ соответственно). Добавление измельченных семян конопли и муки из семян конопли напротив приводили к снижению плотности образцов – 0,41 г/см³ каждый. Обрубленные семена конопли, белковый концентрат и клетчатка семян конопли положительно влияли на упек образцов (15,87, 16,15 и 16,26 % соответственно). Отмечено, что лучший удельный объем был у образца с содержанием 10 % конопляной муки – 2,54 см³/г. В результате хранения все продукты переработки семян конопли снижали скорость черствения маффинов. Установлено, что лучшими органолептическими показателями обладали маффины с конопляным маслом, которое полностью заменяло подсолнечное масло в рецептуре образцов. Также высокой комплексной оценкой по органолептическим показателям обладали образцы с конопляной клетчаткой (5%). По уровню энергетической ценности полученные образцы относят к продуктам со средней энергетической ценностью.

Выводы. Расширение ассортимента пищевых продуктов, содержащих добавки семян конопли и продуктов их переработки, а также активное потребление населением этих изделий будет содействовать реализации национальных программ по оздоровлению населения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

семена конопли, конопляное масло, белковый концентрат семян конопли, органолептические и физико-химические показатели качества, мучные кондитерские изделия, пищевая ценность, семена масличных культур

The Influence of Hemp Seed Processing Products on Consumer Properties of Flour Confectionery Products

Federal Research Center for Bust
Fiber Crops

Agata A. Goncharova, Valentin I. Uschapovsky, Irina E. Minevich

CORRESPONDENCE:

Agata A. Goncharova
Address: 17/56, Komsomolsky prospect,
Tver, 170041, Russia,
E-mail: a.goncharova@fncl.ru

FOR CITATIONS:

Goncharova, A. A., Uschapovsky, V. I.,
& Minevich I. E. (2022). The influence
of Hemp seed processing products
on consumer properties of flour
confectionery products. *Storage and
Processing of Farm Products*, (3).
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.291>

RECEIVED: 10.03.2022

ACCEPTED: 27.05.2022

PUBLISHED: 30.09.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction. The priority task of the national and international level is to increase the nutritional value of the diets of the population. In the Russian Federation, it is considered in the «Food Safety Doctrine», approved by Decree of the President of the Russian Federation dated January 21, 2020 No. 20, in the «Strategy for Improving the Quality of Food Products in the Russian Federation until 2030», approved by order of the Government of the Russian Federation dated June 29, 2016 year No. 1364-r. Flour confectionery products are a promising basis for enriching them with functional ingredients. Hemp seeds and product processing seeds of hemp are of scientific interest in nutrition research. In recent years, the discussion of this raw material has increased markedly due to the creation of technical hemp varieties with a low content of narcotic components – tetrahydrocannabinol (THC) (0,1...0,3 %), the legalization of cultivation and its processing. In this regard, the use of hemp seed processing products is an important area, however, not well understood.

Aim. The study of the effectiveness of the use of hemp seed processing products to increase the nutritional value of flour confectionery.

Materials and Methods. In this study, hemp seed processing products were studied – hemp flour, crushed hemp seed kernel, crushed hemp seeds, protein concentrate from hemp seeds, crushed hemp seeds, hemp oil and hemp seed fiber, as additives in the manufacture of flour confectionery products. The studied samples were added to the muffin recipe when kneading the dough.

Results. Physicochemical parameters were determined by standard methods of analysis. The density of the samples compared to the control varied depending on the added additive. The density of the samples increased (0,58 and 0,56 g/cm³, respectively), when fiber and hemp oil were added. On the contrary, the addition of crushed hemp seeds and hemp flour led to a decrease in the density of samples – 0,41 g/cm³ both of them. Crushed hemp seeds, protein concentrate and hemp seed fiber had a positive effect on the backing losses of samples (15,87, 16,15 and 16,26 %, respectively). It was noted that the best specific volume was in a sample containing 10 % hemp flour – 2,54 cm³/g. As a result of storing, all samples with products processing seeds of hemp reduced the rate of staling of muffins. It was found that the best organoleptic characteristics were muffins with hemp oil, which completely replaced sunflower oil in the formulation of samples. Also, samples with hemp fiber (5 %) had a high comprehensive assessment of organoleptic parameters. According to the level of energy value, the samples obtained are classified as products with an average energy value.

Conclusions. The expansion of the range of food products containing additives of hemp seeds and products of their processing, as well as the active consumption of these products by the population will contribute to the implementation of national programs for the improvement of the population.

KEYWORDS

hemp seeds, hemp oil, hemp seed protein, organoleptic and physicochemical quality indicators, flour confectionery, nutritional value

ВВЕДЕНИЕ

Питание является одним из основных факторов, которые определяют здоровье населения. Не-полноценное питание связано с потребляемой продукцией, в которой отсутствует достаточное количество основных пищевых веществ или их соотношение нарушено, что приводит к проблемам с обменом веществ в организме. В настоящее время физическая активность населения резко снизилась, это неизбежно привело к тому, что объем пищи и возможность обеспечения организма макро- и микронутриентами существенно снизились. Поэтому возникает необходимость создания рынка продуктов питания, которые являются источником макро- и микронутриентов (Муравьева & Черкасов, 2017; Тарасова и соавт., 2021).

Добавление белков растительного происхождения в пищевые продукты способствует достижению желаемых функциональных свойств, таких как растворимость, вязкость, пенообразование, эмульгирование и способность удерживать воду и масло (Dapčević-Hadnađev et al., 2020).

На территории Российской Федерации в промышленных целях разрешено возделывать сорта технической конопли, содержащие в сухой массе листьев и соцветий растения не более 0,1 % тетрагидроканнабинола (ТГК)¹. Большое внимание исследователей и производителей продуктов питания уделяется семенам технической конопли как пищевому ингредиенту, так как они обладают широким спектром биологически активных веществ и в их составе отсутствует ТГК (Leonard et al., 2020; Меренкова и соавт., 2019).

В семенах конопли присутствуют (%): белки от 18 до 25; жиры — от 25 до 35; углеводы — 20–30; клетчатка — от 10 до 17, (Зверев, 2021; Lan et al., 2019; Гореева и соавт., 2021; Santos-Sánchez et al., 2022; Vonapartis et al., 2015) в том числе (мг/100г): кальция — 70; железа — 8; магния — 700; фосфора — 1650; меди — 1,6; цинка — 9,9; натрия — 5; калия — 1200 (Широкова и соавт., 2019; Bakowska-Barczak et al., 2020).

Протеин семян конопли, представлен двумя основными типами запасных белков: альбуминами (25–37 %) и глобулинами (67–75 %) (Leonard et al., 2020). Для семян конопли также характерно отсутствие глютена в составе белкового комплекса, что делает их возможным для употребления людьми, страдающими целиакией. В составе конопляного протеина присутствуют 20 аминокислот, 9 из которых — незаменимые и не синтезируются организмом человека. Получаемый из семян конопли протеин является хорошим источником аминокислот с разветвленными боковыми цепями, которые используются в качестве добавки, принимаемой спортсменами для развития мышечной ткани организма. К таким аминокислотам относятся лейцин, изолейцин и валин. В Таблице 1 представлены ами-

Таблица 1.

Содержание аминокислот (г/100г продукта)

Аминокислота	Конопля	Соя	Яичный белок
Валин*	1,28	2,03	0,98
Гистидин*	0,71	1,10	0,28
Изолейцин*	0,98	1,97	0,74
Лейцин*	1,72	3,31	1,08
Лизин*	1,03	2,71	0,74
Метионин*	0,58	0,55	0,47
Треонин*	0,88	1,77	0,58
Триптофан*	0,20	0,59	0,20
Фенилаланин*	1,17	2,12	0,76
Аланин	1,28	1,92	0,83
Аргинин	3,10	3,15	0,68
Аспарагиновая кислота	2,78	5,11	1,23
Глицин	1,14	1,88	0,50
Глутаминовая кислота	4,57	7,87	1,67
Пролин	1,15	2,38	0,50
Серин	1,27	2,36	0,92
Тирозин	0,82	1,54	0,46
Цистин	0,41	0,66	0,29

Примечание. *Незаменимые аминокислоты.

¹ Постановление Правительства РФ N 460. (2010). Об установлении сортов наркосодержащих растений, разрешенных для культивирования в промышленных целях, требований к таким сортам и к условиям их культивирования. <https://base.garant.ru/12154768/>

нокислотный профиль белков семян конопли, сои и яичного белка как наиболее популярных компонентов пищевой промышленности (Callaway, 2004; Modgil, 2021). В сравнении с соей и яичным белком аминокислотный профиль семян конопли имеет близкие по значению показатели содержания аминокислот.

Конопляное масло чаще всего получают путем холодного отжима семян со степенью извлечения масла от 60 до 80 % (Crescente, 2018). Нерафинированное конопляное масло имеет темно-зеленый цвет из-за содержания хлорофилла (Серков и др., 2020). Оно обладает свежим ореховым вкусом и запахом. Масло семян конопли полезно для здоровья благодаря высокому содержанию незаменимых жирных кислот. Оно состоит примерно на 80 % из полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), в основном из ω -6, линолевой кислоты (ЛК), и ω -3, α -линоленовой кислоты (АЛК), с соотношением ЛК:АЛК 3:1 (Porto et al., 2015). Конопляное масло также содержит γ -линоленовую кислоту (которая присутствует только в некоторых растительных маслах) на уровне до 5 %. Основная польза масла семян конопли для здоровья человека заключается в высоком содержании ПНЖК и оптимальном соотношении ЛК:АЛК (Siudem et al., 2019). В масле семян конопли присутствуют фенольные соединения, обладающие свойствами антиоксидантов и обеспечивающие высокую устойчивость масла холодного отжима к окислению (Smeriglio et al., 2016). Фенольные соединения неомыляемой фракции масла семян конопли составляют от 1,8 до 1,92 %, и представлены в виде различных изомеров α -, β -, γ - и δ -токоферолов, фитостеролов, которые и предотвращают окисление масла благодаря своей способности улавливать свободные радикалы (Farinon et al., 2020). Общее количество токоферолов в конопляном масле выше, чем в подсолнечном, кунжутном и амарантовом масле (Oseyko et al., 2019). Фитостеролы — жирорастворимые соединения, встречающиеся только в растениях, они не могут быть синтезированы в организме человека и характеризуются структурой, сходной со структурой холестерина. Благодаря этому химическому свойству, фитостеролы, при попадании в кишечник способны снижать растворимость холестерина, исключая его из липидных мицелл, и конкурировать со свободным холестерином, тем самым предотвращая всасывание холестерина в кишечнике (Oseyko et al., 2019). Наиболее распространенным фитостеролом

является β -ситостерол со значением 190,5 мг/100 г для конопляного масла (Montserrat-de la Paz et al., 2014). β -ситостерол может быть эффективен для снижения риска развития гиперхолестеринемии, рака толстой кишки. Данный стерол обладает противовирусным, противогрибковым и противовоспалительным действием (Oseyko et al., 2019).

Семена конопли и продукты их переработки являются перспективным сырьем для обогащения мучных кондитерских изделий ценными белками, витаминами, клетчаткой и минеральными веществами. Среди ассортимента мучных кондитерских изделий большой популярностью пользуются маффины (Прядко и соавт., 2020). Использование продуктов переработки семян конопли в пищевых технологиях будет способствовать повышению пищевой ценности и содержания биологически активных веществ в продуктах массового потребления.

Целью данного исследования является изучение эффективности использования продуктов переработки конопли для повышения пищевой ценности мучных кондитерских изделий. Задачи исследования: (1) изучить влияние продуктов переработки семян конопли на физико-химические и органолептические показатели маффинов; (2) определить пищевую ценность маффинов с продуктами переработки семян конопли; (3) оценить степень удовлетворения суточной потребности в основных макронутриентах разработанных изделий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы и объекты

В качестве объектов исследования были использованы следующие продукты переработки семян конопли: конопляная мука, измельченное ядро семян конопли, обрубленные семена конопли, белковый концентрат из семян конопли, измельченные семена конопли, конопляное масло и клетчатка семян конопли, а также маффины с их использованием.

Ингредиенты

Для изготовления маффинов было использовано сырье, приобретенное в розничной сети, которое со-

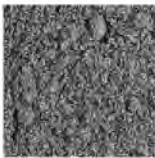
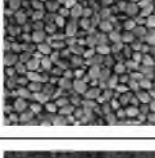
ответствует требованиям нормативно-технической документации. В качестве ингредиентов для изготовления маффинов были использованы: мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта, молоко 2,5 % жирности, сахар-песок, соль поваренная пищевая, вода питьевая, разрыхлитель, яйцо куриное пищевое, масло подсолнечное рафинированное дезодорированное. Содержание продуктов переработки семян конопли в рецептуре маффинов составляло

10 %, за исключением белкового концентрата семян конопли и клетчатки, которые добавляли в количестве 5 %. При использовании конопляного масла замещали рецептурное количество подсолнечного масла. Характеристика продуктов переработки семян конопли представлена в Таблице 2.

Конопляная мука, ядра конопли, обрушенные семена, белковый концентрат и конопляное масло были

Таблица 2.

Характеристика продуктов переработки семян конопли

Наименование образцов	Метод получения	Показатели*	Внешний вид
Конопляная мука	Технология «холодного» прессования	Протеин – 30,0 % Жир – 8,0 % Пищевые волокна – 18,0 % Влажность – 5,7 %	
Ядра конопли	Метод обрушивания	Протеин – 35,9 % Жир – 46,7 % Пищевые волокна – 7,8 % Влажность – 3,5 %	
Обрушенные семена	Обрушенные семена с содержанием фракции оболочки (25 %)	Протеин – 29,0 % Жир – 38,0 % Пищевые волокна – 12,0 % Влажность – 3,5 %	
Белковый концентрат	CO ₂ экстракция семян конопли	Протеин – 75,0 % Клетчатка – 6,0 % Углеводы – 12,0 % Влажность – 7,0 %	
Конопляное масло	Метод холодного отжима	Кислотное число – 0,6 мгКОН/г Перекисное число – 6,2 ммоль(1/2 O)/кг	
Семена конопли	Сорт Сурская	Протеин – 20,0 % Жир – 28,7 % Углеводы 40,5 % Влажность – 3,4 %	
Клетчатка	Произведена из лузги семян конопли	Протеин – 16,3 % Жир – 12,1 % Углеводы – 64,0 % Влажность – 2,9 %	

Примечание. *Данные предоставлены ООО «Макошь».

предоставлены ООО «Макошь». Семена конопли были получены из обособленного подразделения «Пензенский ИСХ» ФГБНУ ФНЦ ЛК.

Инструменты и процедура

Для приготовления лабораторных образцов пшеничную муку с разрыхлителем просеивали через сито, в смесь добавляли соль, сахар, конопляную добавку и перемешивали. Затем отдельно смешивали жидкие компоненты: молоко, воду, яйцо и подсолнечное масло. Для образца с конопляным маслом в составе жидких компонентов подсолнечное полностью заменяли на конопляное. Далее жидкую массу добавляли к сухим ингредиентам. Тесто вымешивали до однородной консистенции и разливали в смазанные маслом формы по 50 г. Выпекали при температуре 195 °С, продолжительностью 15 минут в электронной печи модель EKF 423 UP. Плотность мякиша и органолептические свойства определяли в соответствии с ГОСТ 15052–2014². Влажность мякиша определяли по ГОСТ 5900–2014³ в течение 4 суток хранения. Пищевая и энергетическая ценность, а также степень удовлетворения суточной потребности макронутриентов рассчитывали на основании сравнения химического состава маффинов с МР 2.3.1.0253–21⁴ «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации».

Анализ данных

Математический расчет данных проводили с использованием пакета программ анализа Excel 2016[®] с последующей графической интерпретацией.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Маффины являются популярными мучными кондитерскими изделиями, отличающимися простотой изготовления и относительно небольшим набором ингредиентов, что позволяет судить о влиянии введения новых компонентов на качество получаемых образцов. В работе были определены физико-химические и органолептические показатели полученных изделий. Также был произведен расчет пищевой ценности полученных образцов и степени удовлетворения суточной потребности в основных макронутриентах.

Физико-химические показатели лабораторных образцов

В Таблице 3 представлены результаты по определению плотности мякиша при внесении продуктов переработки семян конопли. Наибольший показатель по плотности был у образца с клетчаткой и конопляным маслом 0,58 и 0,56 г/см³ соответственно. В сравнении с контрольным образцом минимальной плотностью обладали маффины с измельченными семенами конопли и конопляной мукой — 0,41 г/см³ каждый.

На Рисунке 1 представлены данные упека маффинов. Чем больше теряет влаги выпекаемый образец, тем сильнее увеличивается упек. Как следует из представленных данных самым большим упеком обладали контрольные образцы с пшеничной мукой.

² ГОСТ 15052–2014. (2019). *Кексы. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

³ ГОСТ 5900–2014. (2019). *Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ*. М.: Стандартинформ.

⁴ МР 2.3.1.0253–21. (2021). *Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации*. https://www.rosпотреbnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=18979

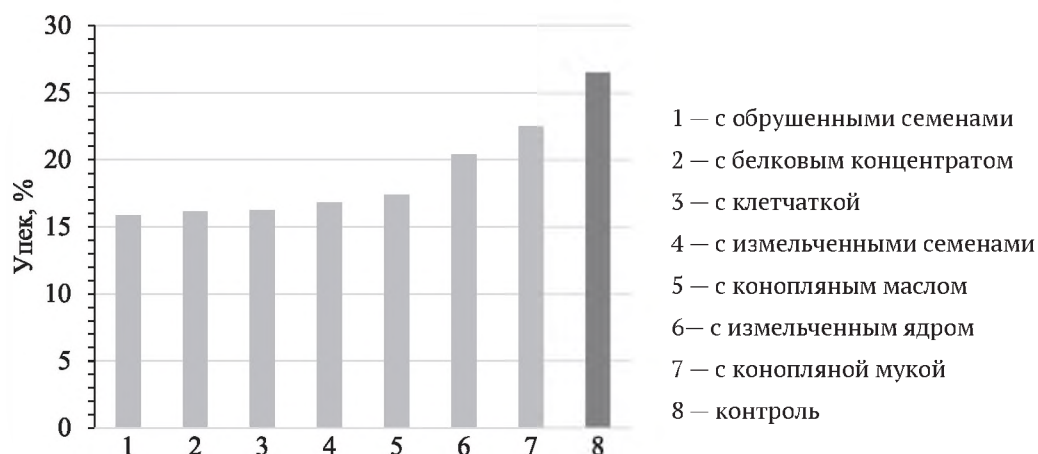


Рисунок 1
Влияние продуктов переработки семян конопли на упек маффинов

Таблица 3
Характеристика плотности мякиша

Характеристика	Контроль	С конопляной мукой	С измельченным ядром	С обрушенными семенами	С белковым концентратом	С измельченными семенами	С конопляным маслом	С клетчаткой
$\rho, \text{г/см}^3$	$0,43 \pm 0,02$	$0,41 \pm 0,02$	$0,48 \pm 0,02$	$0,50 \pm 0,03$	$0,49 \pm 0,02$	$0,41 \pm 0,02$	$0,56 \pm 0,03$	$0,58 \pm 0,03$

Добавление продуктов переработки из семян конопли способствовало удержанию влаги, так как белки и углеводы в виде полисахаридов и олигосахаридов конопляной муки обладают водоудерживающей способностью. Результаты по увеличению вязкостных свойств теста, обусловленных

водоудерживающей способностью сырья, также были отмечены в работе (Меренкова и др., 2020) при использовании конопляной муки в рецептуре по приготовлению кексов. В отличие от муки, приготовленной из фасоли, гречихи, зеленого горошка и пшеницы, конопляная мука обладает более высо-

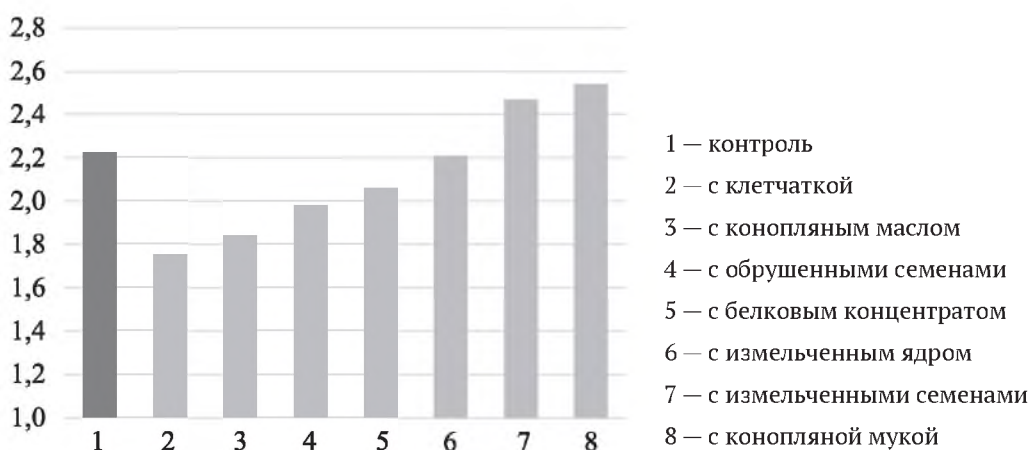


Рисунок 2
Удельный объем маффинов с добавлением продуктов переработки конопли

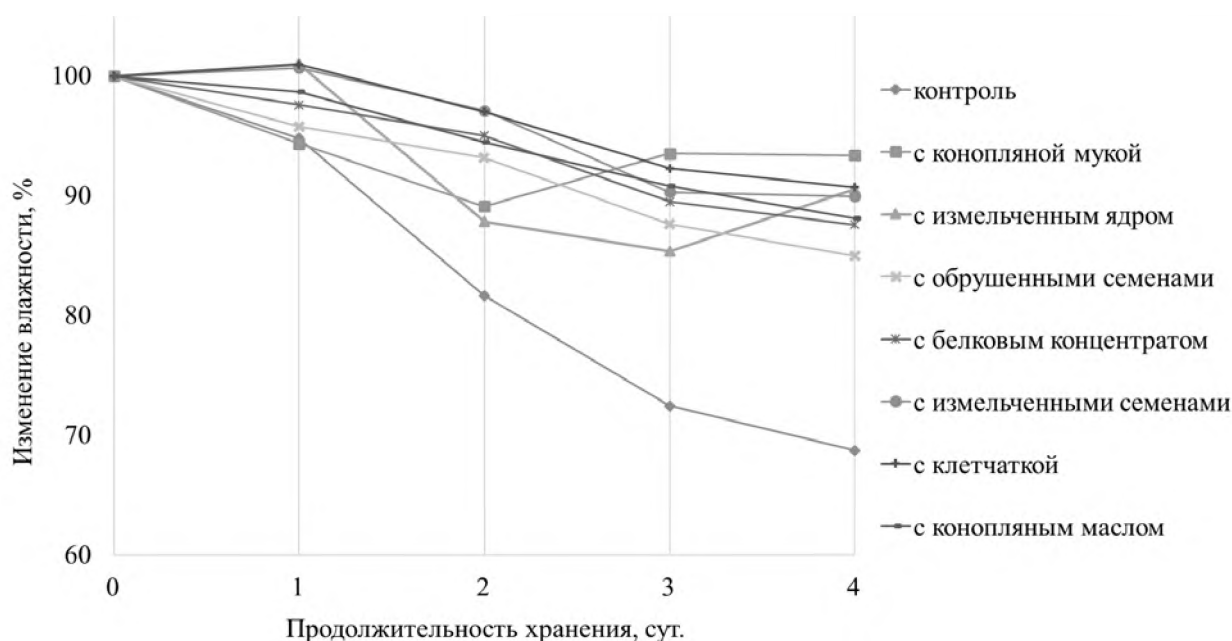


Рисунок 3

Динамика изменения влажности образцов в течение 4 дней хранения

кой водоудерживающей способностью из-за повышенного содержания белка и структуры белковых соединений (Malomo & Aluko, 2015; Wang & Xiong, 2019).

На Рисунке 2 представлены данные по удельному объему полученных образцов. Из всех используемых добавок в рецептуре маффинов измельченные семена конопли и конопляная мука увеличивали удельный объем готовых изделий. Возможно,

это связано с влиянием белково-углеводного комплекса этих конопляных продуктов.

Основным физическим изменением, влияющим на сроки хранения маффинов, является черствение мякиша вследствие ретроградации крахмала из-за потери влажности (Ефимов & Новицкий, 2019). В связи с этим, для готовых образцов проводили исследования влияния продуктов переработки семян конопли на изменение влажности

Таблица 4

Определяемые органолептические показатели для маффинов

Показатель	Описание	Балльная оценка
Поверхность	Верхняя – выпуклая, с характерным трещинами, с наличием явно выраженной боковой поверхностью	1,0–9,0
Форма	Правильная, с выпуклой верхней поверхностью. Нижняя и боковые поверхности без пустот и раковин	1,0–6,0
Структура мякиша	Мягкая, связанная, разрыхленная, пористая, без пустот и уплотнений	1,0–8,0
Вид в изломе	Пропеченное изделие без комочков, следов непромеса, с равномерной пористостью, без пустот и закала	1,0–8,0
Вкус	Предусмотренный по рецептуре пищевых ингредиентов, без посторонних вкусов	1,0–9,5
Аромат	Предусмотренный по рецептуре пищевых ингредиентов, без посторонних запахов	1,0–9,5
Комплексный показатель, Q		50,0

Таблица 5

Органолептические показатели маффинов

Наименование образца	Поверхность	Форма	Структура мякиша	Вид в изломе	Вкус	Аромат
Контроль	8,0	6,0	5,0	6,0	7,5	9,5
С конопляной мукой	9,0	6,0	5,5	8,0	5,5	9,5
С измельченным ядром	8,5	6,0	6,0	6,0	7,5	9,5
С обрушенными семенами	8,5	6,0	6,0	5,5	7,5	9,5
С белковым концентратом	9,0	6,0	5,0	5,0	7,5	9,5
С конопляным маслом	8,5	6,0	8,0	8,0	9,5	8,5
С измельченными семенами	9,0	6,0	7,0	7,0	7,0	9,5
С клетчаткой	9,0	6,0	7,0	7,0	9,5	8,5

при хранении. Готовые образцы хранили при температуре 20 °С и относительной влажности воздуха 61 %. Данные представлены на Рисунке 3.

По результатам исследования изменения влажности образцов установлено, что добавки предотвращали быструю потерю влаги маффинов.

Органолептическая оценка лабораторных образцов

Для оценки органолептических показателей была разработана панель дескрипторов в соответствии с ГОСТ 15052–2014⁵ представленная в Таблице 4.

Оценка органолептических показателей полученных образцов представлена в Таблице 5.

Внешний вид лабораторных образцов маффинов представлен на Рисунке 4.



Рисунок 4

Внешний вид готовых изделий:

А – с конопляным маслом; Б – с конопляной мукой

⁵ ГОСТ 15052–2014. (2019). *Кексы. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

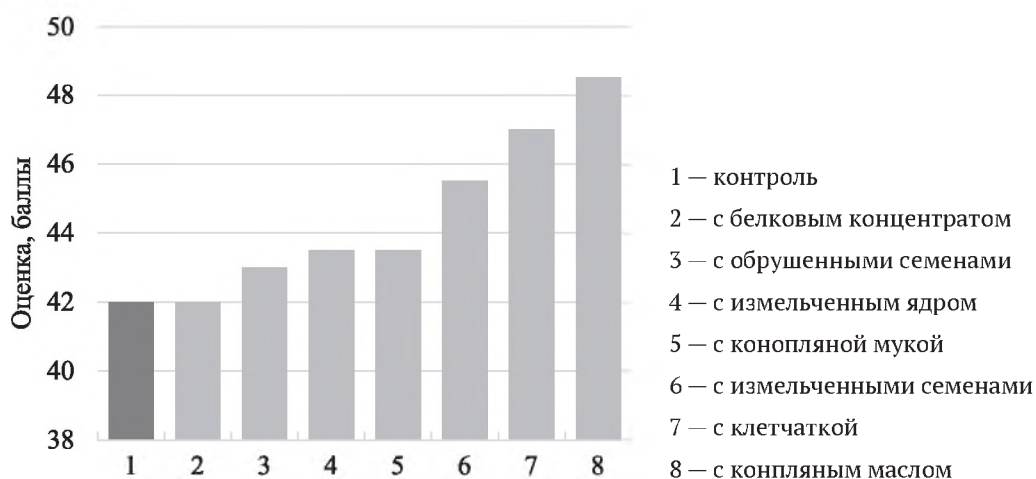


Рисунок 5
Комплексная оценка изделий

Было установлено, что внесение конопляных добавок способствовало тому, что поверхность изделий становилась более выпуклой, с характерными трещинами и наличием явно выраженной боковой поверхности. Добавки положительно влияли на вид в изломе, поперечное сечение стало содержать меньше комочков, отсутствовали следы непромеса и наблюдалась более равномерная пористость.

При оценке аромата и вкусовых качеств полученных изделий были выделены маффины с конопляным маслом и клетчаткой семян конопли. Изделия с маслом семян конопли имели нежный сладковатый ореховый вкус с ярко выраженным растительным ароматом. Маффины с клетчаткой семян конопли имели сдобный вкус и свойственный данным изделиям аромат. Также производилась оценка структуры мякиша. Маффины с конопля-

ным маслом обладали мягкой и пористой структурой без уплотнений и наличия больших пустот. Комплексный показатель лабораторных образцов представлен на Рисунке 5. В анализе комплексной оценки изделий было установлено, что маффин с конопляным маслом набрал большее количество баллов.

Пищевая ценность лабораторных образцов

Оценка пищевой ценности продуктов питания свидетельствует не только об уровне обеспечения физиологических потребностей человека в основных пищевых веществах (макронутриентах), но и возможности профилактического использования изделий для сохранения здоровья и предупреждения хронических заболеваний. Так по данным (Leonard

Таблица 6
Пищевая ценность маффинов

Образец	Белки, г	Жиры, в т. ч. ω -3, г	Углеводы, г	Энергетическая ценность, Ккал	
Контроль	4,0 ± 0,2	8,8 ± 0,4	0,1	31,9 ± 1,6	223
С конопляной мукой	4,7 ± 0,2	9,1 ± 0,5	0,8	30,9 ± 1,5	231
С измельченным ядром	4,6 ± 0,2	10,2 ± 0,5	0,8	31,7 ± 1,6	244
С белковым концентратом	5,1 ± 0,3	8,7 ± 0,4	0,04	31,0 ± 1,6	223
С конопляным маслом	3,9 ± 0,2	8,8 ± 0,4	1,5	32,3 ± 1,6	237
С измельченными семенами	4,5 ± 0,2	10,1 ± 0,5	0,8	31,6 ± 1,6	243
С клетчаткой	4,2 ± 0,2	9,2 ± 0,5	0,07	32,2 ± 1,6	229

Таблица 7

Оценка удовлетворения суточной потребности

Показатели в сутки	Средний суточный уровень*, г/100 г	Степень удовлетворения суточной потребности, %						
		контроль	с конопляной мукой	с измельченным ядром	с белковым концентратом	с конопляным маслом	с измельченными семенами	с клетчаткой конопли
Белки, г	84,8	4,7	5,5	5,5	6,0	4,6	5,4	4,9
Жиры, в т.ч.	89,0	9,9	10,2	11,5	9,8	9,9	11,3	10,4
ω -3, г	4,4	1,0	17,2	18,0	1,0	33,3	18,3	1,5
Углеводы, г	375,8	8,5	8,2	8,4	8,3	8,6	8,4	8,6
Энергетическая ценность, Ккал	2600	8	9	9	8	9	9	9

Примечание. Средние показатели согласно «Методическим рекомендациям МР 2.3.1.0253–21» для всех групп населения с различной физической активностью.

et al., 2020) пептиды, полученные из гидролизата белка семян конопли, потенциально способны оказывать гипотензивный эффект, обладать антиоксидантными свойствами, выступать в качестве средств профилактики при сердечно-сосудистых заболеваниях. Использование белкового концентрата из семян конопли в качестве добавки способствует повышению содержания протеина в изделиях и может снижать риск развития белково-энергетической недостаточности человека при употреблении данных изделий в пищу (Таблица 6).

Разработанные изделия относятся к пищевым продуктам со средней энергетической ценностью, так как у полученных образцов она варьировалась с 223 до 244 Ккал. Энергетическая ценность изделий с продуктами переработки семян конопли составляла 8–9 % от суточной калорийности.

Степень удовлетворения суточной потребности в основных макронутриентах

Использование продуктов переработки семян конопли значительно влияет на степень удовлетворения суточной потребности в ненасыщенных жирных кислотах ω -3, Таблица 7. В сравнении с контрольным изделием добавки, содержащие конопляное масло, обеспечивают потребность в 4–8 раз больше рекомендованного уровня ω -3. Добавка белкового концентрата увеличивает степень удовлетворения суточной потребности в белках на 35 % по сравнению с контрольным изделием.

ВЫВОДЫ

В последнее время стал намечаться тренд на использование нетрадиционного сырья в пищевой промышленности, что придает большие перспективы развитию темы данного исследования. Семена конопли и продукты их переработки являются источником микро- и макронутриентов, которые можно рекомендовать для использования в качестве функционального ингредиента при создании продуктов здорового питания.

В результате проведенных исследований по изучению эффективности использования продуктов переработки семян конопли для повышения пищевой ценности мучных кондитерских изделий установили, что вносимые добавки способствовали получению маффинов с высокими потребительскими свойствами. Введение в рецептуру маффинов различных продуктов переработки семян конопли способствовало улучшению органолептических и физико-химических показателей, предотвращало быстрое черствение изделий и обеспечивало удовлетворение суточной потребности в ω -3 ненасыщенных кислотах. Полученные изделия относятся к пищевым продуктам со средней энергетической ценностью.

Таким образом представляется перспективным продолжение исследований, направленных на изучение влияния данного сырья на пищевую ценность других мучных кондитерских изделий.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Миневич И. Э.: концептуализация; разработка методологии исследования; руководство исследованием; редактирование рукописи.

Гончарова А. А.: проведение исследования; создание и редактирование рукописи; визуализация.

Ущиповский В. И.: проведение исследования; подготовка черновика рукописи и редактирование рукописи; визуализация.

ЛИТЕРАТУРА

- Гореева, В. Н., Корепанова, Е. В., Фатыхов, И. Ш., Исламова, Ч. М., & Галиева, Г. Р. (2021). Качество семян лубяных и масличных культур. *Пермский аграрный вестник*, (4), 30–37. https://doi.org/10.47737/2307-2873_2021_36_30
- Ефимов, А. А., & Новицкий, Н. И. (2019). Влияние ягодного пюре в составе кексов на процесс их черствения. В *Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое: Материалы X Национальной (всероссийской) научно-практической конференции* (с. 168–172). Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный технический университет.
- Зверев, С. В. (2021). Обрушение семян конопли. В *Актуальные направления научных исследований: Технологии, качество и безопасность: сборник материалов II Национальной (Всероссийской) конференции ученых в рамках III международного симпозиума «Инновации в пищевой биотехнологии»* (с. 93–94). Кемерово: Кемеровский государственный университет.
- Меренкова, С. П., Потороко, И. Ю., Ильков, Д. В., & Матвеев, А. А. (2019). Обоснование технологии растительного молока на основе семян конопли технической и оценка его пищевой и биологической ценности. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Пищевые и биотехнологии*, 7(3), 41–51. <https://doi.org/10.14529/food190305>
- Меренкова, С. П., Потороко, И. Ю., & Чеканова, Е. В. (2020). Методологические подходы оценки потребительских свойств безглютеновых мучных кондитерских изделий. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания*, (2), 8–16. <https://doi.org/10.24411/2311-6447-2020-10037>
- Муравьева, Ю. С., & Черкасов, О. В. (2017). Использование кокосовой муки и семени льна при производстве маффинов повышенной пищевой ценности. *Образование и наука без границ: фундаментальные и прикладные исследования*, (6), 254–258.
- Прядко, О. М., & Тарасов, И. Ю. (2020). Маркетинговые тестирования виведення на ринок нових харчових продуктів (мафінів). *Бізнес Інформ*, (6), 372–378.
- Серков, В. А., Данилов, М. В., Белоусов, Р. О., Александрова, М. Р., & Давыдова, О. К. (2020). Жирнокислотный состав масла семян нового сорта конопли посевной Милена. *Международный сельскохозяйственный журнал*, (6), 101–103. <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-16126>
- Тарасова, В. В., Николаева, Ю. В., & Крылова, Л. А. (2021). Разработка рецептуры маффинов с увеличенным сроком хранения. *Пищевая промышленность*, (3), 12–18. <https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-3-0021>
- Широкова, Н. В., Морозова, Э. О., Мишенин, Д. К., & Маленко, И. Б. (2019). Использование семян конопли в хлебопечении. *Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия*, (26), 255–257.
- Bakowska-Barczak, A., de Larminat, M.-A., & Kolodziejczyk, P. P. (2020). 17 — The application of flax and hempseed in food, nutraceutical and personal care products. In (Eds. R. M. Ryszard, M. Mackiewicz-Talarczyk) *Handbook of Natural Fibres* (vol. 2, pp. 557–590). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818782-1.00017-1>
- Callaway, J. C. (2004). Hempseed as a nutritional resource: An overview. *International Journal of Plant Breeding*, (140), 65–72. <https://doi.org/10.1007/s10681-004-4811-6>
- Crescente, G., Piccolella, S., Esposito, A., Scognamiglio, M., Fiorentino, A., & Pacifico, S. (2018). Chemical composition and nutraceutical properties of hempseed: An ancient food with actual functional value. *Phytochemistry Reviews*, (17), 733–749. <https://doi.org/10.1007/s11101-018-9556-2>
- Dapčević Hadnađev, T., Hadnađev, M., Dizdar, M., & Lješković, N. J. (2020). Functional and bioactive properties of hemp proteins. In (Eds. G. Crini, E. Lichtfouse) *Sustainable agriculture reviews 42* (pp. 239–263). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41384-2_8
- Farinon, B., Molinari, R., Costantini, L., & Merendino, N. (2020). The Seed of Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.): Nutritional quality and potential functionality for human health and nutrition. *Nutrients*, 12(7), Article 1935. <https://doi.org/10.3390/nu12071935>
- Lan, Y., Zha, F., Peckrul, A., Hanson, B., Johnson, B. L., & Rao, J. (2019). Genotype x environmental effects on yielding ability and seed chemical composition of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) varieties grown in North Dakota, USA. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 96(12), 1417–1425. <https://doi.org/10.1002/aocs.12291>
- Leonard, W., Zhang, P., Ying, D., & Fang, Z. (2020). Hempseed in food industry: Nutritional value, health benefits, and industrial applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(1), 282–308. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12517>
- Malomo, S. A., & Aluko, R. E. (2015). A comparative study of the structural and functional properties of isolated hemp

- seed (*Cannabis sativa* L.) albumin and globulin fractions. *Food Hydrocoll.*, 43, 743–752. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.08.001>
- Modgil, R., Tanwar, B., Goyal, A., & Kumar, V. (2021). Soybean (Glycine max). In (Eds. B. Tanwar, A. Goyal) *Health Attributes and Food Applications* (pp. 1–46). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4194-0_1
- Montserrat-de la Paz, S., Marín-Aguilar, F., García-Giménez, M. D., & Fernández-Arche, M. A. (2014). Hemp (*Cannabis sativa* L.) Seed Oil: Analytical and phytochemical characterization of the unsaponifiable fraction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(5), 1105–1110. <https://doi.org/10.1021/jf404278q>
- Oseyko, M., Sova, N., Lutsenko, M., & Kalyna, V. (2019). Chemical aspects of the composition of industrial hemp seed products. *Ukrainian Food Journal*, 8(3), 544–559. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2019-8-3-11>
- Porto, C. D., Decorti, D., & Natolino, A. (2015). Potential oil yield, fatty acid composition, and oxidation stability of the hempseed oil from four *Cannabis sativa* L. Cultivars. *Journal of Dietary Supplements*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.3109/19390211.2014.887601>
- Santos-Sánchez, G., Álvarez-López, A., Ponce-España, E., Carrillo Vico, A., Bollati, C., Bartolomei, M., Lammi, C., & Cruz-Chamorro, I. (2022). Hempseed (*Cannabis sativa*) protein hydrolysates: A valuable source of bioactive peptides with pleiotropic health-promoting effects. *Trends in Food Science & Technology*, (127), 303–318. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.06.005>
- Siudem, P., Wawer, I., & Paradowska, K. (2019). Rapid evaluation of edible hemp oil quality using NMR and FT-IR spectroscopy. *Journal of Molecular Structure*, (1177), 204–208. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2018.09.057>
- Smeriglio, A., Galati, E. M., Monforte, M. T., Lanuzza, F., D'Angelo, V., & Circosta, C. (2016). Polyphenolic compounds and antioxidant activity of cold-pressed seed oil from finola cultivar of *cannabis sativa* L. *Phytotherapy Research*, 30(8), 1298–1307. <https://doi.org/10.1002/ptr.5623>
- Vonapartis, E., Aubin, M., Seguin, P., Mustafa, A., & Charron, J. (2015). Seed composition of ten industrial hemp cultivars approved for production in Canada. *Journal of Food Composition and Analysis*, 39, 8–12. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.11.004>
- Wang, Q., & Xiong, Y. L. (2019). Processing, nutrition, and functionality of hempseed protein: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 936–952. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12450>
- Ефимов, А. А., & Новитский, Н. И. (2019). Влияние ягодного пюре в составе кексов на процесс их черствения [The effect of berry puree in cupcakes on the process of their staling]. In *Prirodnye resursy, ikh sovremennoe sostoyaniye, okhrana, promyslovoe i tekhnicheskoe: Materialy X Natsional'noi (vserossiiskoi) nauchno-prakticheskoi konferentsii [Natural resources, their current state, protection, commercial and technical: Materials of the 10th National (All-Russian) Scientific and Practical Conference]* (pp. 168–172). Petropavlovsk-Kamchatskii: Kamchatskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet.
- Goreeva, V. N., Korepanova, E. V., Fatykhov, I. Sh., Islamova, Ch. M., & Galieva, G. R. (2021). Kachestvo semyan lubyanikh i maslichnykh kul'tur [Quality of seeds of bast and oilseeds]. *Permskii agrarnyi vestnik [Perm Agrarian Bulletin]*, (4), 30–37. https://doi.org/10.47737/2307-2873_2021_36_30
- Merenkova, S. P., Potoroko, I. Yu., & Chekanova, E. V. (2020). Metodologicheskie podkhody otsenki potrebitel'skikh svoistv bezglyutenovykh muchnykh konditerskikh izdelii [Methodological approaches for assessing the consumer properties of gluten-free flour confectionery products]. *Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK-produkty zdorovogo pitaniya [Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex-healthy food products]*, (2), 8–16. <https://doi.org/10.24411/2311-6447-2020-10037>
- Merenkova, S. P., Potoroko, I. Yu., Il'kov, D. V., & Matveev, A. A. (2019). Obosnovanie tekhnologii rastitel'nogo moloka na osnove semyan konopli tekhnicheskoi i otsenka ego pishchevoi i biologicheskoi tsennosti [Substantiation of the technology of vegetable milk based on hemp seeds technical and evaluation of its nutritional and biological value]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Pishchevye i biotekhnologii [Bulletin of the South Ural State University. Food and biotechnology]*, 7(3), 41–51. <https://doi.org/10.14529/food190305>
- Murav'eva, Yu. S., & Cherkasov, O. V. (2017). Ispol'zovanie kokosovoi muki i semeni l'na pri proizvodstve maffinov povyshennoi pishchevoi tsennosti [The use of coconut flour and flax seed in the production of muffins of increased nutritional value]. *Obrazovanie i nauka bez granits: fundamental'nye i prikladnye issledovaniya [Education and science without borders: fundamental and applied research]*, (6), 254–258.
- Pryadko, O. M., & Tarasov, I. Yu. (2020). Marketingove testuvannya vivedennya na rinoк novikh kharchovykh produktiv (mafiniv) [Marketing testing of launching new food products (muffins) to the market]. *Biznes Inform [Business Inform]*, (6), 372–378.
- Serkov, V. A., Danilov, M. V., Belousov, R. O., Aleksandrova, M. R., & Davydova, O. K. (2020). Zhirnokislotsnyi sostav masla semyan novogo sorta konopli posevnoi Milena [Fatty acid composition of seed oil of a new variety of hemp seed Milena]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal [International Agricultural Journal]*, (6), 101–103. <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-16126>
- Shirokova, N. V., Morozova, E. O., Mishenin, D. K., & Malenko, I. B. (2019). Ispol'zovanie semyan konopli v khlebopechenii [The use of hemp seeds in baking]. *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), 255–257.
- Tarasova, V. V., Nikolaeva, Yu. V., & Krylova, L. A. (2021). Razrabotka retseptury maffinov s uvelichenym srokom khraneniya [Development of a recipe for muffins with an extended shelf life]. *Pishchevaya promyshlennost' [Food industry]*, (3), 12–18. <https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-3-0021>
- Zverev, S. V. (2021). Obrushenie semyan konopli [Collapse of cannabis seeds]. In *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy: Tekhnologii, kachestvo i bezopasnost': sbornik materialov II Natsional'noi (Vserossiiskoi) konferentsii uchenykh v ramkakh III mezhdunarodnogo simpoziuma "Innovatsii v pishchevoi biotekhnologii"* [Current directions of scientific research: Technologies, quality and safety: collection of materials of the 2nd National (All-Russian) Conference of scientists within the framework of the 3rd International Symposium "Innovations in food Biotechnology"] (pp. 93–94). Kemerovo: Kemerovskii gosudarstvennyi universitet.
- Bakowska-Barczak, A., de Larminat, M.-A., & Kolodziejczyk, P. P. (2020). 17 – The application of flax and hempseed in food, nutraceutical and personal care products. In (Eds. R. M. Ryszard, M. Mackiewicz-Talarczyk) *Handbook of Natural Fibres* (vol. 2, pp. 557–590). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818782-1.00017-1>
- Callaway, J. C. (2004). Hempseed as a nutritional resource: An overview. *International Journal of Plant Breeding*, (140), 65–72. <https://doi.org/10.1007/s10681-004-4811-6>
- Crescente, G., Piccolella, S., Esposito, A., Scognamiglio, M., Fiorentino, A., & Pacifico, S. (2018). Chemical composition and nutraceutical properties of hempseed: An ancient food with actual functional value. *Phytochemistry Reviews*, (17), 733–749. <https://doi.org/10.1007/s11101-018-9556-2>
- Dapčević Hadnađev, T., Hadnađev, M., Dizdar, M., & Lješćević, N. J. (2020). Functional and bioactive properties of hemp proteins. In (Eds. G. Crini, E. Lichtfouse) *Sustainable agriculture reviews 42* (pp. 239–263). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41384-2_8
- Farinon, B., Molinari, R., Costantini, L., & Merendino, N. (2020). The Seed of Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.): Nutritional quality and potential functionality for human health and nutrition. *Nutrients*, 12(7), Article 1935. <https://doi.org/10.3390/nu12071935>
- Lan, Y., Zha, F., Peckrul, A., Hanson, B., Johnson, B. L., & Rao, J. (2019). Genotype x environmental effects on yielding ability and seed chemical composition of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) varieties grown in North Dakota, USA. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 96(12), 1417–1425. <https://doi.org/10.1002/aocs.12291>
- Leonard, W., Zhang, P., Ying, D., & Fang, Z. (2020). Hempseed in food industry: Nutritional value, health benefits, and industrial applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(1), 282–308. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12517>
- Malomo, S. A., & Aluko, R. E. (2015). A comparative study of the structural and functional properties of isolated hemp seed (*Cannabis sativa* L.) albumin and globulin fractions. *Food Hydrocoll*, 43, 743–752. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.08.001>
- Modgil, R., Tanwar, B., Goyal, A., & Kumar, V. (2021). Soybean (*Glycine max*). In (Eds. B. Tanwar, A. Goyal) *Health Attributes and Food Applications* (pp. 1–46). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4194-0_1
- Montserrat-de la Paz, S., Marín-Aguilar, F., García-Giménez, M. D., & Fernández-Arche, M. A. (2014). Hemp (*Cannabis sativa* L.) Seed Oil: Analytical and phytochemical characterization of the unsaponifiable fraction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(5), 1105–1110. <https://doi.org/10.1021/jf404278q>
- Oseyko, M., Sova, N., Lutsenko, M., & Kalyna, V. (2019). Chemical aspects of the composition of industrial hemp seed products. *Ukrainian Food Journal*, 8(3), 544–559. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2019-8-3-11>
- Porto, C. D., Decorti, D., & Natolino, A. (2015). Potential oil yield, fatty acid composition, and oxidation stability of the hempseed oil from four *Cannabis sativa* L. Cultivars. *Journal of Dietary Supplements*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.3109/19390211.2014.887601>
- Santos-Sánchez, G., Álvarez-López, A., Ponce-España, E., Carrillo Vico, A., Bollati, C., Bartolomei, M., Lammi, C., & Cruz-Chamorro, I. (2022). Hempseed (*Cannabis sativa*) protein hydrolysates: A valuable source of bioactive peptides with pleiotropic health-promoting effects. *Trends in Food Science & Technology*, (127), 303–318. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.06.005>
- Siudem, P., Wawer, I., & Paradowska, K. (2019). Rapid evaluation of edible hemp oil quality using NMR and FT-IR spectroscopy. *Journal of Molecular Structure*, (1177), 204–208. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2018.09.057>
- Smeriglio, A., Galati, E. M., Monforte, M. T., Lanuzza, F., D'Angelo, V., & Circosta, C. (2016). Polyphenolic compounds and antioxidant activity of cold-pressed seed oil from finola cultivar of cannabis sativa L. *Phytotherapy Research*, 30(8), 1298–1307. <https://doi.org/10.1002/ptr.5623>
- Vonapartis, E., Aubin, M., Seguin, P., Mustafa, A., & Charron, J. (2015). Seed composition of ten industrial hemp cultivars approved for production in Canada. *Journal of Food Composition and Analysis*, 39, 8–12. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.11.004>
- Wang, Q., & Xiong, Y. L. (2019). Processing, nutrition, and functionality of hempseed protein: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 936–952. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12450>

УДК 637.352:637.33:636.39.034:
613.287.6

Мягкий сыр на основе козьего молока для специализированного питания

¹ Алтайский государственный
технический университет
им. И.И. Ползунова

² Омский государственный аграрный
университет им. П.А. Столыпина

³ Московский государственный
университет пищевых производств

Е. М. Щетинина¹, Н. Б. Гаврилова², Н. Л. Чернопольская²,
М. П. Щетинин³

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Чернопольская Наталья Леонидовна
Адрес: 644008, г. Омск,
ул. Институтская площадь, 1
E-mail: n.l.chernopolskaya@omgau.org

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

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Щетинина, Е. М., Гаврилова, Н. Б.,
Чернопольская, Н. Л., & Щетинин, М. П.
(2022). Мягкий сыр на основе козьего
молока для специализированного
питания. *Хранение и переработка сель-
хозсырья*, (3). [https://doi.org/10.36107/
spfp.2021.360](https://doi.org/10.36107/spfp.2021.360)

ПОСТУПИЛА: 31.08.2022

ПРИНЯТА: 15.09.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время здоровый образ жизни становится общемировым трендом, который обусловлен комплексом социальных и экологических факторов, имеющих определённые особенности в каждой стране. При этом 70 % населения в мире и 67 % в России активно следят за своим рационом питания. Особенно популярными и востребованными являются продукты здорового питания, в их числе функциональные, специализированные на молочной основе.

Цель. Описать разработку биотехнологии мягкого сыра на основе козьего молока для специализированного питания.

Материалы и методы. Для определения химических, микробиологических, органолептических показателей и показателей безопасности использовались стандартные методы согласно методикам и нормативам. Исследование активности молокосвёртывающих препаратов проводили относительно отраслевого контрольного образца в ФГБНУ СИБНИИС г. Барнаула в лаборатории биохимии. Для оценки органолептических показателей опытного сыра в процессе экспериментальных исследований использовалась новая шкала, предложенная ВНИИМС.

Результаты. Приведены результаты научного обоснования и экспериментальной разработки рецептурного состава и биотехнологических параметров производства мягкого сыра на основе козьего молока с добавлением функциональных и специальных компонентов: концентрата сывороточного белка «Simplex® – 100»; витаминно-минеральный комплекс с антиоксидантами «Селмевит»; трёхкомпонентный животно-растительный препарат «Рекодепан».

Выводы. Мягкий козий сыр, рекомендуется для использования при организации здорового питания лиц, занимающихся физическими упражнениями, фитнесом, любительским или профессиональным спортом, а так же для населения, ведущего здоровый образ жизни.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

козье молоко, мягкий козий сыр, функциональные ингредиенты, специализированный пищевой продукт, специальные компоненты, физико-химические показатели, пищевая ценность

Soft Cheese Based on Goat's Milk for Specialized Nutrition

¹ Polzunov Altai State Technical University

² Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

³ Moscow State University of Food Production

Elena M. Shchetinina¹, Natalya B. Gavrilova²,
Natalya L. Chernopolskaya², Mikhail P. Shchetinin³

ABSTRACT

Introduction. Currently, a healthy lifestyle is becoming a global trend, which is due to a complex of social and environmental factors that have certain characteristics in each country. At the same time, 70% of the world's population and 67% in Russia actively monitor their diet. Particularly popular and in demand are healthy food products, including functional, specialized milk-based products.

Purpose. Describe the development of soft cheese biotechnology based on goat's milk for specialized nutrition.

Materials and Methods. To determine the chemical, microbiological, organoleptic and safety indicators, standard methods were used in accordance with the procedures and standards. The study of the activity of milk-clotting preparations was carried out relative to the industry control sample at the Federal State Budgetary Scientific Institution SIBNIIS, Barnaul, in the laboratory of biochemistry. To assess the organoleptic characteristics of experimental cheese in the process of experimental studies, a new scale proposed by VNIIMS was used.

Results. The results of scientific substantiation and experimental development of the recipe composition and biotechnological parameters for the production of soft cheese based on goat's milk with the addition of functional and special components are presented: whey protein concentrate "Simplex®-100"; vitamin-mineral complex with antioxidants "Selmevit"; three-component animal-vegetable preparation "Recodepan".

Conclusions. Soft goat cheese, recommended for use in organizing a healthy diet for people involved in physical exercise, fitness, amateur or professional sports, as well as for the population leading a healthy lifestyle.

KEYWORDS

goat milk, soft goat cheese, functional ingredients, specialized food product, special components, physical and chemical parameters, nutritional value

CORRESPONDENCE:

Natalya L. Chernopolskaya

Address: 644008, г. Омск,

ул. Институтская площадь, 1

E-mail: n.l.chernopolskaya@omgau.org

FOR CITATIONS:

Shchetinina, E. M., Gavrilova, N. B., Chernopolskaya, N. L., & Shchetinin, M. P. (2022). Soft cheese based on goat's milk for specialized (sports) nutrition. *Storage and Processing of Farm Products*, (3). <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.360>

RECEIVED: 31.08.2022

ACCEPTED: 15.09.2022

PUBLISHED: 30.09.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в России, так же как и в странах Европейского союза, Канады, Австралии, Королевства Норвегии и многих других зарубежных стран наблюдается перспективный тренд поддержание здорового образа жизни. Необходимо отметить, что это понятие комплексное, в которое входят регулярные занятия физическими упражнениями, или любительским, профессиональным спортом, а также здоровое питание. В связи с чем, как в России, так и в странах Западной Европы активно развивается процесс научного обоснования и практического создания принципиально нового поколения продуктов здорового питания на молочной основе, обогащенных функциональными ингредиентами. Их основными характеристиками является: сбалансированный состав, пониженное содержание жира, легкоусвояемых углеводов, высокое содержание белка, а также пробиотические свойства. При этом благодаря современным биотехнологическим приемам в комплексе с традиционными методами пищевой технологии можно создавать уникальные по своему составу и свойствам ферментированные молочные и молокосодержащие продукты с контролируемым химическим составом, заданными физиолого-биохимическими свойствами, предназначенные для специализированного питания (Gavrilova et al., 2019; Гаврилова и соавт., 2017).

Важной составляющей композиционного состава специализированных пищевых продуктов является научно-обоснованный выбор биологически активных компонентов, оказывающих регулирующее воздействие на восстановление после субэкстремальных нагрузок спортсменов, а так же ускоряющие адаптацию его организма к нагрузкам. Данный процесс основывается на Европейском законодательстве, которое можно разделить на три основные составляющие:

- законодательство в отношении безопасности пищевой продукции, которое распространяется на такие области, как гигиена пищевой продукции, применение пищевых добавок, материалов, контактирующих с пищевой про-

дукцией, новых видов пищевой продукции, а также на системы контроля. Большинство этих законов имеет горизонтальный характер, это означает, что требования устанавливаются для широкой номенклатуры продукции и процессов производства;

- законы, относящиеся к информации для потребителей, которая, в основном, представляется на этикетке;
- законы, устанавливающие требования к качеству пищевой продукции, включающие в себя «вертикальные» директивы, то есть директивы в отношении отдельных видов пищевой продукции, например молочной, масложировой, для специального питания (Костылева и соавт., 2012; Кочеткова и соавт., 2018).

Для питания спортсменов, так же как и для детского, диетического, диабетического питания необходимо использовать регламент ЕС № 953/2009 «О веществах, которые могут добавляться для специальных целей в пищевые продукты специального диетического назначения» дополняет директиву 2009/39/ЕС. Согласно данному регламенту и Директиве 2001/15/ЕС к веществам, разрешенным для использования при производстве данной группы пищевых продуктов, относятся: витамины, минеральные вещества, аминокислоты, карнитин, таурин, нуклеотиды, холин и инозит^{1,2}.

Наибольшее внимание исследователей сконцентрировано на следующих аспектах производства продуктов спортивного питания: (1) регулирование химического состава продуктов, предназначенных для питания спортсменов. Valenta & Dorofeev (2018) отмечают, что специализированные продукты должны содержать такие микроэлементы, как витамины, минералы и биологически активные вещества; (2) разработка новых групп пищевых продуктов для индивидуализации спортивного питания в различные периоды тренировочного макроцикла. D. Sekulic и соавт. (2019) обсуждая вопрос значимости питания в деятельности спортсменов утверждают, что правильная организация питания способствует поддержанию физического статуса во время интенсивных тренировок

¹ Commission Regulation (EC) 536/2013. (2013). *Establish list of permitted health claims made on other than those referring to the reduction of disease risk and to children's development and health*. <https://lexparency.org/eu/32013R0536/>

² Commission Regulation № 432/2012. (2012). *Establish a list of permitted health claims made on foods, other than those referring to the reduction of disease risk and to children's development and health*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0432>

канадских спортсменов. Определено, что 88,4 % канадских спортсменов часто используют в питании биологически активные добавки (DSU), витамин С, белок, поливитамины и минералы; у европейских спортсменов отмечена более низкая распространенность DSU от 70 % до 80 %. Анализ проведен на основе профессиональных командно-спортивных игроков из Юго-Восточной Европы во время соревновательного сезона. Chappell et al. (2019), обсуждая стратегию питания британских профессионалов и любителей бодибилдеров во время подготовки их к соревнованию по бодибилдингу, отмечает, что важно добиться эстетики, например, размера мышц, пропорций, внешнего вида. Во время соревновательного периода, в дополнение к обычной диете, профессионалы употребляют продукты с высоким содержанием белка и калорий, больше углеводов и меньше жиров для наращивания и сохранения мышечной массы. Trakman et al. (2019) в 2015–2017 годах принимали участие в разработке системы питания, включающей анкеты знаний NSQK и ANSQK, которые вызвали большой интерес у специалистов. Ученые перевели анкету NSQK на немецкий, итальянский, шведский, турецкий, китайский и малайский языки. С момента разработки анкет NSQK и ANSQK Международное общество спортивного питания опубликовало новые рекомендации по белку и Всемирное антидопинговое агентство (ВАДА) изменили положение о законности глицерина. Так же изменения коснулись продуктов с низким содержанием жира — творога, сыра «чеддер» и другие рекомендации, касающиеся различных элементов питания. Grubic et al. (2019) провели исследование по влиянию употребления продуктов, содержащих сывороточные белки, растительные волокна, изомальтоолигосахариды (IMO) на гликемический (GI) индекс во время интенсивных тренировок группы спортсменов, состоящих из 12 человек. Участники выполняли 11 упражнений, после чего сдавали кровь на анализ для оценки катаболических и воспалительных маркеров. Результаты пилотного исследования свидетельствуют о том, что прием FB может положительно повлиять на уровень глюкозы. При этом гомеостаз помогает поддерживать эффективность результатов во время тренировок и уменьшает восприятие мышечной боли; (3) создание функциональных продуктов на молочной основе для питания спортсменов разных квалификаций. Jang et al. (2019) принимали участие в обсервационном исследовании влияния спорта и спортивной диеты

на кишечную микробиоту, цель которого укрепление здоровья, лечение заболеваний и их профилактика. Причиной исследований стали рекомендации для спортсменов по снижению употребления пищевых волокон и крахмалов, чтобы уменьшить желудочно-кишечные расстройства во время тренировок. Предметом исследований стали культуристы и бегуны на длинные дистанции, а в качестве контроля использовались здоровые «сидячие» мужчины. В процессе исследований было установлено, что состояние кишечной микробиоты в значительной степени связано с рационом питания спортсменов (культуристы с высоким содержанием белка, жира; низким содержанием углеводов и клетчатки; бегуны на длинные дистанции — низкоуглеводная и низкокалорийная диета). В результате пришли к заключению, что высокобелковые и низкоуглеводные диеты могут оказывать негативное влияние на разнообразие кишечной микробиоты атлетов. Alcantara и соавт. (2019) провели аналитическое исследование на основании поиска литературы в базах данных MEDLINE через PubMed и Web of Science по вопросу, как оказывает влияние употребление спортсменами молока и молочных продуктов на их физическую подготовку, восстановление мышечной функции и выносливость. Объектом исследований было коровье молоко. Многочисленными данными, полученными учеными разных стран подтверждено, что правильное питание является ключевым фактором в оптимизации тренировочных циклов (например, положительным стимулом для синтеза белка в скелетных мышцах) и восстановлении мышечных функций. При этом необходим строгий контроль потребления количества, вида пищи и сроков её принятия; и др.

Есть все основания для того, чтобы рассматривать молоко и молочные продукты с точки зрения специализированного, в том числе спортивного питания. В настоящее время рынок молочных продуктов специального назначения для питания спортсменов не насыщен. Необходимы разработка и внедрение в практику отечественных специализированных продуктов различной ориентации: высокобелковых, высоко-углеводных, углеводно-минеральных и др. Эти продукты должны отвечать не только вкусу спортсменов, но и современным медико-биологическим требованиям: регулировать массу тела спортсменов, повышать работоспособность во время соревнований, при усиленных тренировках и пр. (Азизбекян и соавт., 2009).

Проблема увеличения объёмов производства высококачественных и биологически полноценных белковых продуктов питания, в числе которых сыры и сырные продукты для специализированного (спортивного) питания, в настоящее время особенно актуальна.

Цель исследования — разработка биотехнологии мягкого сыра на основе козьего молока для специализированного питания. В основу экспериментальных исследований положена рабочая гипотеза, направленная на организацию здорового питания населения России в рамках решения приоритетных задач государственной политики РФ по увеличению объёма и расширению ассортимента важных категорий пищевых продуктов, обогащённых функциональными и специализированными ингредиентами, и предполагающая проведение исследований по изучению состава и свойств нетрадиционных для действующей в Российской Федерации молочной промышленности, но получившей развитие в зарубежных странах, козьего молока. Определение его технологических характеристик и закономерностей формирования заданных качественных показателей и безопасности новых продуктов на его основе, в частности козых сыров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование козьего молока и козых мягких сыров проводилось в лаборатории ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» (г. Москва).

Объект исследования

Молоко козье сырое по ГОСТ 32940–2014³. Новым российским трендом является увлечение козьим молоком и продуктами его переработки (Рыбалова, 2019). Необходимо отметить, что развитие динамики интереса к потреблению козьего молока, как в Европейских странах, так и в Российской Федерации определяется следующими факторами⁴: белки и жиры козьего молока вследствие особенностей

строения молекул этих веществ, легко усваиваются в организме человека; козье молоко обладает гипоаллергенными и биологическими свойствами, поскольку в нем содержатся альбумины и полиненасыщенные мелкодисперсные жиры. Когда организму нужны силы, но много пищи принимать нельзя, козье молоко как раз и способно дать и калории, и питательные вещества в оптимальной пропорции. Легкоусвояемый кальций, незаменимый микроэлемент, необходимый для обеспечения нормальной жизнедеятельности организма. В нем нуждается как раз организм спортсмена, которому приходится преодолевать повышенные физические нагрузки.

Ключевой особенностью жирового состава козьего молока является сравнительно малый размер жировых глобул. Вследствие чего, жир козьего молока представлен в виде тонкой жировой эмульсии, не образующей, в отличие от жира коровьего молока, плёнки и агрегаты (Lopez-Calleja et al., 2005). Небольшие размеры жировых глобул создают в целом большую поверхность, доступную для воздействия панкреатической липазы, что в конечном итоге обеспечивает более высокую усвояемость жира козьего молока по сравнению с коровьим (Симоненко, 2018). В козьем молоке значительно выше содержание коротко- и среднецепочечных жирных кислот ($C_{6:0}$ — $C_{14:0}$) — капроновой, каприловой, каприновой, лауриновой и миристиновой, которые, как известно, всасываются в кишечнике непосредственно в венозную сеть, минуя лимфатическую, не требуют участия панкреатической липазы и желчных кислот, что в значительной степени облегчает усвоение козьего жира по сравнению с коровьим. Кроме того, коротко- и среднецепочечные триглицериды, являясь энергетическим субстратом для энтероцитов, улучшают транспорт нутриентов через клеточную мембрану и способствуют восстановлению повреждённых клеток слизистой кишечника (Kehoe et al., 2008).

Функциональные ингредиенты: (1) концентрат лиофилизированных молочно-кислых бактерий и би-

3 ГОСТ 32940–2014. (2015). *Молоко козье сырое. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

4 Вобликова, Т. В. Научно-практические аспекты использования козьего и овечьего молока в производстве сыров и цельномолочных продуктов с иммобилизованными культурами бифидобактерий : автореферат диссертации доктора технических наук : 05.18.04 / Вобликова Татьяна Владимировна. — Кемерово, 2020. — 42 с.

фидобактерий БК — Алтай — ЛС Бифи; (2) ферментный препарат «Kalase — 150».

Специальные компоненты: (1) витаминно-минеральный препарат «Селмевит» по действующей нормативной документации ОАО «Фармстандарт-УфаВИТА»; (2) натуральный трёхкомпонентный препарат «Рекодепан» в соответствии с ТУ 9197–042-13148879–15; (3) концентрат сывороточных белков Simplesse®-100 по действующей нормативной документации.

Оборудование и инструменты

Для определения химических, микробиологических, органолептических показателей и показателей безопасности использовались стандартные методы: отбор и подготовка проб к анализу по ГОСТ 26809.1–2014⁵; массовая доля жира по ГОСТ Р ИСО 2446–2011⁶; массовая доля белка по ГОСТ 25179–2014⁷; титруемая кислотность ГОСТ Р 54669–2011⁸; активная кислотность ГОСТ 32892–2014⁹; определение молочнокислых микроорганизмов ГОСТ 33951–2016¹⁰; количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов ГОСТ 32901–2014¹¹; массовую долю общего количества белка определяли методом Кьельдаля по ГОСТ 23327–98¹². Органолептические показатели готовых продуктов проводили по методике указанной в ГОСТ 28283–89¹³. Исследование активности молокосвёртывающих препаратов проводили относительно отраслевого контрольного образца в ФГБНУ СИБНИИС г. Барнаула в лаборатории биохимии. Для оценки органолептических показателей опытного сыра в процессе экспериментальных исследований использовалась новая шкала, предложенная ВНИИМС; и современные приборы: при анализе состава

молока использовался газовый хроматограф «Кристалл 5000.1», капиллярная колонка INNOWAX-55 м; хроматограф жидкостной WATERS HPLS № 2695, колонка Symmetry® C 18,5 мкм, 150,0×3,9 мм; для определения вязкости — консистомер POLYVISC® FV; белок — на элементном анализаторе rapid N cube.

Процедура исследования

На первом этапе экспериментальных исследований осуществлен выбор молочной основы, изучены физико-химические, органолептические, качественные показатели, показатели безопасности и технологические свойства молока коз зааненской породы Алтайского края, определен вид функциональных ингредиентов. Второй этап посвящен исследованию технологического потенциала выбранных компонентов для производства сыра. На третьем этапе определены биотехнологические аспекты производства мягкого козьего сыра, основные технологические параметры, изучены его качественные показатели, пищевая, энергетическая и биологическая ценность.

Анализ данных

Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований проводилась с применением компьютерной программы Statistica 6.14. с помощью инструмента иерархической группировки, позволяющей осуществлять категоризацию данных по многим переменным и строить различные категоризованные графики, описательные статистики и корреляционные матрицы для подгрупп данных.

⁵ ГОСТ 26809.1–2014. (2019). *Молоко и молочная продукция. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу. Часть 1. Молоко, молочные, молочные составные и молокосодержащие продукты*. М.: Стандартинформ.

⁶ ГОСТ Р ИСО 2446–2011. (2012). *Молоко. Метод определения содержания жира*. М.: Стандартинформ.

⁷ ГОСТ 25179–2014. (2019). *Молоко и молочные продукты. Методы определения массовой доли белка*. М.: Стандартинформ.

⁸ ГОСТ Р 54669–2011. (2019). *Молоко и продукты переработки молока. Методы определения кислотности*. М.: Стандартинформ.

⁹ ГОСТ 32892–2014. (2015). *Молоко и молочная продукция. Метод измерения активной кислотности*. М.: Стандартинформ.

¹⁰ ГОСТ 33951–2016. (2016). *Молоко и молочная продукция. Методы определения молочнокислых микроорганизмов*. М.: Стандартинформ.

¹¹ ГОСТ 32901–2014. (2015). *Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа*. М.: Стандартинформ.

¹² ГОСТ 23327–98. (2009). *Молоко и молочные продукты. Метод измерения массовой доли общего азота по Кьельдалю и определение массовой доли белка*. М.: Стандартинформ.

¹³ ГОСТ 28283–2015. (2015). *Молоко коровье. Метод органолептической оценки вкуса и запаха*. М.: Стандартинформ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выбор молочной основы, определение вида функциональных ингредиентов для производства мягкого сыра для специализированного питания

В качестве молочной основы для производства сыра изучено молоко зааненских коз Алтайского края. Среднестатистические данные физико-химических показателей козьего молока представлены в Таблице 1.

Результаты определения физико-химических показателей козьего молока свидетельствуют о том, что выбранное сырье соответствует требованиям ГОСТ 32940–2014 «Молоко козье сырое. Технические условия» и ТР ТС «О безопасности молока и молочной продукции» (ТР ТС 033/2013)¹⁴.

Таблица 1

Физико-химические показатели козьего молока

Наименование показателя	Значения
Массовая доля жира, %	4,30 ± 0,05
Массовая доля влаги, %	87,74 ± 0,04
Массовая доля сухих веществ, %	12,26 ± 0,11
Массовая доля общего белка, % в том числе	2,94 ± 0,03
Содержание сывороточных белков, %	0,77 ± 0,01
Содержание казеиновых белков, %	1,86 ± 0,01
Содержание общего азота, %	0,461 ± 0,01
Содержание небелкового азота, %	0,0490 ± 0,002
Массовая доля истинного белка, %	2,63 ± 0,02
Содержание мочевины, мг%	57,90 ± 0,03
Массовая доля лактозы, %	4,35 ± 0,05
Кислотность, °Т	19,30 ± 0,04
Плотность, кг/м	1027,00 ± 0,50

В процессе экспериментальных выработок, которые проводились в опытно-производственном цехе Международного колледжа сыроделия (г. Барнаул) были определены вид и количество функциональных ингредиентов — концентрат лиофи-

лизированных культур молочнокислых бактерий и бифидобактерий БК — Алтай — ЛС Бифи, состоящий из *Lactobacillus acidophilus*, *Lactococcus lactis* subs. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subs. *diacetylactis*, *Streptococcus thermophiles*, *Bifidobacterium bifidum* или *Bifidobacterium longum* и ферментный препарат для реализации процесса кислотно-сычужного свёртывания козьего молока и повышения пробиотических свойств нового продукта. Для повышения пищевой и биологической ценности в нормализованную смесь на основе козьего молока добавляется два специальных компонента.

Исследованию технологического потенциала функциональных ингредиентов

Состав витаминно-минерального комплекса с антиоксидантами «Селмевит», который содержит 11 витаминов и 9 минералов, представлен в Таблице 2.

Натуральный трехкомпонентный препарат, изготовленный на основе экстрактов природных энергетиков животного и растительного происхождения «Рекодепан», который рекомендуется в качестве средства повышающего скоростно-силовые качества спортсменов, ускоряющего восстановление сил после интенсивных тренировок. Характеристика представлена в Таблице 3.

Изучение биотехнологических аспектов производства мягкого козьего сыра для специализированного питания

Мягкий сыр производят следующим образом: козье молоко подогревают до 40–45 °С, бактофигируют, вносят: концентрат сывороточного белка, полученного путём микропартикуляции, в виде натуральной пищевой добавки Simplex®-100, предварительно растворённой в 4 частях обезжиренного коровьего молока при перемешивании в течение 20±5 минут при температуре 35±5 °С, жидкий «Рекодепан» в количестве 5 % и витаминно-минеральный комплекс с антиоксидантами «Селмевит» в количестве 0,5 % к массе молока. Выдерживают смесь козьего молока и внесенных компонентов для их полного растворения и набухания белка в течение 1 часа, при перемешивании. Па-

¹⁴ ТР ТС 033/2013. (2022). О безопасности молока и молочной продукции. <https://docs.cntd.ru/document/499050562>

Таблица 2

Состав витаминно-минерального комплекса с антиоксидантами «Селмевит»

Наименование	Количество, мг
Витамин А (ретинола ацетат)	0,568
Витамин Е, (α -токоферола ацетат)	7,50
Витамин В ₁ (тиамина гидрохлорид)	0,581
Витамин В ₂ (рибофлавин)	1,00
Витамин В ₆ (пиридоксина гидрохлорид)	2,50
Витамин С (аскорбиновая кислота)	35,00
Никотинамид	4,00
Фолиевая кислота	0,05
Рутин (рутозид)	12,50
Кальция пантотенат	2,50
Витамин В ₁₂ (цианокобаламин)	0,003
Тиоктовая кислота (липоевая кислота)	1,00
Метионин	100,00
Фосфор (в виде кальция гидрофосфата дигидрата и в виде магния гидрофосфата тригидрата)	30,00
Железо (в виде железа сульфата гептагидрата)	2,50
Марганец (в виде марганца сульфата пентагидрата)	1,25
Медь (в виде меди сульфата пентагидрата)	0,40
Цинк (в виде цинка сульфата гептагидрата)	2,00
Магний (в виде магния гидрофосфата тригидрата и в виде магния карбоната)	40,00
Кальций (в виде кальция гидрофосфата дигидрата)	25,00
Кобальт (в виде кобальта сульфата гептагидрата)	0,05
Селен (в виде натрия селенита)	0,025

стерилизуют при температуре 82 ± 2 °С без выдержки, охлаждают до температуры свёртывания 30–35 °С, вносят при постоянном перемешивании концентрат лиофилизированных молочнокислых бактерий и бифидобактерий БК-Алтай-ЛСБиФи состоящего из *Lactobacillus acidophilus*, *Lactococcus lactis subsp. cremoris*, *Lactococcus lactis subsp. diacetylactis*, *Streptococcus thermophilus*, *Bifidobacterium bifidum* или *Bifidobacterium longum*) в количестве 1,5 % от массы перерабатываемой смеси. Добавляют 0,1 % хлорида кальция в виде раствора 40 %-ной концентрации и сычужный фермент из расчета 1 г на 1000 кг

Таблица 3

Состав и свойства препарата «Рекодепан»

Состав	Свойства
Экстракт из пантов северного оленя	Обладает комплексным эффектом воздействия на организм человека, содержит целый комплекс биоактивных веществ (пептиды, липиды, углеводы, нуклеотиды, гормоны роста, глюкозиды, минеральные вещества и витамины). Это ценный источник незаменимых аминокислот, которые человек получает только с пищей
Левзея маралий корень	Содержит множество полезных компонентов (эфирное масло, витамин С, алкалоиды, каротин, инулин и т.п.). Левзея в спорте известна в первую очередь как растение, содержащее экидистерон. Именно по этой причине корень левзеи традиционно входит в состав специализированного питания для спортсменов, за счет потребления которого усиливается распад белков, ускоряется восстановление клеток мышечных тканей
Родиола розовая или золотой корень	Это растение имеет уникальный химический состав дубильных веществ, эфирного масла высокого качества, органических кислот, сахаров, белков, жиров, стеаринов, флавоноидов. Традиционно считается, что родиола розовая нормализует обменные процессы, способствует регуляции энергообмена в мышцах; препараты из этого растения обладают выраженным стимулирующим свойством, и так же как левзея в спорте, значительно увеличивают физические возможности и положительно влияют на психику и моральное состояние

смеси (кислотно-сычужное свертывание). Продолжительность свёртывания 34–36 мин. Проводят разрезание сгустка на кубики с размером граней 20 мм при постоянном перемешивании в течение 30–40 минут до достижения кислотности 5,25 ед. рН, удаление сыворотки. В сырное зерно вносят поваренную соль в количестве 1,0–1,5 % от массы сырного зерна при перемешивании. Сырную массу формуруют в групповых перфорированных формах. Самопрессование составляет 3–4 часа, затем обсушка 1–2 часа. Полученные головки мягкого сыра, весом по 195 ± 5 г, охлаждают и упаковывают

под вакуумом или в инертной среде в двухслойную полиэтиленовую плёнку.

В Таблице 4 приведены органолептические показатели мягкого сыра, полученного по вышеизложенному способу производства.

Таблица 4

Органолептические показатели мягкого козьего сыра

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид	Сыр не имеет корки. Поверхность ровная, увлажненная, без ослизнения.
Консистенция	Однородная, пластичная
Вкус и запах	Выраженные сырные, допускается лёгкий привкус козьего молока
Цвет	Равномерный по всей массе от белого до кремового

Анализ данных, представленных в таблице 4, свидетельствует о высоких органолептических показателях нового вида мягкого козьего сыра.

В Таблице 5 приведены химические и микробиологические показатели мягкого козьего сыра.

Таблица 5

Химические и микробиологические показатели мягкого козьего сыра

Наименование показателя	Значение
Массовая доля жира, в сухом веществе сыра, %	45,0 ± 1,0
Массовая доля влаги, %	60,0 ± 1,0
Массовая доля белка, %	15,0 ± 0,5
Активная кислотность, ед. рН	5,8
Пробиотические микроорганизмы, в том числе <i>Lactobacillus acidophilus</i> , КОЕ/г, не менее	5 · 10 ⁸
Бифидобактерий КОЕ/г, не менее	1 · 10 ⁷

Данные Таблицы 5 показывают, что мягкий козий сыр, производимый по данной технологии, обладает пробиотическими свойствами, в соответствии с ГОСТ Р 52349–2005¹⁵ (с изм.).

Биологическая ценность пищевых продуктов характеризуется качественным и количественным состоянием белков, в данном продукте — белков козьего молока, которые по составу и свойствам отличаются от протеинов коровьего молока, вызывающих гиперсенситизацию организма при его употреблении. Наоборот, отсутствие повышенной чувствительности к белкам козьего молока приводит к снятию негативных симптомов аллергических реакций, вызванных коровьим молоком, так как козье молоко является гипоаллергенным. Результаты исследований аминокислотного состава белков козьего сыра приведены в Таблице 6.

Таблица 6

Аминокислотный состав белков нового вида мягкого козьего сыра для специализированного (спортивного) питания

Наименование аминокислоты	Массовая доля аминокислоты, мг/100 г	Отклонения, (±)
Незаменимые, в том числе:	9,280	—
валин	1,350	0,54
лейцин+изолейцин	3,700	0,71
лизин	1,460	0,49
метионин	0,590	0,20
треонин	1,020	0,41
триптофан	0,200	0,006
фенилаланин	6,960	0,29
Заменимые, в том числе:	8,360	—
аланин	0,49	0,13
аргинин	0,61	0,24
аспарагиновая кислота	1,26	0,05
гистидин	0,54	0,27
глицин	0,70	0,24
глутаминовая кислота	2,99	0,60
пролин	0,64	0,60
серин	1,11	0,29
тирозин	0,66	0,26
цистеин	0,17	0,09
Всего	17,640	—

В результате жизнедеятельности заквасочных культур, участвующих в процесс производства мягкого козьего обогащённого сыра, накапливаются все аминокислоты, но в большей степени такие

¹⁵ ГОСТ Р 52349–2005. (2008). *Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения*. М.: Стандартинформ.

аминокислоты, как валин, лизин, изолейцин, лейцин, глутаминовая кислота, серин. Общее количество аминокислот, определённых в мягком сыре соответствует количеству белков. Лимитирующие аминокислоты отсутствуют, что свидетельствует о высокой биологической ценности.

Мягкий козий сыр также содержит все основные витамины и минеральные вещества, необходимые для удовлетворения в них суточной потребности спортсменов.

Энергетическая ценность мягкого козьего сыра определена расчётным путём и приведена в Таблице 7.

Таблица 7

Энергетическая ценность нового вида мягкого козьего сыра

Наименование	Жир	Белки	Энергетическая ценность	
			ккал	кДж
Мягкий сыр для специализированного (спортивного) питания	17,8 ± 0,5	18,0 ± 0,5	241,2	1008,2

Новому виду продукта для питания спортсменов присвоено торговое название «Спортивный». Его порционная фасовка по 195±5 г в выстланные пергаментом коробочки или термоусадочную плёнку позволяет спортсменам употреблять мягкий сыр в удобное для них время суток, в связи, с чем происходит удовлетворение их организма в энергии, затраченной во время тренировочного и соревновательного периода.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате комплексных экспериментальных и аналитических исследований изучены физико-химические показатели молока коз зааненской породы Алтайского края, которые соответствуют нормативным требованиям ГОСТ 32940–2014¹⁶. Исследование химического состава и свойств козьего молока позволили получить результаты

по коррекции его сыропригодности, что позволило предложить использовать определённые технологические параметры и функциональные ингредиенты. Основная цель корректировки химического состава козьего молока — увеличение в нем фракций казеина и, соответственно, количества СОМО. Следует отметить, что к особо значимым факторам получения козьего сыра высокого качества и обеспечения экономических показателей его производства относятся: использование заквасочных культур определённого вида и качества; вид и доза ферментных препаратов для получения качественных сгустков; правильный подбор высококачественных ингредиентов, в том числе CaCl₂; определение конкретных технологических параметров производства козьих сыров. Немаловажным являться тот факт, что в производстве сыров для образования их специфических свойств определённую роль играет состав заквасок (Буянова, 2005). Многочисленными исследованиями российских и зарубежных учёных установлено, что для эффективности производства сыра важно так же в каком состоянии находятся микроорганизмы, включённые в состав заквасок (Корткая, 2017). Скотт и соавт. (2005) утверждают, что заквасочные бактерии используют, прежде всего, для преобразования лактозы в молочную кислоту, которая понижает pH системы и создаёт условия, необходимые для множества реакций, имеющих место в сыроделии. Во-вторых, что не менее важно, ферменты живых или погибших заквасочных бактерий разрушают некоторые компоненты молока и выделяют предшественников веществ, обуславливающих вкус и аромат продукта. Использование при производстве мягкого сыра для специализированного питания концентрата лиофилизированных молочнокислых бактерий и бифидобактерий БК — Алтай — ЛС Бифи способствует повышению пробиотических свойств продукта и получению качественного сгустка. В результате жизнедеятельности заквасочных культур, накапливаются все аминокислоты, но в большей степени валин, лизин, изолейцин, лейцин, глутаминовая кислота, серин. Общее количество аминокислот, определённых в мягком сыре, соответствует количеству белков. Лимитирующие аминокислоты отсутствуют, что свидетельствует о его высокой биологической ценности. При разработке основных технологических параметров производства

¹⁶ ГОСТ 32940–2014. (2019). *Молоко козье сырое. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

мягкого козьего сыра была сформулирована рабочая гипотеза, комплексного характера. Для повышения эффективности производства козьего сыра необходимо сочетать коррекцию его химического состава, а также экспериментальный выбор температурно-временных параметров производства. Согласно гипотезе, для коррекции химического состава в состав продукта введены витаминно-минеральный комплекс с антиоксидантами «Селмевит» и натуральный трехкомпонентный препарат, изготовленный на основе экстрактов природных энергетиков животного и растительного происхождения «Рекодепан» позволяющие обогатить продукт незаменимыми макро- микро-элементами, антиоксидантами, способствующие стимуляции и тонизированию организма, восстановлению после сверхэкстремальных нагрузок и спортивных травм. С целью максимального сохранения количество витаминно-минеральных веществ выбраны щадящие биотехнологические параметры производства мягкого козьего сыра, что важно при создании продуктов для специализированного питания.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в ходе проведенных исследований разработан компонентный состав мягкого сыра на основе козьего молока, рекомендуемого для специализированного питания и определены биотехнологические параметры производства. Изучены его химические и микробиологические показатели, определены биологическая и энергетическая ценность. Новизна технического решения производства мягкого козьего сыра отражена в патенте 2735423 РФ «Способ производства мягкого сыра».

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Щетинина Е. М.: создание черновика рукописи; создание рукописи и её редактирование.

Гаврилова Н. Б.: создание черновика рукописи; визуализация.

Чернобыльская Н. Л.: создание черновика рукописи; создание рукописи и её редактирование; формальный анализ.

Щетинин М. П.: концептуализация; методология; руководство исследованием.

ЛИТЕРАТУРА

- Азизбеян, Г. А. Мустафина, О. К., Лешик, Я. Д., Поздняков, А. Л., & Никитюк, Д. Б. (2009). Теоретические предпосылки к разработке индивидуального питания спортсменов. *Вопросы питания*, 78(2), 73–76.
- Буянова, И. В. (2005) *Физико-химические особенности технологий низкотемпературного хранения сыров: Монография*. Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности.
- Гаврилова, Н. Б., Щетинин, М. П., & Чернопольская, Н. Л. (2017) Научно-экспериментальное обоснование рецептуры специализированного продукта для питания спортсменов, обогащённого пробиотическими микроорганизмами. *Вопросы питания*, 86(5), 22–28. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00072>
- Короткая, Е. В. (2012). *Исследование генетической стабильности молочнокислых микроорганизмов при замораживании и низкотемпературном хранении* [Докторская диссертация, Кемеровский технологический институт пищевой промышленности]. Кемерово, Россия.
- Костылева, О. Ф., Аронов, И. З., & Ковальчук, О. В. (2012). Обзор системы обеспечения безопасности пищевых продуктов в ЕС. *Стандарты и качество*, (9), 24–27.
- Кочеткова, А. А., Воробьева, В. М., Воробьева, И. С., Глазкова, И. В., Саркисян, В. А., & Зорина, Е. Е. (2018). Мониторинг международных, межгосударственных и национальных документов в сфере технического регулирования качества и безопасности специализированных пищевых продуктов. *Пищевая промышленность*, (2), 50–53.
- Рыбалова, Т. И. (2019). Тренды и особенности потребительского поведения на молочном Рынке. *Сыроделие и маслоделие*, (5), 25–28.
- Симоненко, С. В., Фелик, С. В., Симоненко, Е. С., Антипова, Т. А. (2018). Козье молоко как сырьё для детского питания. *Переработка молока*, (12), 32–34.
- Скотт, Р., Робинсон, К., Уилби, Р. А. (2005). *Производство сыра: Научные основы и технологии*. СПб.: Профессия.
- Alcantara, J. M. A., Sanchez-Delgad, G., Martinez-Tellez, B., Labayen, I., & Ruiz, J. R. (2019). Impact of cow's milk intake on exercise performance and recovery of muscle function: a systematic review. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), Article 22. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0288-5>

- Chappell, A., Simper, T., & Helms, E. (2019). Nutritional strategies of British professional and amateur natural bodybuilders during competition preparation. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), Article 35. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0302-y>
- Gavrilova, N., Chernopolskaya, N., & Konovalov, S. (2019). Substantiated screening of functional ingredients for extended shelf life of fermented milk products. In *The fifth technological order: Prospects for the development and modernization of the Russian agro-industrial sector* (p. 9–12). <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200113.128>
- Grubic, T. J., Sowinski, R. J., Nevares, B. E., Jenkins, V. M., Williamson, S. L., Reyes, A. G., Rasmussen, C., Greenwood, M., Murano, P. S., Earnest, C. P., & Kreider, R. B. (2019). Comparison of ingesting a food bar containing whey protein and iso-maltooligosaccharides to carbohydrate on performance and recovery from an acute bout of resistance-exercise and sprint conditioning: An open label, randomized, counterbalanced, crossover pilot study. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), Article 34. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0301-z>
- Jang, L.-G., Choi, G., Kim, S.-W., Kim, B.-Y., Lee, S., Park, H. (2019). The combination of sport and sport-specific diet is associated with characteristics of gut microbiota: an observational study. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), Article 21. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0290-y>
- Kehoe, J. J., Remondetto, G. E., Subirade, M., Morris, E. R., & Brodtkorb, A. (2008). Tryptophan-mediated denaturation of beta-lactoglobulin A by UV irradiation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(12), 4720–4725. <https://doi.org/10.1021/jf0733158>
- Lopez-Calleja, I., Gonzalez, I., Fajardo, V. Martín, I., Hernández, P. E., García, T., & Martín, R. (2005). Application of polymerase chain reaction to detect adulteration of sheep's milk with goats. *Journal of Dairy Science*, 88(9), 3115–3120. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72993-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72993-3)
- Sekulic, D., Tahiraj, E., Maric, D., Olujic, D., Bianco, A., & Zaletel, P. (2019). What drives athletes toward dietary supplement use: objective knowledge or self-perceived competence? Cross-sectional analysis of professional team-sport players from Southeastern Europe during the competitive season. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), Article 25. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0292-9>
- Trakman, G. L., Brown, F., Forsyth, A., & Belski, R. (2019). Modifications to the nutrition for sport knowledge questionnaire (NSQK) and abridged nutrition for sport knowledge questionnaire (ANSKQ). *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), Article 26. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0293-8>
- Valenta, R., & Dorofeeva, Y. (2018). Sport nutrition: the role of macronutrients and minerals in endurance exercises. *Foods and Raw Materials*, 6(2), 403–412. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-403-412>

REFERENCES

- Azizbekyan, G. A. Mustafina, O. K., Leshik, Ya. D., Pozdnyakov, A. L., & Nikityuk, D. B. (2009). Teoreticheskie predposylki k razrabotke individual'nogo pitaniya sportsmenov [Theoretical prerequisites for the development of individual nutrition of athletes]. *Voprosy pitaniya [Nutrition Issues]*, 78(2), 73–76.
- Buyanova, I. V. (2005) *Fiziko-khimicheskie osobennosti tekhnologii nizkoterperaturnogo khraneniya syrov: Monografiya [Physico-chemical features of low-temperature cheese storage technology: Monograph]*. Kemerovo: Kemerovskii tekhnologicheskii institut pishchevoi promyshlennosti.
- Gavrilova, N. B., Shchetinin, M. P., & Chernopol'skaya, N. L. (2017) Nauchno-eksperimental'noe obosnovanie retseptury spetsializirovannogo produkta dlya pitaniya sportsmenov, obogashchennogo probioticheskimi mikroorganizmami [Scientific and experimental substantiation of the formulation of a specialized product for athletes' nutrition enriched with probiotic microorganisms]. *Voprosy pitaniya [Nutrition Issues]*, 86(5), 22–28. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00072>
- Kochetkova, A. A., Vorob'eva, V. M., Vorob'eva, I. S., Glazkova, I. V., Sarkisyan, V. A., & Zorina, E. E. (2018). Monitoring mezhdunarodnykh, mezhsudarstvennykh i natsional'nykh dokumentov v sfere tekhnicheskogo regulirovaniya kachestva i bezopasnosti spetsializirovannykh pishchevykh produktov [Monitoring of international, interstate and national documents in the field of technical regulation of quality and safety of specialized food products]. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*, (2), 50–53.
- Korotkaya, E. V. (2012). *Issledovanie geneticheskoi stabil'nosti molochnokislykh mikroorganizmov pri zamorazhivanii i nizkoterperaturnom khranении [Investigation of the genetic stability of lactic acid microorganisms during freezing and low-temperature storage]* [Doctoral Dissertation, Kemerovskii tekhnologicheskii institut pishchevoi promyshlennosti]. Kemerovo, Russia.
- Kostyleva, O. F., Aronov, I. Z., & Koval'chuk, O. V. (2012). Obzor sistemy obespecheniya bezopasnosti pishchevykh produktov v ES [Overview of the food safety system in the EU]. *Standarty i kachestvo [Standards and Quality]*, (9), 24–27.
- Rybalova, T. I. (2019). Trendy i osobennosti potrebitel'skogo povedeniya na molochnom Rynke [Trends and features of consumer behavior in the dairy market]. *Syrodelie i maslodelie [Cheese Making and Butter Making]*, (5), 25–28.
- Simonenko, S. V., Felik, S. V., Simonenko, E. S., Antipova, T. A. (2018). Koz'e moloko kak syr'e dlya detskogo pitaniya [Goat's milk as a raw material for baby food]. *Pererabotka moloka [Milk Processing]*, (12), 32–34.

- Skott, R., Robinson, K. & Uilbi, R. A. (2005). *Proizvodstvo syra: Nauchnye osnovy i tekhnologii* [Cheese production: Scientific foundations and technologies]. S-Petersburg: Professiya.
- Alcantara, J. M. A., Sanchez-Delgad, G., Martinez-Tellez, B., Labayen, I., & Ruiz, J. R. (2019). Impact of cow's milk intake on exercise performance and recovery of muscle function: a systematic review. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), Article 22. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0288-5>
- Chappell, A., Simper, T., & Helms, E. (2019). Nutritional strategies of British professional and amateur natural bodybuilders during competition preparation. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), Article 35. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0302-y>
- Gavrilova, N., Chernopolskaya, N., & Konovalov, S. (2019). Substantiated screening of functional ingredients for extended shelf life of fermented milk products. In *The fifth technological order: Prospects for the development and modernization of the russian agro-industrial sector* (p. 9–12). <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200113.128>
- Grubic, T. J., Sowinski, R. J., Nevares, B. E., Jenkins, V. M., Williamson, S. L., Reyes, A. G., Rasmussen, C., Greenwood, M., Murano, P. S., Earnest, C. P., & Kreider, R. B. (2019). Comparison of ingesting a food bar containing whey protein and iso-maltooligosaccharides to carbohydrate on performance and recovery from an acute bout of resistance-exercise and sprint conditioning: An open label, randomized, counterbalanced, crossover pilot study. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), Article 34. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0301-z>
- Jang, L.-G., Choi, G., Kim, S.-W., Kim, B.-Y., Lee, S. & Park, H. (2019). The combination of sport and sport-specific diet is associated with characteristics of gut microbiota: an observational study. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), Article 21. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0290-y>
- Kehoe, J. J., Remondetto, G. E., Subirade, M., Morris, E. R., & Brodtkorb, A. (2008). Tryptophan-mediated denaturation of beta-lactoglobulin A by UV irradiation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(12), 4720–4725. <https://doi.org/10.1021/jf0733158>
- Lopez-Calleja, I., Gonzalez, I., Fajardo, V. Martín, I., Hernández, P. E., García, T., & Martín, R. (2005). Application of polymerase chain reaction to detect adulteration of sheep's milk with goats. *Journal of Dairy Science*, 88(9), 3115–3120. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72993-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72993-3)
- Sekulic, D., Tahiraj, E., Maric, D., Olujic, D., Bianco, A., & Zaletel, P. (2019). What drives athletes toward dietary supplement use: objective knowledge or self-perceived competence? Cross-sectional analysis of professional team-sport players from Southeastern Europe during the competitive season. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), Article 25. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0292-9>
- Trakman, G. L., Brown, F., Forsyth, A., & Belski, R. (2019). Modifications to the nutrition for sport knowledge questionnaire (NSQK) and abridged nutrition for sport knowledge questionnaire (ANSKQ). *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), Article 26. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0293-8>
- Valenta, R., & Dorofeeva, Y. (2018). Sport nutrition: the role of macronutrients and minerals in endurance exercises. *Foods and Raw Materials*, 6(2), 403–412. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-403-412>

УДК 664.8

Возможность применения хвои пихты (*Abies sibirica*) в технологии получения овощного соуса из плодов тыквы (*Cucurbita moschata* Duch.)

Сибирский федеральный научный
центр агробиотехнологий
Российской академии наук

К. Н. Нициевская, Е. В. Бородай, С. В. Станкевич

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Елена Валерьевна Бородай
Адрес: 630501, Новосибирская обл.
р.п. Краснообск, а/я 463
E-mail: borodajelena@yandex.ru

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

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Нициевская, К. Н., Бородай, Е. В., &
Станкевич, С. В. (2022). Возможность
применения хвои пихты (*Abies sibirica*)
в технологии получения овощного
соуса из плодов тыквы (*Cucurbita*
moschata Duch.). *Хранение и переработ-*
ка сельхозсырья, (3).
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.292>

ПОСТУПИЛА: 10.03.2022

ПРИНЯТА: 15.05.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. Овощной соус является характерным представителем жидкой приправы к основному блюду или гарниру. Оптимально подобранный состав компонентов соуса и использование хвои пихты дает возможность максимально расширить ассортимент вегетарианских плодовоовощных приправных соусов, раскрывающих их перспективность как дополнительного источника биологически активных веществ.

Цель. Оценка возможностей применения хвои пихты и разработка рецептуры овощного соуса из плодового сырья на основе тыквы с использованием хвои пихты. В работе использовали плоды тыквы (*Cucurbita moschata* Duch.) сорт «Витаминная» и хвою пихты сибирской (*Abies sibirica*).

Материалы и методы. Приведена описательная характеристика органолептических показателей овощного соуса. В экспериментальных исследованиях использовали методы исследований органолептических, физико-химических показателей растительной продукции (плодов тыквы, хвои пихты, овощного соуса). Исследовали возможность внесения хвои пихты в плодовое пюре на основе тыквы. В качестве контрольного образца использовали плодовое пюре без использования хвои пихтовой.

Результаты. Установлено, что введение хвои пихтовой в основу из растительного сырья в сушенном виде изменял органолептические характеристики образцов, вкусоароматический букет имел хвойное послевкусие и изменение насыщенности цветочных характеристик в зависимости от количества внесенного наполнителя. В опытные образцы внесли 0,17%, 0,33% и 0,50% хвои пихты от массы плодового пюре из тыквы. В результате проведенного исследования доказана актуальность создания продукции с использованием хвои пихты в моделировании пищевых систем на растительной основе. При этом использование хвои в рецептуре влияло на органолептические и физико-химические свойства (дубильные вещества, экстрактивные вещества, тяжелые металлы, флавоноиды и др.). Увеличение процентного внесения хвои с 0,17% до 0,50% приводило к возникновению насыщенного желто-зеленого цвета, тыквенного терпко-кислого вкуса и запаха с хвойным послевкусием. В связи с этим, рациональная доза внесения порошка определена в количестве 0,17 и 0,33 % от массы плодового пюре тыквы. Внесение хвои способствует увеличению содержания в соусе сухих веществ, жира, дубильных веществ, экстрактивных веществ, флавоноидов.

Выводы. Считаем, что данное направление исследований является актуальным с целью создания комбинированных пищевых систем в виде соусов на растительной основе, а именно к получению овощных соусов, в частности в общественном питании при создании соусов к мясным, рыбным и вторым блюдам, а также для использования в кондитерской промышленности, как полуфабриката для производства пастильных кондитерских изделий, использования его в качестве красящего элемента при создании оригинального художественного оформления.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

хвоя пихты, плоды тыквы, плодовое пюре, овощной соус

The possibility of fir's needles (*Abies sibirica*) application in the pumpkin-based (*Cucurbita moschata* Duch.) vegetable sauce production technology

Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences (SFSCA RAS)

Ksenia N. Nitsievskaya, Elena V. Borodai, Svetlana V. Stankevich

CORRESPONDENCE:

Elena V. Borodai

630501, Novosybirsk region,
r.p. Krasnoobsk, a/ya 463
E-mail: borodajelena@yandex.ru

FOR CITATIONS:

Nitsievskaya, K. N., Borodai, E. V., & Stankevich, S. V. (2022). Fir The possibility of fir's needles (*Abies sibirica*) application in the pumpkin-based (*Cucurbita moschata* Duch.) vegetable sauce production technology. *Storage and Processing of Farm Products*, (3). <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.292>

RECEIVED: 10.03.2022

ACCEPTED: 15.05.2022

PUBLISHED: 30.09.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background. Vegetable sauce is a characteristic representative of a liquid seasoning for a main course or side dish. The optimally selected composition of the sauce components and the use of fir tree greens make it possible to expand the range of vegetarian fruit and vegetable seasoning sauces to the maximum.

Purpose. Evaluation of the possibilities of using fir tree greens in the production of vegetable sauce from fruit raw materials based on pumpkin and developing a technology for its use. The fruits of pumpkin (*Cucurbita*) variety "Vitaminaya" and woody greens of Siberian fir (*Abies sibirica*) were used in the work.

Materials and methods. A tasting assessment of organoleptic characteristics was carried out. In experimental studies, methods for studying organoleptic, physico-chemical indicators of plant products were used. We studied the possibility of adding fir (needles) tree greens to pumpkin-based fruit puree. Fruit puree without fir needles was used as a control sample.

Results. It has been established that the introduction of fir needles into the base of vegetable raw materials in dried form changes the organoleptic characteristics of the samples, the flavor bouquet had a coniferous aftertaste and a change in the saturation of color characteristics depending on the amount of filler added. In the prototypes, 0.17 %, 0.33 % and 0.50% of fir tree greens were added from the mass of pumpkin fruit puree. As a result of the study, the relevance of creating products using fir (needles) tree greenery in modeling plant-based food systems has been proved. At the same time, the use of needles in the formulation affected the organoleptic and physico-chemical properties (tannins, extractives, heavy metals, flavonoids, etc.). An increase in the percentage of needles from 0.17 % to 0.50 % led to the appearance of a rich yellow-green color, pumpkin tart-sour taste and smell with a coniferous aftertaste. In this regard, the rational dose of powder application is determined in the amount of 0.17 and 0.33 % by weight of pumpkin fruit puree. The introduction of needles contributes to an increase in the content of solids, fat, tannins, extractives, flavonoids in the sauce.

Conclusion. We believe that this line of research is relevant for the purpose of creating combined food systems in the form of plant-based sauces..

KEYWORDS

fir tree greens, needles, pumpkin fruits, fruit puree

ВВЕДЕНИЕ

Создание комбинированных пищевых систем в виде соусов на растительной основе является актуальным в настоящее время, так как способствует формированию здорового образа жизни, правильному питанию, качеству потребления и увеличению ассортимента продукции на рынке. Повышается информативность и грамотность потребителей в отношении полезных продуктов питания. Таким продуктом, являющимся хорошим источником жизненно важных процессов, протекающих в организме человека, является тыква (Нициевская, 2021). Соусы являются частью ежедневного рациона современного человека, поэтому разработка новых рецептов является важным направлением в пищевой промышленности.

Актуальность использования хвои подтверждена содержанием биологически активных веществ, однако ее применение ограничено особенностями специфического вкуса и аромата. Проведенные исследования в данной работе направлены на разработку рецептуры соусов с учетом особенностей химического состава используемых ингредиентов (пюре тыквенного и хвои пихты).

Тыква и ее полезные свойства

Тыква (*Cucurbita*) относится к роду травянистых растений семейства тыквенных (*Cucurbitaceae*) и является широко выращиваемым овощем во всем мире.

В мире производится 26 522 472 тонн тыквы в год. В настоящее время по производству тыквы Рос-

сийская Федерация занимает 3 место после Китая и Индии (Таблица 1).

Существуют различия в форме плодов тыквы, средний вес плодов колеблется от 8 до 10 кг, иногда до 20 кг. Цвет мякоти варьируется от бледно-желтого до малинового, и толщина мякоти часто варьируется в широких пределах. Формирование цвета объясняется наличием оранжевых каротиноидных пигментов, включающих соединения бета-криптоксантина, альфа и бета каротина, являющиеся соединениями провитамина А. Съедобная доля тыквы отдельных сортов составляет до 85 % (Seshadri, 1989; Wills, 1987). Плоды тыквы богаты каротиноидами, витаминами, минералами и пищевыми волокнами. Содержание β -каротина в плодах тыквы варьируется от 1,6 до 45,6 мг/100 г и от 2,8 до 3,4 мг/100 г (Djutin, 1991; Danilchenko, 2000).

Тыква является ценным источником функциональных компонентов, главным образом каротиноидов, лютеина, зеаксантина, витамина Е, аскорбиновой кислоты, фитостеролов, селена, которые действуют как антиоксиданты в питании человека. Свежая тыква содержит 92,2 % влаги, 0,15 % жира, 0,98 % белка, 0,76 % золы, 0,56 % сырой клетчатки и 5,3 % углеводов (Dhiman, 2007). Мякоть тыквы богата Na, K, Fe, Mn, P и пектином, но с низким содержанием белков (Egbekun, 1998).

Органически выращенные плоды тыквы накапливают большее количество β -каротина (0,4 мг/100 г) и витамина Е (0,5 мг/100 г) по сравнению с традиционно выращиваемыми фруктами, в которых задокументировано более высокое содержание пищевых волокон (2,1 %) и аскорбиновой кислоты (5,2 мг/100 г) (Danilchenko, 2003). Мякоть тыквы

Таблица 1

Производство тыквы в разных странах

Страна	Производство, тонн	Площадь, га	Урожайность, кг/га
Китай	7 838 809	425 230	18 434,3
Индия	5 073 678	528 753	9 595,6
Россия	1 224 711	57 012	21 481,6
Украина	1 209 810	58 600	20 645,2
США	1 005 150	41 640	24 139
Германия	130 053	5 095	25 525,6

Примечание. Из «Лучшие страны-производители тыквы», 2021 (<https://www.atlasbig.com/ru/страны-по-производству-тыквы>). В открытом доступе.

богата клетчаткой, витамином С, витамином Е, Mg, К и различными каротиноидами, которые являются важными источниками этих удивительных фитонутриентов.

Мякоть плодов является успокаивающим, смягчающим и охлаждающим средством (Kirtikar, 1975). Зарубежные авторы (Gwanama, 2002; Jiawei, 2003) проанализировали экстракты из зрелых плодов 15 сортов на предмет их содержания β-каротина и его возможное использование в борьбе с заболеваниями глаз, а также перспективы выведения сортов с высоким содержанием каротина. Тыкву также использовали против сахарного диабета, поскольку считается, что она обладает гипогликемическими свойствами.

Тыква одна из важных овощных культур, где незрелые и зрелые плоды, нежные листья и цветы используются в той или иной форме (Choudhury, 1967). Свежие зеленые листья используются для приготовления салатов из маниоки, каши изодорожника и похлебки из ямса (Badifu, 1995). Тыква входит в рацион питания почти в каждой стране мира благодаря своему хорошему вкусу. Она употребляется в различном виде, как в свежем или приготовленном, а также замороженном или консервированном (Figueredo, 2000; Терёхина, 2019). Тыква должна иметь твердую кожуру и зрелую мякоть идеального качества для приготовления пюре. Спелую тыкву можно отварить, запечь, приготовить на пару или поджарить, а семена использовать в качестве популярной закуски *item*. В Канаде и Америке тыкву используют в различных видах пирогов, которые являются их основным продуктом питания. На Ближнем Востоке для приготовления сладкого блюда под названием *халва яктиль*. Тыкву также можно использовать для ароматизации алкогольных и безалкогольных напитков, изготовление десертов (Pumpkin, 2021). Все виды тыкв имеют твердую кожуру, когда они созревают. Содержание β-каротина увеличивается при созревании, а во время хранения уменьшается при любых температурах (Dhiman, 2009; Dutta, 2006).

Замораживание ухудшает консистенцию, а тыква, хранившаяся в темном месте при температуре 4 °С имела более плотную текстуру. Мякоть тыквы может быть сохранена путем консервирования, сушки, замораживания. Для консервирования тыквы в кубиках используется только метод

консервирования под давлением. Замораживание обеспечивает самый простой способ консервирования тыквы, и из нее получается продукт наилучшего качества. Из тыквы получается отличная сушеная «растительная кожа», приправы и *чати* (Resources for home preserving pumpkin, 2021).

Пихта и ее полезные свойства

Пихта (*Abies*) — род вечнозелёных лесообразующих голосеменных растений семейства Сосновых (*Pinaceae*). По содержанию кобальта, железа и марганца хвоя пихты превосходит бобовые, также отличается набором витаминов, особенно витамином С, в 1,5–2 раза больше аскорбиновой кислоты, чем в цитрусовых плодах, в 25 раз больше, чем в луковых овощах и картофеле. Хвоя пихты источник витаминов: каротина, Е, К, С, Р, В. Также ценность хвои обуславливается наличием фитонцидов, они губительно влияют на развитие стрептококков, стафилококков. Смолы хвойных растений обладают дезинфицирующими свойствами на рост бактерий дифтерии, сенной палочки и белого стафилококка (Halliwell, 2012; Zeng, 2014). Хвоя пихты имеет приятный вкус и аромат, несет функциональное действие на нервную и сердечно-сосудистую системы, способствует улучшению обмена веществ. Кроме того, не существует проблемы с ее заготовкой (Охрименко, 2015).

Анализ научных источников отечественных и зарубежных авторов обобщил информацию о недостаточном применении хвои пихты и биологически активных веществ из нее в пищевой промышленности при разработке рецептуры соусов из растительного сырья. Химический состав богатый витаминами, минеральными соединениями и биологически активными веществами, позволяют использовать хвою пихты как сырье в качестве добавки в пищевой и кормовой промышленности, а также как сырье в косметической индустрии и парфюмерии, например, при производстве эфирных масел, экстрактов (Панькив, Демина, Паршикова & Степень, 2012; Попова, Медведев, Безруких & Мохирев, 2015).

С точки зрения влияния на здоровье человека наиболее важными биологически активными веществами в составе хвои пихты, являются фитостерины (стероидные соединения растений, формирующих

стабильный двойной слой фосфолипидов в строении растительных клеток) и полипrenoлы, эти вещества, обладают профилактическим действием (Bakry, 2016; Singh, 2018; Zuidam, 2010). В пищевых продуктах наибольшее их наличие определено в составе нерафинированных растительных масел, предельно допустимая концентрация не определяется, рекомендуется суточная норма потребления 150–450 мг/сут. Обобщенные данные авторов указывают на противовоспалительные, жаропонижающие, иммуномодулирующие и антиоксидантные свойства фитостеринов (Pamplona-Silva, 2018). Наличие полипренолов, являющихся природными биорегуляторами в клеточных тканях растений, не имеет выраженного токсичного воздействия на организм человека, поэтому рекомендуемая суточная норма составляет 54 мг/сут. Функциональное назначение на организм человека полипренолов заключается в способности к предотвращению нейродегенеративных заболеваний (болезнь Альцгеймера), а также роль в гликозилировании протеинов и протеидов, дополнительно характеризуются иммунорегуляторной, противовоспалительной и ранозаживляющей активностью и восстанавливающей функцией печени (Chen, 2017; Карпова, 2009; Карпицкий, 2009).

Содержание свободных фенольных соединений (экстракт диэтилового эфира) значительно ниже, в сравнении с их гликозидированными формами (экстракт бутилового спирта). Наибольшее содержание свободных фенольных соединений в хвое пихты составляет 2,42 % в абсолютно сухом веществе (Левин & Репях, 1984).

Анализ данных отечественных и зарубежных авторов (Артёмкина, 2001; Быстрыкова, 2008; Белый, 2011; Белянин, 2014; Perez-Vizcaino & Fraga, 2018; Akinwumi, Bordun & Anderson, 2018) указывает на содержание в хвое витамина С, флавоноидов, фенольных кислот, фосфолипидов, β -каротин-мальтола, макро- и микроэлементов (железо, натрий, калий, кальций, цинк, магний, марганец). Данные могут варьировать в зависимости от места сбора хвои, времени и атмосферных осадков в течение года.

Актуальность использования хвои подтверждена контент анализом отечественных и зарубежных авторов. При проведении экспериментальных исследований использование хвои пихты обоснова-

но особенностями химического состава, а именно содержанием биологически активных соединений, формирующих специфические свойства вкуса и аромата, объясняющиеся наличием дубильных веществ, антоцианов, кумаринов и флавоноидов (Виневский, 2017; Рядинская, 2019). В связи с чем сформирована проблема внесения хвои и ее экстрактов в чистом виде при получении продукта питания (появляется горькое послевкусие, яркий хвойный флейвор).

Научная новизна выражена в получении овощного соуса, обладающего функциональным назначением, благодаря введению хвои пихтовой, характеризующейся содержанием биологически активных веществ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

В работе использовали род травянистых растений семейства Тыквенные (*Cucurbitaceae*) плоды тыквы (*Cucurbita moschata* Duch.) сорт «Витаминная» и хвою пихты сибирской (*Abies sibirica*) по ТУ 10.83.14–002-06122945–2017 «Чай из растительного сырья», собранную в осенний период 2021 года в сухом виде измельченную.

Оборудование

Лабораторная мельница ЛМ 202 фирмы «Плаун», аналитические весы РА 214, вольтамперометр — анализатор ТА-Lab, рефрактометр ИРФ-454БМ, сушильный шкаф ШС-80–02СПУ, фотоэлектроколориметр КФК -2, Электронная печь ЕКФ 611 СТС.

Инструменты

Сито Ø 3мм, стеклянная тара номиналом 100 мл, колбы объемом 750 см³, 500 см³, коническая колба объемом 525 см³, обратный холодильник, дистиллированная вода, раствор индигосульфокислоты, раствор марганцовокислого калия, ацетон.

Методы

Приемка плодового сырья проводилась согласно ГОСТ 7975–2013, содержание токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка) методом инверсионно-вольтамперометрических измерений по ГОСТ 33824–2016, массовая доля влаги и содержание экстрактивных и дубильных веществ по ГОСТ 24027.2–80, определения растворимых сухих веществ по ГОСТ ISO 2173–2013. Содержание витамина С проводилось в соответствии с ГОСТ 24556–89, массовая доля жира определялась по ГОСТ Р 54607.5–2015, содержание углеводов — по ГОСТ 8756.13–87, органолептическая оценка проводилась описательным методом по ГОСТ 8756.1–2017. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили определением среднеквадратичного отклонения и вычислением доверительного интервала для уровня значимости $\alpha = 0,05$.

Процедура исследования

Технология получения овощного соуса заключается в следующих этапах: *приемка сырья* → *подготовка сырья (очистка и мойка)* → *измельчение тыквы* → *технологическая обработка тыквы* → *внесение хвои пихты* → *фасование* → *охлаждение* → *исследование образцов* (Рисунок 1).

Подготовка плодов тыквы заключалась в удалении плодоножек и очистки от верхнего слоя вручную, хвои пихтовой в отделении остатка веток от хвои. Измельчение плодов тыквы на кусочки 2×2 см, измельчение хвои пихтовой проводили на мельнице ЛМ 202 фирмы «Плаун» с охлаждением до размера частиц хвои — 0,1...0,3 мм, технологический этап закончился термической обработкой тыквы в соотношении 1 : 0,5 (плоды тыквы : вода), готовность тыквы определялась до получения пюреобразного состояния. По результатам технологической обработки в температурном режиме 70 ± 2 °С, заверша-

ющим этапом являлось внесение хвои пихтовой в различном сочетании перед фасованием и охлаждением.

Рецептура образцов овощного соуса представлена в Таблице 2. Фасование продукта проводили в стеклянную тару номиналом 100 мл, что соответствует требованиям ТР ТС 005/2011.

Охлаждение продукции осуществлялось при комнатной температуре 19 ± 2 °С. Исследование органолептических показателей проводили посредством составления описательных характеристик по показателям — «внешний вид и консистенция», «цвет», «вкус и запах».

Для проведения исследований образцы кодировались в следующей последовательности:

- образец № 1 — хвоя пихты;
- образец № 2 — пюре тыквенное;
- образец № 3 — внесение хвои 0,17 % от массы пюре тыквенного;
- образец № 4 — внесение хвои 0,33 % от массы пюре тыквенного;
- образец № 5 — внесение хвои 0,50 % от массы пюре тыквенного.

Предварительно проведенными органолептическими исследованиями установлена максимальная и минимальная дозировка внесения хвои пихты в овощной соус.

Определение физико-химических показателей заключалось в исследовании: массовой доли влаги, массовой доли сухих веществ, массовой доли жира, флавоноидных соединений, содержание углеводов, витамина С, дубильных веществ, экстрактивных веществ, тяжелых металлов, в образцах (плодов тыквы, хвои пихты, соусов с использованием хвои).

Таблица 2

Рецептура образцов овощного соуса

Наименование компонентов		Содержание компонентов, %		
Плоды тыквы	66,0	65,83	65,67	65,50
Вода	34,0	34,0	34,0	34,0
Хвоя пихтовая	—	0,17	0,33	0,50



Рисунок 1

Последовательность технологических этапов и параметры

Определение содержания дубильных веществ осуществляли следующим образом: измельчали навеску массой 2 г, далее ее заливали водой, нагретой до 100°C, соединяли с обратным холодильником и кипятили на водяной бане 30 мин; по истечении времени жидкость охлаждали и фильтровали, далее 25 см³ фильтрата переносили в колбу объемом 750 см³, прибавляли 500 см³ дистиллированной воды, 25 см³ раствора индигосульфокислоты и титровали 0,1 н раствором марганцовокислого калия до получения золотисто-желтой окраски, которую сравнивали с окраской, полученной при контрольном испытании.

Для контрольного испытания в коническую колбу вносили 525 см³ дистиллированной воды, 25 см³ раствора индигосульфокислоты и титровали 0,1 н раствором марганцовокислого калия до получения золотисто-желтой окраски.

Содержание дубильных веществ (X_2) вычисляли по формуле:

$$X_2 = (V - V_1) \cdot 0,004157 \cdot 250 \cdot 100 \cdot 100 / m \times \times 25 \cdot (100 - W) \quad (1)$$

где V — объем 0,1 н раствора калия марганцовокислого, израсходованного на титрование извлечения,

см³; V_1 — объем 0,1 н раствора калия марганцовокислого, израсходованного на титрование в контрольном испытании, см³; 0,004157 — количество дубильных веществ, соответствующее 1 см³ 0,1 н раствора калия марганцовокислого в пересчете на танин, г; m — масса сырья, г; W — потеря в массе при высушивании сырья, %; 250 — вместимость колбы, см³; 25 — объем фильтрата, взятого на титрование, см³.

Согласно ГОСТ 33824–2016 проводили исследования хвои пихты на содержание токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка) методом инверсионно-вольтамперометрических измерений, основанные на способности исследуемых элементов электрохимически осаждаться на индикаторном электроде из анализируемого раствора хвои при задаваемом потенциале предельного диффузионного тока в течение заданного периода времени, а затем растворяться в процессе анодной поляризации при определенном потенциале, характерном для каждого отдельного элемента. Аналитические сигналы определяемых элементов регистрируются на вольтамперограмме в виде пиковых диаграмм и отражают зависимость силы тока электрохимической реакции ячейки от приложенного напряжения. Значение тока пика прямо пропорционально концентрации определяемого эле-

мента в исследуемом образце. Пересчет массовой концентрации элементов в анализируемом растворе пробы хвои определяют по методу добавок градуировочных растворов определяемых элементов. Измерения проводят в следующих лабораторных условиях: при температуре окружающего воздуха $t = (25 \pm 10)^\circ\text{C}$, атмосферном давлении $P = (97 \pm 10)$ кПа, относительной влажности $W =$ не более 80 %, частоте переменного тока $f = (50 \pm 5)$ Гц, напряжении в сети $U = (220 \pm 22)$ В.

По методу, описанному в ГОСТ 24027.2–80 определяли влажность, основанному на высушивании при температуре 100–105 °С в сушильном шкафу предварительно измельченной навески массой 3–5 г. Оценку окончания сушки сырья проводили по показателю его постоянной массы, в частности, когда разница между двумя взвешиваниями, после 30 мин высушивания и 30 мин охлаждения в эксикаторе — не превышала 0,01 г.

Влажность в сырье вычисляли в процентах по формуле

$$W = (m - m_1) \cdot 100/m, \quad (2)$$

где m — масса сырья до высушивания, г; m_1 — масса сырья после высушивания, г.

Для определения сухих веществ использовали рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ по ГОСТ ISO 2173–2013.

Метод основан на взвешивании пробы с точностью до 0,01 г в количестве до 40 г, затем добавляют от 100 до 150 см³ воды, через 20 мин фильтруют. Далее нагревают содержимое до кипения и кипятят 2–3 мин, помешивая стеклянной палочкой, после охлаждают и перемешивают. Работа рефрактометра находится в пределах $\pm 0,5$ °С в диапазоне температур от 15 °С до 25 °С. Наносят 2–3 капли на неподвижную призму рефрактометра и сразу же накрывают подвижной призмой.

Согласно ГОСТ 24027.2–80 определение содержания экстрактивных веществ в образцах хвои пихты проводили следующим образом: измельчали навески массой 1 г, далее к навеске, помещенной в коническую колбу, добавляли 50 см³ 70 % этилового спирта, затем колбу закрывали пробкой и взвешивали с точностью до 0,01 г, после чего оставля-

ли в темном месте на 1 ч. По прошествии требуемого времени колбу присоединяли к обратному холодильнику, ее содержимое нагревали до кипения, которое поддерживали в течение 2 ч. Затем содержимое колбы тщательно перемешивали и фильтровали, далее в заранее прокаленную фарфоровую чашку добавляли 25 см³ фильтрата, выпаривали на водяной бане 3 ч до полного высыхания при 100–105 °С, после чего охлаждали в эксикаторе и взвешивали.

Содержание экстрактивных веществ (X_1) вычисляли по формуле

$$X_1 = m \cdot 200 \cdot 100/m_1 \cdot (100 - W), \quad (3)$$

где m — масса сухого остатка в чаше, г; m_1 — масса сырья, г; W — потеря в массе при высушивании сырья, г.

Для определения массовой доли флавоноидных соединений брали 0,20 г испытуемого продукта, помещали в колбу с притертой пробкой и прибавляли 4 см³ дистиллированной воды и перемешивали до растворения продукта. К полученному раствору прибавляли 20 см³ ацетона, перемешивали и оставляли в колбе с притертой пробкой в темном месте на 1 час. Затем перемешивали и фильтровали через бумажный фильтр в коническую колбу. Измеряли оптическую плотность, полученного раствора на фотоэлектроколориметре, используя световой фильтр №3 с длиной волны 400 нм, в кювете со слоем толщиной 10 мм. В качестве контрольного раствора использовали дистиллированную воду.

Обработка результатов проводилась согласно формуле

$$X = D \cdot 12/8,37 \cdot m, \quad (4)$$

где X — массовая доля флавоноидных соединений, %; D — оптическая плотность испытуемого раствора; 12 — разведение в см³; 8,37 — коэффициент пропорциональности оптической плотности и концентрации флавоноидных соединений при длине волны 400 нм; m — масса навески продукта в г.

Для определения массовой доли жира использовали весовой метод с экстракцией жира в микро-размельчителе тканей по ГОСТ Р 54607.5–2015, он основан на извлечении жира из навески раство-

рителем в микроразмельчителе тканей и фильтровании экстракта с определением в нем жира (взвешиванием) после удаления растворителя.

Содержание витамина С определяли согласно ГОСТ 24556–89 титриметрическим методом, основанном на экстрагировании витамина С раствором соляной кислоты с последующим титрованием визуальным или потенциометрическим раствором 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия до установления светло-розовой окраски.

Метод определения массовой доли углеводов (общего сахара) проводили по ГОСТ 8756.13–87. Метод основан на способности карбонильных групп сахаров восстанавливать в щелочной среде оксид меди (II) до оксида меди (I). При растворении железоаммонийными квасцами образовавшийся оксид меди (I), окисляясь до оксида меди (II), восстанавливали железо (III) в железо (II), количество которого определяли титрованием раствором марганцовокислого калия определяли в виде суммы сахаров.

Анализ данных

Актуальность используемого сырья проводили согласно контент-анализу, использовали сайты — Scopus, Web of Science Core Collection, Theme Journals, CASC, ProQuest Agricultural, EBSCO; отечественные

базы: ЭК ГПНТБ СО РАН, ВИНТИ, НЭБ, East view, Агрос, РГБ, elibrary, Академия-Google, сайт www.fips.ru, fips@rupto.ru; espasenet, Google Scholar.

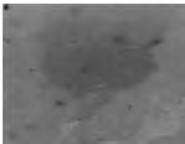
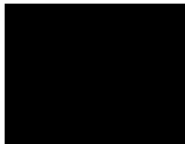
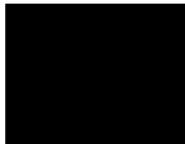
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Целью исследования являлась оценка возможностей применения хвои пихты и разработка рецептуры овощного соуса из плодового сырья на основе тыквы с использованием хвои пихты. В результате исследований разработана рецептура соуса, проведена описательная характеристика исследуемых образцов, проведены физико-химические исследования.

Описательная характеристика исследуемых образцов установила изменения в цветовых характеристиках. Цветовые характеристики образцов изменялись в зависимости от количества внесения хвои, объясняются химическими характеристиками сырья. Так переход цветовых характеристик образцов в зеленый цвет обусловлен наличием в хвое пихты хлорофилла, хлорофилл «а» (Хл а) имеет сине-зеленую окраску, а хлорофилл «b» (Хл b) — светло-зеленую. Согласно дате изготовления на упаковке, сбор производился в осенний период при максимальном накоплении хлорофилла, что составляет для Хл а — 2,25, Хл b — 0,85 (Таблица 3).

Таблица 3

Описательная характеристика органолептических показателей

Наименование показателя	Образцы			
	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Внешний вид и консистенция	Пюреобразная масса, устойчивая, возможно отделение сока			
Цвет				
	Светло-желтый	Светло-желтый с вкраплениями зеленого цвета	Желто-зеленый с вкраплениями зеленого цвета	Насыщенный желто-зеленый
Вкус и запах	Приятный, чистый, тыквенный	Приятный, чистый, тыквенный, сладко-кислый со слегка уловимым хвойным послевкусием	Тыквенный, сладко-кислый с хвойным послевкусием	Тыквенный, терпко-кислый с хвойным послевкусием

Примечание: образец № 2 — пюре тыквенное; образец № 3 — внесение хвои 0,17 % от массы пюре тыквенного; образец № 4 — внесение хвои 0,33 % от массы пюре тыквенного; образец № 5 — внесение хвои 0,50 % от массы пюре тыквенного.

В результате исследований разработана описательная органолептическая характеристика представленных образцов (Таблица 3).

В образце № 1 (хвоя пихты) содержание массовой доли влаги находится в пределах $8,299 \pm 1,02$ %, при этом сухих веществ $91, \pm ,02$ %. Отмечено снижение влаги в образцах с увеличением содержания хвои, тем самым увеличение сухих веществ. Так образец № 2 (пюре тыквенное без внесения хвои пихтовой) имеет содержание массовой доли влаги $95,592$ % и сухих веществ $4,408$ %, а образец №5 (внесение хвои $0,50$ % от массы пюре тыквенного) отмечено снижение до $95,068$ % с увеличением сухих веществ до $4,932$ % (Рисунок 2).

Снижение массовой доли влаги в образцах приводит к концентрированию основных компонентов пищевой системы, так содержание массовой доли жира в образце № 2 равно $0,371$ %, в образце № 3 — $0,379$ %, в образце № 4 — $0,473$ % и в образце № 5 — $0,488$ %. Данные значения показателя «жир» подтверждают изменения перехода хлорофилла в пищевую систему образцов № 4 и № 5, в силу наличия в химическом строении хлорофилла остатка фитола, придающий липоидные свойства, т. е. способность растворяться в жировых растворителях. В нашем случае этот переход визуально и был выражен в переходе цвета от «желтого» до «насыщенного желто-зеленого».

Выход экстрактивных веществ из хвои некоторых видов очень высок.

В образце № 1 (хвоя пихты) содержание экстрактивных веществ отмечено в пределах $7,974 \pm 0,07$ %, по содержанию дубильных веществ значения колеблется $1,319 \pm 1,05$ %. При внесении хвои пихты увеличивается концентрация дубильных веществ, так в образце №3 (внесение хвои $0,17$ % от массы пюре тыквенного) количественное содержание $0,0019 \pm 0,0008$ %, в то время как в образце № 5 (внесение хвои $0,50$ % от массы пюре тыквенного) — $0,0074 \pm 0,0006$ % (Рисунок 3).

Увеличение дубильных веществ, характеризующихся органолептическими изменениями вкусо-ароматического букета с проявлением «терпкого» послевкусия в образцах № 4 и 5. Отмечено количественное изменение физико-химического показателя «углеводы», так в образце № 2 их содержание — $3,796 \pm 0,007$ %, в образце № 3 — $3,285 \pm 0,006$ %, а в образце №4 — $3,276 \pm 0,006$ % и образце № 5 — $3,262 \pm 0,007$ %.

Хвоя пихты содержит значительное количество флавоноидных соединений, более 1 %, обладающих Р-витаминной активностью. В хвое пихты содержатся оксibenзойные кислоты, представленные в роде *Abies* вератровой кислотой и альдегидами. К наиболее распространенным флавонолам относятся кемпферол, кверцетин, мирицитин и их гликозиды (Левин & Репях, 1984).

Общее содержание флавоноидов в используемой хвое в процессе исследования находится на уровне $1,613$ %. С увеличением доли внесения хвои

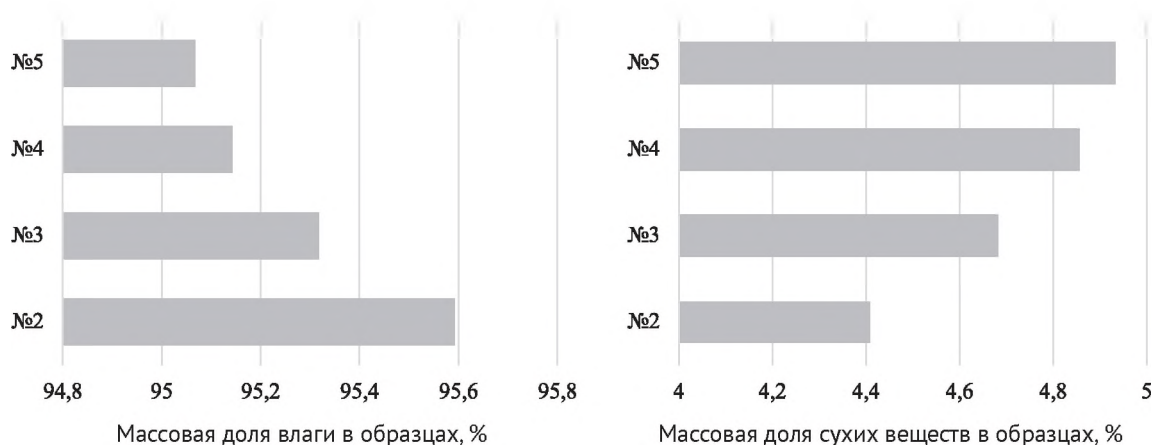


Рисунок 2

Исследование массовой доли влаги и сухих веществ в образцах, %

Примечание: образец № 2 — пюре тыквенное; образец № 3 — внесение хвои $0,17$ % от массы пюре тыквенного; образец № 4 — внесение хвои $0,33$ % от массы пюре тыквенного; образец № 5 — внесение хвои $0,50$ % от массы пюре тыквенного.

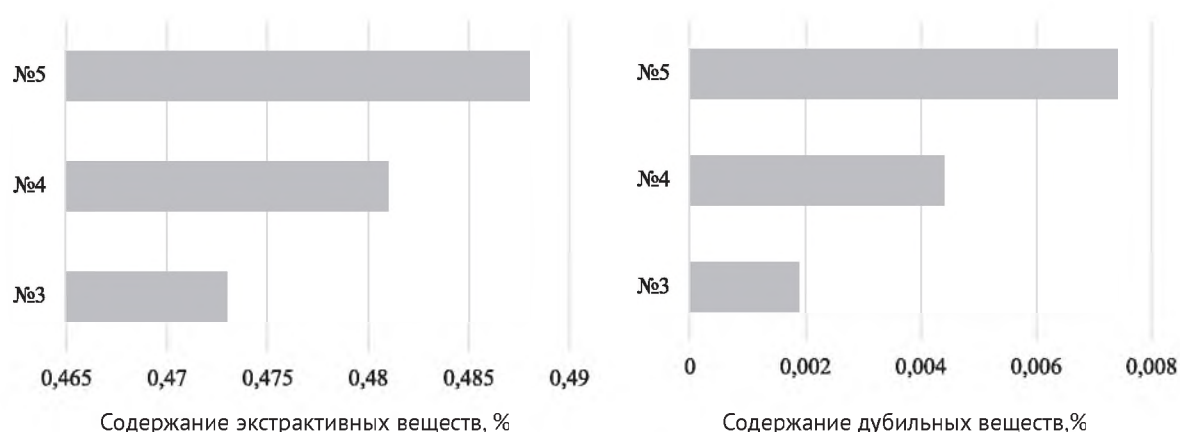


Рисунок 3

Содержание экстрактивных и дубильных веществ в исследуемых образцах, %

Примечание: образец № 3 – внесение хвои 0,17 % от массы пюре тыквенного; образец № 4 – внесение хвои 0,33 % от массы пюре тыквенного; образец № 5 – внесение хвои 0,50 % от массы пюре тыквенного.

в образцы пюре тыквенного, являющегося основой продукта, повышается содержание флавоноидов в образцах № 3–№ 5 (Рисунок 4).

В исследуемом нами образце №1 (хвои пихты) отмечено содержание витамина С равно $0,231 \pm 0,006$ %, содержание цинка определено в концентрации $0,0099 \pm 0,0033$ мг/кг (при допустимом уровне не более 25 мг/кг), кадмий, свинец, медь не обнаружены в исследуемой пробе.

Рецептурное сочетание пюре тыквенного с использованием хвои пихты предполагает получение

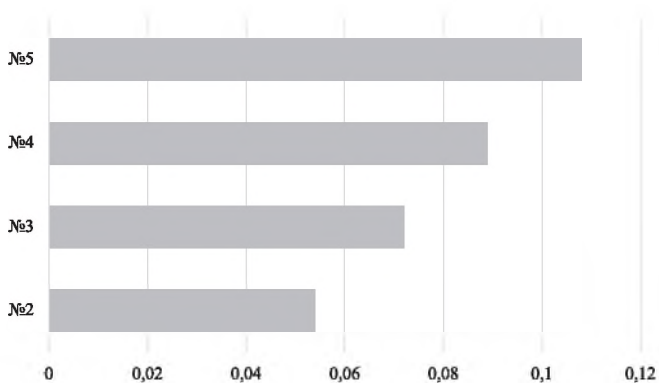


Рисунок 4

Общее содержание флавоноидных соединений в исследуемых образцах, %:

Примечание: образец № 2 – пюре тыквенное; образец № 3 – внесение хвои 0,17 % от массы пюре тыквенного; образец № 4 – внесение хвои 0,33 % от массы пюре тыквенного; образец № 5 – внесение хвои 0,50 % от массы пюре тыквенного.

овощного соуса, предназначенного для непосредственного употребления в пищу либо как основы для составления комбинированных соусов к мясным, рыбным и вторым блюдам, а также использования в кондитерской промышленности, как полуфабриката для производства пастильных кондитерских изделий, а также в качестве красящего элемента для создания оригинального художественного оформления.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Использование хвои пихты отражено в работах отечественных и зарубежных авторов, что объясняется особенностями химического состава, а именно содержанием биологически активных веществ (дубильные вещества, антоцианы, кумарины и флавоноиды), придающих специфический вкус и аромат (Виневский, 2017; Рядинская, 2019; Perez-Vizcaino & Fraga, 2018; Akinwumi, Bordun & Anderson, 2018). Существует проблема внесения хвои при разработке рецептуры пищевой продукции, чаще всего это связано с изменением органолептических показателей (появляется горький вкус, яркий хвойный аромат). В нашем исследовании проведена оценка возможностей применения хвои пихты в получении овощного соуса на основе тыквы и разработана его рецептура. В опытные образцы овощного соуса вносили 0,17 %, 0,33 % и 0,50 % хвои пихты от массы плодового пюре из тыквы. Увеличение процентного внесения хвои с 0,17 % до 0,50 % приводило к воз-

никновению насыщенного желто-зеленого цвета, тыквенного терпко-кислого вкуса и запаха с хвойным послевкусием. В связи с этим, рациональная доза внесения порошка была определена в количестве 0,17 и 0,33 % от массы плодового пюре тыквы.

Экспериментальные образцы соусов с внесением хвои пихты, в сравнении с контрольным, отличаются увеличенным содержанием сухих веществ, жира, дубильных и экстрактивных веществ, флавоноидов.

ВЫВОДЫ

В исследовании приведены результаты возможности применения хвои пихты в рецептуре овощного соуса на основе пюре тыквенного. Результаты органолептических исследований показали изменение цветовых характеристик, а также вкуса и запаха в зависимости от количественного внесения хвои пихты. Проведены физико-химические исследования на содержание влаги, жира, сухих веществ, витамина С, а также дубильных и экстрактивных веществ, тяжелых металлов и флавоноидов.

ЛИТЕРАТУРА

- Артекина, Н. А. (2001). *Низкомолекулярные фенольные соединения древесной зелени ели европейской Picea Abies (L) Karst* [Кандидатская диссертация, Санкт-Петербургский лесотехнологическая академия]. СПб., Россия.
- Виневский, Е. И., Виневская, Н. Н., & Мартюк, А. А. (2017). Проблемы послеуборочной обработки и переработки тыквы. В *Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции: Сборник материалов II Международной научно-практической конференции* (с. 290–293). Краснодар: Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий Российской академии сельскохозяйственных наук.
- Левин, Э. Д., & Репях, С. М. (1984). *Переработка древесной зелени*. М.: Лесная промышленность.
- Нициевская, К. Н., Бородай, Е. В., & Мотовилов, О. К. (2021). Переработка плодов тыквы с использованием физических методов воздействия. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, 5, 16–21. <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2021-70-5-16-22>
- Охрименко, О. В. (2015). Ферментированный напиток из пахты с экстрактом хвои сосны. *Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). Технические науки*, 4, 166–168.
- Панькив, О. Г., Демина, Л. Н., Паршикова, В. Н., & Степень, Р. А. (2012). Эффективность переработки древесной зелени пихты различными методами. *Фундаментальные исследования*, 1, 168–171.
- Попова, В. Э., Медведев, С. О., Безруких, Ю. А., & Мохирев, А. П. (2015). Возможности переработки древесной зелени. *Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика*, 3(2–1), 423–426.
- Рядинская, А., & Кощаев, О. (2019). Использование продуктов переработки тыквы. *Комбикорма*, 2, 56. <https://doi.org/10.25741/2413-287X-2019-02-3-045>
- Badifu, G. I., Akpapunam, M. A., & Mgbemere, W. M. (1995). The fate of β -carotene in processed leaves of fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis* Hook F.): A popular vegetable in Nigerian diet. *Plant Foods for Human Nutrition*, 48, 141–147. <https://doi.org/10.1007/BF01088310>
- Bakry, A. M., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M. Y., Mousa, A. H., & Liang, L. (2016). Microencapsulation of oils: a comprehensive review of benefits, techniques, and applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food*

По нашему мнению, данное направление исследований является актуальным с целью создания комбинированных пищевых систем в виде соусов на растительной основе для использования в пищевой промышленности.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Нициевская К. Н.: концептуализация; методология; программное обеспечение; верификация данных; формальный анализ; проведение исследования; создание черновика рукописи; создание рукописи и её редактирование; визуализация; руководство исследованием; администрирование проекта.

Бородай Е. В.: методология; верификация данных; формальный анализ; проведение исследования; администрирование данных; создание рукописи и её редактирование; визуализация.

Станкевич С. В.: методология; верификация данных; формальный анализ; проведение исследования; ресурсы; создание рукописи и её редактирование.

- Safety*, 15(1), 143–182. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12179>
- Chen, F., Fan, G. Q., Zhang, Z., Zhang, R., Deng, Z.-Y., & McClements, D. J. (2017). Encapsulation of omega-3 fatty acids in nanoemulsions and microgels: Impact of delivery system type and protein addition on gastrointestinal fate. *Food Research International*, 100, 387–395. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.039>
- Choudhury, B. (1967). *Vegetables*. National Book Trust of India, New Delhi.
- Danilchenko, H., Paulauskiene, A., Dris, R., & Niskanen, R. (2000). Biochemical composition and processability of pumpkin cultivars. *Acta Hort*, 510, 493–497.
- Danilchenko, H., Paulauskiene, A., Jariene, E., & Kucinskas, J. (2003). Effect of growing method on pumpkin quality. *Sodininkystė ir daržininkystė*, 22, 141–149.
- Dhiman, A. K., Muzaffer, S., & Attri, S. (2007). Utilization of pumpkin (*Cucurbita moschata*) for product development. *Indian Journal of Agricultural Research*, 33, 223–227.
- Dhiman, A. K., Sharma, K., & Attri, S. (2009). Functional constituents and processing of pumpkin: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 46(5), 411–417.
- Djutin, K. E. (1991). Pumpkin: Nutritional properties. *Potatoes and Vegetables*, 3, 25–26.
- Dutta, D., Chaudhuri, U. R., & Chakraborty, R. (2006). Study on β -carotene retention and textural changes in pumpkins under different conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 43, 549–551.
- Egbekun, M. K., Suleiman, N., & Akinyeye, O. (1998). Utilization of fluted pumpkin fruit (*Telfairia occidentalis*) in marmalade manufacturing. *Plant Foods for Human Nutrition*, 52, 171–176. <https://doi.org/10.1023/a:1008065220452>
- Figueredo, E., Cuesta-Herranz, J., Minguez, A., Vidarte, L., Pastor, C., De Las Heras, M., Vivanco, F., & Lahoz, C. (2000). Allergy to pumpkin and cross reactivity of other cucurbitaceae fruits. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 106, 402–403. <https://doi.org/10.1067/mai.2000.108109>
- Gwanama, C., Nichterleiw, K., Lungo, D., & Simabwachi, N. (2002). Variation of fruit β -carotene content of tropical pumpkin (*Cucurbita moschata*) land races in Zambia. *Plant Genetic Resources*, 129, 44–46.
- Jia, W., Wenyuan, G., Lida, T., Gao, W. Y., & Tang, L. D. (2003). Antidiabetic herbal drugs officially approved in China. *Phytotherapy Research*, 17, 1127–1134. <https://doi.org/10.1002/ptr.1398>
- Kirtikar, K. R., & Basu, B. D. (1975). *Indian Medicinal Plants*. Bishen Singh and Mahendra Pal Singh Publ, Dehradun.
- Pamplona-Silva, M. T., Mazzeo, D. E. C., Bianchi, J., & Marin-Morales, M. A. (2018). Estrogenic Compounds: Chemical Characteristics, Detection Methods, Biological and Environmental Effects. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229(5), 144. <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3796-z>
- Seshadri, V. S. (1989). Cucurbits. *Indian Hort*, 33(4), 28–30.
- Singh, J., Kaur, K., & Kumar, P. (2018). Optimizing micro-encapsulation of α -tocopherol with pectin and sodium alginate. *Journal of Food Science and Technology*, 55(9), 3625–3631. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3288-6>
- Wills, R. B. H., Lim, J. S. K., & Greenfield, H. (1987). Composition of Australian foods: Vegetable fruits. *Food Technol Aust*, 39, 488–491.
- Zuidam, N. J., & Nedovic, V. A. (2010). *Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1008-0>

REFERENCES

- Artemkina, N. A. (2001). *Nizkomolekulyarnye fenol'nye soedineniya drevesnoi zeleni eli evropeiskoi Picea Abies (L) Karst [Low molecular weight phenolic compounds of European spruce greenery Picea Abies (L) Karst]* [Candidate Dissertation, Sankt-Peterburgskii lesotekhnologicheskaya akademiya]. S-Petersburg, Russia.
- Levin, E. D., & Repyakh, S. M. (1984). *Pererabotka drevesnoi zeleni [Recycling tree greens]*. Moscow: Lesnaya promyshlennost'.
- Nitsievskaya, K. N., Borodai, E. V., & Motovilov, O. K. (2021). Pererabotka plodov tykvy s ispol'zovaniem fizicheskikh metodov vozddeistviya [Processing of pumpkin fruits using physical methods of influence]. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov [Technology and Merchandising of Innovative Food Products]*, 5, 16–21. <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2021-70-5-16-22>
- Okhrimenko, O. V. (2015). Fermentirovannyi napitok iz pakhty s ekstraktom khvoi sosny. Evraziiskii Soyuz Uchenykh (ESU) [Fermented buttermilk drink with pine needle extract. Eurasian Union of Scientists (ESU)]. *Tekhnicheskie nauki [Technical Science]*, 4, 166–168.
- Pan'kiv, O. G., Demina, L. N., Parshikova, V. N., & Stepen', R. A. (2012). Effektivnost' pererabotki drevesnoi zeleni pikhty razlichnymi metodami [Efficiency of processing fir tree greens by various methods]. *Fundamental'nye issledovaniya [Basic Research]*, 1, 168–171.
- Popova, V. E., Medvedev, S. O., Bezrukikh, Yu. A., & Mokhirev, A. P. (2015). Vozmozhnosti pererabotki drevesnoi zeleni [Possibilities of processing tree greens]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: Teoriya i praktika [Actual Directions of Scientific Research of the 21 Century: Theory and Practice]*, 3(2–1), 423–426.
- Ryadinskaya, A., & Koshchaev, O. (2019). Ispol'zovanie produktov pererabotki tykvy [Use of pumpkin products]. *Kombikorma [Compound Feed]*, 2, 56. <https://doi.org/10.25741/2413-287X-2019-02-3-045>
- Vinevskii, E. I., Vinevskaya, N. N., & Martyuk, A. A. (2017). Problemy posleuborochnoi obrabotki i pererabotki tykvy

- [Problems of post-harvest processing and processing of pumpkin]. In *Innovatsionnye issledovaniya i razrabotki dlya nauchnogo obespecheniya proizvodstva i khraneniya ekologicheski bezopasnoi sel'skokhozyaistvennoi i pishchevoi produktsii: Sbornik materialov II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Innovative research and development for scientific support of production and storage of environmentally friendly agricultural and food products: Collection of materials of the 2nd International Scientific and Practical Conference]* (pp. 290–293). Krasnodar: Gosudarstvennoe nauchnoe uchrezhdenie Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut tabaka, makhorki i tabachnykh izdelii Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk.
- Badifu, G. I., Akpapunanm, M. A., & Mgbemere, W. M. (1995). The fate of β -carotene in processed leaves of fluted pumpkin (*Telfairia occidentalis* Hook F.): A popular vegetable in Nigerian diet. *Plant Foods for Human Nutrition*, 48, 141–147. <https://doi.org/10.1007/BF01088310>
- Bakry, A. M., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M. Y., Mousa, A. H., & Liang, L. (2016). Microencapsulation of oils: a comprehensive review of benefits, techniques, and applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 143–182. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12179>
- Chen, F., Fan, G. Q., Zhang, Z., Zhang, R., Deng, Z.-Y., & McClements, D. J. (2017). Encapsulation of omega-3 fatty acids in nanoemulsions and microgels: Impact of delivery system type and protein addition on gastrointestinal fate. *Food Research International*, 100, 387–395. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.039>
- Choudhury, B. (1967). *Vegetables*. National Book Trust of India, New Delhi.
- Danilchenko, H., Paulauskiene, A., Dris, R., & Niskanen, R. (2000). Biochemical composition and processability of pumpkin cultivars. *Acta Hort*, 510, 493–497.
- Danilchenko, H., Paulauskiene, A., Jariene, E., & Kucinskas, J. (2003). Effect of growing method on pumpkin quality. *Sodinyn kyste-ir-Darzin-in kyste*, 22, 141–149.
- Dhiman, A. K., Muzaffer, S., & Attri, S. (2007). Utilization of pumpkin (*Cucurbita moschata*) for product development. *Indian Journal of Agricultural Research*, 33, 223–227.
- Dhiman, A. K., Sharma, K., & Attri, S. (2009). Functional constituents and processing of pumpkin: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 46(5), 411–417.
- Djutin, K. E. (1991). Pumpkin: Nutritional properties. *Potatoes and Vegetables*, 3, 25–26.
- Dutta, D., Chaudhuri, U. R., & Chakraborty, R. (2006). Study on β -carotene retention and textural changes in pumpkins under different conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 43, 549–551.
- Egbekun, M. K., Suleiman, N., & Akinyeye, O. (1998). Utilization of fluted pumpkin fruit (*Telfairia occidentalis*) in marmalade manufacturing. *Plant Foods for Human Nutrition*, 52, 171–176. <https://doi.org/10.1023/a:1008065220452>
- Figueredo, E., Cuesta-Herranz, J., Minguez, A., Vidarte, L., Pastor, C., De Las Heras, M., Vivanco, F., & Lahoz, C. (2000). Allergy to pumpkin and cross reactivity of other cucurbitaceae fruits. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 106, 402–403. <https://doi.org/10.1067/mai.2000.108109>
- Gwanama, C., Nichterleiw, K., Lungo, D., & Simabwiachi, N. (2002). Variation of fruit β -carotene content of tropical pumpkin (*Cucurbita moschata*) land races in Zambia. *Plant Genetic Resources*, 129, 44–46.
- Jia, W., Wenyan, G., Lida, T., Gao, W. Y., & Tang, L. D. (2003). Antidiabetic herbal drugs officially approved in China. *Phytotherapy Research*, 17, 1127–1134. <https://doi.org/10.1002/ptr.1398>
- Kirtikar, K. R., & Basu, B. D. (1975). *Indian Medicinal Plants*. Bishen Singh and Mahendra Pal Singh Publ, Dehradun.
- Pamplona-Silva, M. T., Mazzeo, D. E. C., Bianchi, J., & Marin-Morales, M. A. (2018). Estrogenic Compounds: Chemical Characteristics, Detection Methods, Biological and Environmental Effects. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229(5), 144. <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3796-z>
- Seshadri, V. S. (1989). Cucurbits. *Indian Hort*, 33(4), 28–30.
- Singh, J., Kaur, K., & Kumar, P. (2018). Optimizing microencapsulation of α -tocopherol with pectin and sodium alginate. *Journal of Food Science and Technology*, 55(9), 3625–3631. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3288-6>
- Wills, R. B. H., Lim, J. S. K., & Greenfield, H. (1987). Composition of Australian foods: Vegetable fruits. *Food Technol Aust*, 39, 488–491.
- Zuidam, N. J., & Nedovic, V. A. (2010). *Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1008-0>

УДК 661.124+664

Оценка эффективности инкапсуляции полифенолов в клетки дрожжей *Saccharomyces Cerevisiae*

Южно-Уральский государственный университет (НИУ)

И. В. Калинина, Н. В. Науменко, Р. И. Фаткуллин, Н. В. Попова, Е. Е. Науменко

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Науменко Наталья Владимировна
Адрес: 454080 г. Челябинск,
Пр. Ленина 86
E-mail: naumenko_natalya@mail.ru

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

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Калинина, И. В., Науменко, Н. В., Фаткуллин, Р. И., Попова, Н. В., & Науменко, Е. Е. (2022). Оценка эффективности инкапсуляции полифенолов в клетки дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3). <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.340>

ПОСТУПИЛА: 26.06.2022

ПРИНЯТА: 01.09.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ:

Статья выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 22-26-00097.



АННОТАЦИЯ

Введение. В отношении исследуемых растительных полифенолов в открытой литературе представлены многочисленные материалы, указывающие на высокий потенциал этих веществ как функциональных пищевых ингредиентов. Для данных соединений определены свойства антиоксидантные, противовоспалительные, иммуностимулирующие и другие. С другой стороны, изучаемые вещества склонны к окислительной деградации и активно вступают в химические реакции со снижением или потерей биоактивных свойств. Для минимизации указанных проблем предложено использование технологии инкапсуляции в клетки дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*.

Цель. Изучение возможности инкапсуляции полифенолов в живые клетки дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* для получения эффективных функциональных пищевых ингредиентов. В задачи исследования входила оценка влияния используемого массового соотношения дрожжи: биологически активное вещество и продолжительности процесса на эффективность инкапсуляции.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования были выбраны представители различных классов полифенолов (флавоноидов и стильбенов): дигидрокверцетин, ресвератрол и рутин, являющиеся известными сильными антиоксидантами. Процесс инкапсуляции вели с применением методов простой диффузии в живые клетки *Saccharomyces cerevisiae*. Для этого использовали режимы инкапсуляции в условиях термостатируемого встряхивателя, продолжительность процесса достигала 23 часов.

Результаты. Результаты исследований показали, что весомый вклад в повышение эффективности инкапсуляции внес временной фактор. Наблюдается четкая положительная зависимость роста эффективности инкапсуляции от продолжительности ведения процесса. Вклад используемого при инкапсуляции соотношения дрожжи : биологически активное вещество не столь ощутим. На основании полученных результатов с применением метода двухфакторного регрессионного анализа были получены математические модели, адекватно описывающие зависимость эффективности процесса инкапсуляции от продолжительности инкапсуляции и соотношения дрожжи : биологически активное вещество. Это позволило установить оптимальные режимы инкапсуляции биологически активных веществ в клетки дрожжей.

Выводы. Проведенные исследования подтвердили возможность инкапсуляции исследуемых представителей полифенолов в живые клетки дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Однако полученное максимальное значение эффективности инкапсуляции – 50,1 %, указывают на необходимость поиска путей совершенствования данного процесса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

растительные полифенолы, инкапсуляция, дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, эффективность инкапсуляции, оптимизация

Evaluation of Encapsulation Efficiency of Polyphenols in the Cells of the Yeast of *Saccharomyces Cerevisiae*

South Ural State University (NRU)

Irina V. Kalinina, Natalya V. Naumenko, Rinat I. Fatkullin,
Natalia V. Popova, Ekaterina E. Naumenko

CORRESPONDENCE:

Natalya V. Naumenko
630501, Novosibirsk region,
r.p. Krasnoobsk, a/ya 463
E-mail: borodajelena@yandex.ru

FOR CITATIONS:

Kalinina, I. V., Naumenko, N. V.,
Fatkullin, R. I., Popova, N. V., &
Naumenko, E. E. (2022). Evaluation of
encapsulation efficiency polyphenols
in the cells of the yeast *Saccharomyces*
Cerevisiae. *Storage and Processing of*
Farm Products, (3).
<https://doi.org/10.36107/spfp.2021.340>

RECEIVED: 26.06.2022

ACCEPTED: 01.09.2022

PUBLISHED: 30.09.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background. With regard to the studied plant polyphenols, the open literature presents numerous materials indicating the high potential of these substances as functional food ingredients. For these compounds, the antioxidant, anti-inflammatory, immunostimulating and other. On the other hand, the studied substances are prone to oxidative degradation and actively enter into chemical reactions with a decrease or loss of bioactive properties. To minimize these problems, it is proposed to use the technology of encapsulation in *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells.

Purpose. Study of the possibility of encapsulation of polyphenols in living yeast cells *Saccharomyces cerevisiae* for obtaining effective functional food ingredients. The objectives of the study included assessing the influence of the mass ratio used yeast:biologically active substance and the duration of the process on the efficiency of encapsulation.

Materials and Methods. Representatives of various classes of polyphenols (flavonoids and stilbenes) were selected as objects of study: dihydroquercetin, resveratrol, and rutin, which are known strong antioxidants. The encapsulation process was carried out using the methods of simple diffusion into living cells. *Saccharomyces cerevisiae*. For this, encapsulation modes were used under the conditions of a thermostatically controlled shaker; the duration of the process reached 23 hours.

Results. The results of the studies showed that the time factor made a significant contribution to increasing the efficiency of encapsulation. There is a clear positive dependence of the increase in the efficiency of encapsulation on the duration of the administration process. The contribution of the yeast : biological ratio used in encapsulation of the active substance is not so noticeable. Based on the results obtained using the method of two factor regression analysis, mathematical models that adequately describe the dependence of the efficiency of the encapsulation process on the duration of encapsulation and the ratio of yeast : biologically active substance. This made it possible to establish optimal modes of encapsulation of biologically active substances in yeast cells.

Conclusions. The conducted studies confirmed the possibility of encapsulation of the studied representatives of polyphenols in living cells of the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. However, the maximum encapsulation efficiency obtained is 50.1%, indicate the need to find ways to improve this process.

KEYWORDS

plant polyphenols, encapsulation, yeast *Saccharomyces cerevisiae*, encapsulation efficiency, optimization

ВВЕДЕНИЕ

Микроинкапсуляция — это метод, который сегодня вызывает особый интерес исследователей в области фармацевтики, разработки БАД и функциональных пищевых ингредиентов. Он определяется как процесс, в котором микрочастицы активного компонента (антиоксиданта, витамина, натурального красителя, фермента и т. д.) окружены другим материалом, выполняющим защитную функцию, что приводит к образованию небольших капсул (Фаткуллин и соавт., 2021). Инкапсуляция позволяет обеспечить стабильность активного соединения, поскольку материал капсулы действует как физический барьер для кислорода или других молекул, предотвращая нежелательные химические реакции (Jade et al., 2020). Кроме того, защитная капсула призвана предотвращать потерю свойств активного соединения в составе сложных пищевых систем, в процессе технологии производства, а также от ферментативного разрушения при переваривании (Nagy et al., 2012). Несомненным преимуществом технологии инкапсуляции является возможность обеспечения контролируемого высвобождения активного компонента (Serra et al., 2010).

Стабильность и свойства инкапсулированного вещества напрямую зависят от материала капсулы. Для технологий пищевых производств приоритетным требованием является использование для инкапсуляции веществ, разрешенных в пищевой промышленности (Nagy et al., 2012). На сегодняшний день в литературе представлены исследования по использованию в технологиях инкапсуляции биологически активных веществ (БАВ) капсульных систем на основе углеводов: модифицированного крахмала, мальтодекстрина, циклодекстрина, камедей; белков: казеина, сывороточного альбумина, зеина; липидов: наноэмульсий, липосом и т.д. (González et al., 2011).

Одним из новых подходов к инкапсуляции БАВ можно рассматривать использование в качестве защитной капсулы дрожжевой клетки, в частности *Saccharomyces cerevisiae*. Дрожжи широко используются в пищевой и перерабатывающей промышленности, играя ключевую роль в ферментативных процессах. Они могут рассматриваться как разрешенные в пищевой отрасли ингредиенты, хорошо

изученные и недорогие (Shishikura et al., 2006). Исследования показывают, что свойства фосфолипидных мембран дрожжевой клетки схожи с липосомами и могут использоваться для инкапсуляции как гидрофобных, так и гидрофильных молекул (Schramm et al., 2003). В литературе представлены исследования по инкапсуляции в дрожжевые клетки 98 различных веществ, охватывая большой диапазон значений липофильности (обозначаемый $\log P$), которые показали, что эффективность инкапсуляции может достигать 50 % для веществ со значением $\log P$, выше 2 (Shumin et al., 2017; Sugiyama et al., 2007). По сравнению с липосомами дрожжевая клетка имеет дополнительное преимущество за счет внешней толстой клеточной стенки (Uchiyama et al., 2011), механическую прочность которой обеспечивают ряд веществ, среди них, β -глюкан и хитин (Yi et al., 2006; Yuksel et al., 2009; Tomás-Barberán et al., 2012). Биодоступность инкапсулированных биологически активных веществ в клетки дрожжей в жизнеспособном и плазмолизированном состоянии изучалась рядом авторов (Young et al., 2020; Leung et al., 2008), которые показали, что дрожжевая клетка способна эффективно сохранять биологически активные вещества в условиях желудочно-кишечного переваривания. Так, инкапсуляция куркумина в дрожжевые клетки позволила успешно минимизировать процесс его деградации на стадии желудка, обеспечивая максимальный выход из дрожжевой клетки на стадии кишечника (Young et al., 2020).

При этом, в литературе представлены противоречивые данные о влиянии молекулярной массы веществ на их способность свободно проникать в дрожжевые клетки (Zhang et al., 2017). Исследования Round и Nelson¹ показывают, что свободное проникновение в дрожжевую клетку за счет процессов диффузии возможно только для веществ с молекулярной массой менее 760. Тогда как, в открытых источниках можно найти отдельные результаты экспериментальных исследований, подтверждающие возможность инкапсуляции в дрожжевые клетки соединений с молекулярной массой до 20 000 (Калинина и соавт., 2019).

В рамках настоящего исследования была сформулирована гипотеза о возможности инкапсуляции выражено гидрофобных веществ полифенольной природы в живые клетки дрожжей *Saccharomyces*

¹ Round, A., & Nelson, G. (2006). UK Patent № 2424408. *Encapsulation using microbial cells*. Micap PLC.

cerevisiae. При этом оценивалось влияние продолжительности инкапсуляции и соотношения дрожжи: БАВ на эффективность процесса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве активных соединений были выбраны рутин, дигидрокверцетин и ресвератрол, как сильные антиоксиданты, представляющие различные классы полифенолов. Свойства этих веществ и молекулярное строение представлены в Таблице 1 и на Рисунке 1. В качестве инкапсулирующего материала использовали коммерчески доступные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*.

Условия инкапсуляции

Инкапсуляцию полифенолов в дрожжевые клетки проводили в водной среде при соотношении компонентов дрожжи : БАВ, равной 3 : 1; 5 : 1 и 7 : 1

Таблица 1

Физико-химические свойства полифенолов (Фаткуллин, 2021)

Свойство	Значение		
	Рутин	Ресвератрол	Дигидрокверцетин
Растворимость в воде	3,54 г/л	0,069 г/л	1,16 г/л
log P	0,15	2,57	1,07
Количество акцепторов водорода	16	3	7
Количество доноров водорода	10	3	5
Количество бензойных колец	5	2	3
Молекулярная масса	610,5	228,3	304,3

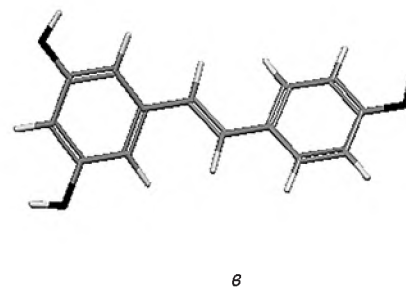
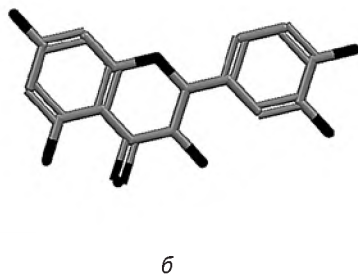
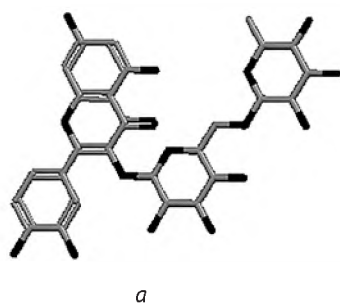


Рисунок 1

Пространственная структура молекул рутина (а), дигидрокверцетин (б), ресвератрола (в)

по массе. Использовался гидромодуль (соотношение сухие компоненты : вода) 1 : 50.

Инкапсуляцию проводили в термостатируемом встряхивателе при 200 об/мин, температуре 28 °С в течение 23 часов. Контроль эффективности инкапсуляции проводили в трех временных точках: через 1, 12 и 23 часа. Эффективность инкапсуляции (ЭИ) определяли как отношение БАВ, инкапсулированных, к количеству БАВ, оставшемуся на поверхности клеток дрожжей, по методике (Калинина, 2019).

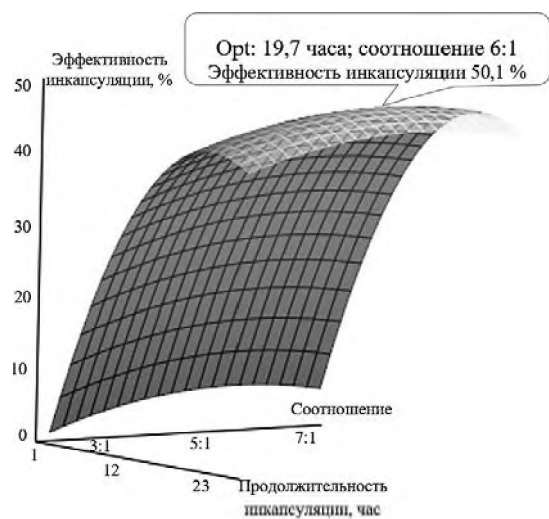
Для определения содержания неинкапсулированных БАВ к 0,1 г густой суспензии добавляли 10 мл этанола, аккуратно перемешивали и определяли содержание БАВ в надосадочной жидкости (Potoroko et al., 2017).

Для определения общего содержания БАВ на поверхности капсул и инкапсулированного к 0,1 г густой суспензии дрожжей добавляли 10 мл этанола и 10 мл 5н HCl, активно перемешивали до разрушения капсул. Затем центрифугировали 5 мин при 5000g и определяли содержание БАВ в надосадочной жидкости.

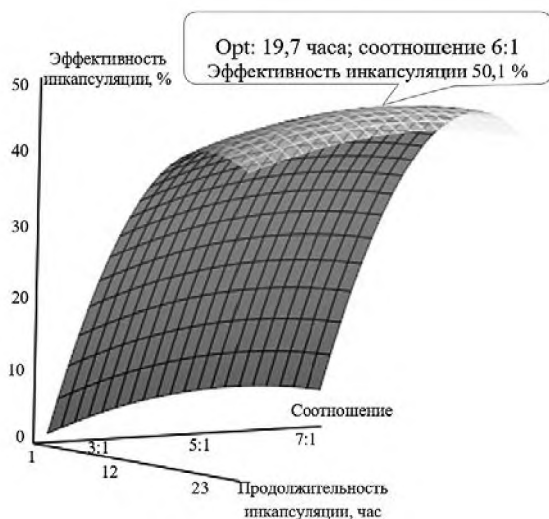
Эффективность инкапсуляции в % рассчитывали по формуле:

$$\text{ЭИ (\%)} = \frac{X1 - X0}{X2} \frac{X1 - X0}{X2} \times 100, \quad (1)$$

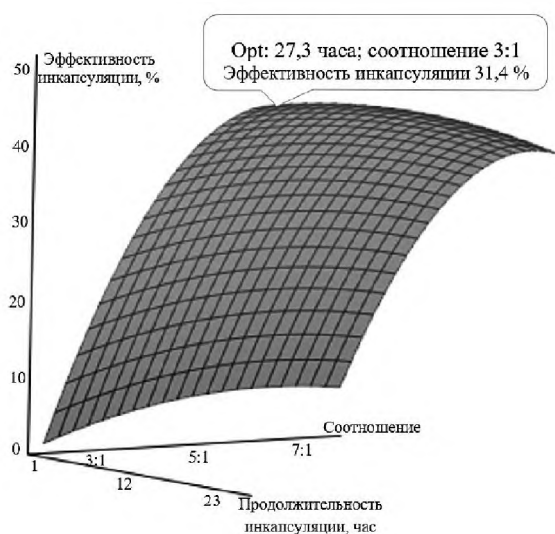
где X1 — общее содержание БАВ (после процедуры разрушения капсул), мг; X0 — содержание неинкапсулированного БАВ, мг; X2 — количество БАВ, добавленное при инкапсуляции, мг.



а



б



в

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты определения динамики эффективности инкапсуляции исследуемых веществ представлены в Таблице 2.

На основании полученных результатов была проведена математическая обработка данных с применением двухфакторного регрессионного анализа и определено оптимальное сочетание регулируемых параметров для достижения наиболее высоких значений эффективности инкапсуляции из веществ в клетки дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* (Рисунок 2).

Таблица 2

Эффективность инкапсуляции исследуемых полифенолов в клетки дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*

Продолжительность инкапсуляции, час	Значение ЭИ, %		
	Рутин	Дигидрокверцетин	Ресвератрол
Соотношение дрожжи : БАВ = 3 : 1			
1	5,6 ± 0,3	3,4 ± 0,2	3,1 ± 0,3
12	35,8 ± 0,2	22,7 ± 0,2	19,1 ± 0,2
23	42,4 ± 0,4	31,4 ± 0,3	30,5 ± 0,3
Соотношение дрожжи : БАВ = 5 : 1			
1	6,1 ± 0,3	3,8 ± 0,2	3,0 ± 0,3
12	41,2 ± 0,4	24,4 ± 0,3	20,5 ± 0,4
23	49,3 ± 0,3	31,9 ± 0,3	31,2 ± 0,3
Соотношение дрожжи : БАВ = 7 : 1			
1	7,1 ± 0,2	3,6 ± 0,2	3,4 ± 0,2
12	43,4 ± 0,2	24,4 ± 0,3	23,5 ± 0,4
23	43,3 ± 0,2	31,8 ± 0,3	31,9 ± 0,3

Рисунок 2

Результаты математического моделирования эффективности инкапсуляции рутина (а), дигидрокверцетина (б) и ресвератрола (в)

$$a - Y_1 = -0,116X_1^2X_2^2 - 0,65X_2^2X_2^2 - 8,533 \cdot 10^{-3}X_1X_2 + 4,632X_1 + 7,439X_2 - 17,416;$$

$$б - Y_1 = -0,051X_1^2X_2^2 - 0,121X_2^2X_2^2 + 1,732 \cdot 10^{-3}X_1X_2 + 2,5X_1 + 1,379X_2 - 2,407;$$

$$в - Y_1 = -0,053X_1^2X_2^2 - 0,371X_2^2X_2^2 - 0,088X_1X_2 + 2,631X_1 + 4,556X_2 - 11,501$$

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют о значительной вариабельности процесса инкапсуляции исследуемых полифенолов в клетки дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* (Das et al., 2010). Наиболее высокие значения эффективности инкапсуляции были установлены для рутина, более чем в 1,5 раза превышающие эффективность инкапсуляции ди-гидрокверцетина и ресвератрола (Potoroko et al., 2018). Объяснением этому факту может являться более высокая растворимость рутина в воде, установленная нами в предыдущих исследованиях (Калинина и соавт., 2022).

Весомый вклад в повышение эффективности инкапсуляции внес временной фактор (Weston & Mathesius, 2004). Наблюдается четкая положительная зависимость роста эффективности инкапсуляции от продолжительности ведения процесса. Так, через 12 часов эффективность инкапсуляции увеличивается в 6–7 раз, не зависимо от вида вещества и соотношения дрожжи:БАВ. Положительное влияние продолжительности процесса инкапсуляции на его эффективность являлось ожидаемым и согласуется с данными, представленными в литературе. Определяется это, вероятно, вкладом двух факторов: постепенным увеличением доли растворенных полифенолов и ростом биомассы дрожжей, способных инкапсулировать биологически активные вещества.

Проведенные исследования показали, что вклад используемого при инкапсуляции соотношения дрожжи:БАВ не столь ощутим. Некоторый прирост значения эффективности инкапсуляции при увеличении массы дрожжей к массе БАВ был отмечен для рутина. Эффективность инкапсуляции рутина в течение 23 часов при соотношении дрожжи:БАВ, равном 7:1, превышала эффективность инкапсуляции в течение 24 часов при соотношении дрожжи:БАВ, равном 3:1 на 21 %. Для ди-гидрокверцетина и ресвератрола такого весомого роста эффективности инкапсуляции в зависимости от используемого соотношения дрожжи:БАВ не наблюдалось, прирост составлял 4–5 %.

Вместе с тем, важной задачей проводимого исследования представлялось отслеживание влияния полифенолов на развитие дрожжевой культуры. Ряд исследований, представленных в литературе

(Soares, 2012), показывает возможность возникновения полифенольного стресса у дрожжей при избыточном количестве БАВ в системе (Tuohy et al., 2012), что в целом может тормозить процессы жизнедеятельности этих микроорганизмов и как следствие замедлять диффузионный перенос БАВ через мембрану дрожжевой клетки.

ВЫВОДЫ

Проведенные нами исследования подтвердили возможность инкапсуляции исследуемых представителей полифенолов в живые клетки дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* методом простой диффузии. Вместе с тем, эффективность инкапсуляции, даже при значительных временных затратах, едва достигает 50 %. Такие результаты могут объясняться низкой растворимостью данных веществ в воде, их склонностью к полимеризации и укрупнению размеров частиц. Полученные результаты указывают на необходимость поиска решения этой проблемы, в качестве возможных направлений может стать предварительное наноструктурирование полифенолов (Verma et al., 2009), например с использованием ультразвукового воздействия (Tyukavkina et al., 1967; Blokhina et al., 2014). Вместе с тем, для полного понимания спектра необходимых для решения задач, следует провести дополнительные исследования растворимости изучаемых полифенолов, в частности в 1-октанол (веществе, имитирующем биологические жидкости), провести расчеты термодинамических характеристик процессов растворения, установить дисперсный состав частиц полифенолов в системе, что составляет основу будущих исследований.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Калинина И. В.: создание рукописи и ее редактирование.

Науменко Н. В.: создание черновика рукописи.

Фаткуллин Р. И.: верификация данных.

Попова Н. В.: визуализация.

Науменко Е. Е.: проведение исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- Калинина, И. В., Потороко, И. Ю., Фаткуллин, Р. И., Иванова, Д., Канева-Киселова, Й., & Сонавэйн, Ш. (2019). Повышение биоактивности дигидрокверцетина на основе ультразвуковой микронизации. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, (1), 27–33.
- Калинина, И. В. (2019). Исследование стабильности наномульсий с дигидрокверцетином, полученных на основе ультразвукового воздействия. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Пищевые и биотехнологии*, 7(3), 52–58. <https://www.doi.org/10.14529/food190306>
- Калинина, И. В., Попова, Н. В., Фаткуллин, Р. И., Науменко, Е. Е., & Васильев, А. К. (2022). Оценка растворимости биоактивных минорных соединений полифенольной природы. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Пищевые и биотехнологии*, 10(1), 98–106. <https://www.doi.org/10.14529/food220111>
- Фаткуллин, Р. И., Васильев, А. К., Калинина И. В., Брызгалова А. Д., & Семиздралов И. А. (2021). Влияние процесса инкапсуляции на сохранение антиоксидантных свойства флавоноидов. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Пищевые и биотехнологии*, 9(1), 38–47. <https://www.doi.org/10.14529/food210105>
- Blokhina, S. V., Volkova, T. V., Ol'Khovich, M. V., Sharapova, A. V., Proshin, A. N., & Perlovich, G. L. (2014). Solubility and solution thermodynamics of novel bicyclic derivatives of 1,3-selenazine in biological relevant solvents. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 59(7), 2298–2230. <https://www.doi.org/10.1021/jc500363r>
- Das, R. K., Kasoju, N., & Bora, U. (2010). Encapsulation of curcumin in alginate-chitosan-pluronic composite nanoparticles for delivery to cancer cells. *Nanomedicine*, 6(1), 153–160. <https://www.doi.org/10.1016/j.nano.2009.05.009>
- González, R., Ballester, I., López-Posadas, R., Suárez, M.D., Zarzuelo, A., Martínez-Augustin, & Sánchez de Medina, O. F. (2011). Effects of flavonoids and other polyphenols on inflammation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(4), 331–362. <https://www.doi.org/10.1080/10408390903584094>
- Jade, L., Ralaivao, M., Berta, N., & Estevinho, F. R. (2020). A new approach for the microencapsulation of curcumin by a spray drying method, in order to value food products. *Powder Technology*, 362, 428–435. <https://www.doi.org/10.1016/j.powtec.2019.11.095>
- Leung, M. H. M., Colangelo, H., & Kee, T. W. (2008). Encapsulation of curcumin in cationic micelles suppresses alkaline hydrolysis. *Langmuir*, 24(11), 5672–5675. <https://doi.org/10.1021/la800780w>
- Nagy, K., Courtet-Compondu, M.C., Williamson, G., Rezzi, S., Kussmann, M., & Rytz, A. (2012). Noncovalent binding of proteins to polyphenols correlates with their amino acid sequence. *Food Chemistry*, 132(3), 1333–1339. <https://www.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.113>
- Potoroko, I. U., Kalinina, I. V., Naumenko, N. V., Fatkul-lin, R. I., Shaik, S., Sonawane, S. H., Ivanova, D., Kiselova-Kaneva, Y., Tolstykh, O., & Paymulina, A. V. (2017). Possibilities of regulating antioxidant activity of medicinal plant extracts. *Human. Sport. Medicine*, 17(4), 77–90. <https://www.doi.org/10.14529/hsm170409>
- Potoroko, I. Y., Kalinina, I. V., Naumenko, N. V., Fatkul-lin, R. I., Nenasheva, A. V., Uskova, D. G., Sonawane, S. H., Ivanova, D. G., & Velyamov, M. T. (2018). Sonochemical micronization of taxifolin aimed at improving its bioavailability in drinks for athletes. *Human. Sport. Medicine*, 18(3), 90–100. <https://www.doi.org/10.14529/hsm180309>
- Schramm, D. D., Karim, M., Schrader, H. R., Holt, R. R., Kirkpatrick, N. J. Polagruto, J. A., Ensuna, J. L., Schmitz, H. H., & Keen, C. L. (2003). Food effects on the absorption and pharmacokinetics of cocoa flavanols. *Life Sciences*, 73(3), 857–869. [https://www.doi.org/10.1016/S0024-3205\(03\)00373-4](https://www.doi.org/10.1016/S0024-3205(03)00373-4)
- Serra, A., Macià, A., Romero, M. P., Valls, J., & Bladé, C. (2010). Bioavailability of procyanidin dimmers and trimers and food matrix effect in vitro and in vivo models. *British Journal of Nutrition*, 103(7), 944–952. <https://www.doi.org/10.1017/s0007114509992741>
- Shishikura, Y., Khokhar, S., & Murray, B. S. (2006). Effects of tea polyphenols on emulsification of olive oil in a small intestine model system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(5), 1906–1913. <https://www.doi.org/10.1021/jf051988p>
- Shumin, W., Ye, F., Wei, F., & Zhao, G. (2017). Spray-drying of curcumin-loaded octenylsuccinated corn dextrin micelles stabilized with maltodextrin. *Powder Technology*, 307, 56–62. <https://www.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.11.018>
- Soares, S., Mateus, N., & de Freitas, V. (2012). Interaction of different classes of salivary proteins with food tannins. *Food Research International*, 49, 807–813. <https://www.doi.org/10.1016/j.foodres.2012.09.008>
- Sugiyama, H., Akazome, Y., Shoji, T., Yamaguchi, A., Yasue, M. & Ohtake, Y. (2007). Oligomeric procyanidins in apple polyphenol are main active components for inhibition of pancreatic lipase and triglyceride absorption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(11), 4604–4609. <https://www.doi.org/10.1021/jf070569k>
- Tomás-Barberán, F. A., & Andrés-Lacueva, C. (2012). Polyphenols and health: Current state and progress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(36), 8773–8775. <https://www.doi.org/10.1021/jf300671j>
- Tuohy, K. M., Conterno, L., Gesperotti, M., & Viola R. (2012). Up-regulating the human intestinal microbiome using whole plant foods, polyphenols, and/or fiber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(36), 8776–8782. <https://www.doi.org/10.1021/jf2053959>
- Tyukavkina, N. A., Lapteva, K. I., & Pentegova, V. A. (1967). Flavonoids of *larix dahurica*. *Khimiya Prirodnikh Soedinenii*, 3, 232–233. <https://www.doi.org/10.1007/BF00564126>

- Uchiyama, S., Taniguchi, Y., Saka, A., Yoshida, A., & Yajima, H. (2011). Prevention of diet-induced obesity by dietary black tea polyphenols extract in vitro and in vivo. *Nutrition*, 27(3), 287–292. <https://www.doi.org/10.1016/j.nut.2010.01.019>
- Verma, B., Hucl, P., & Chibbar, R. N. (2009). Phenolic acid composition and antioxidant capacity of acid and alkali hydrolysed wheat bran fractions. *Food Chemistry*, 116(4), 947–954. <https://www.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.060>
- Weston, L. A., & Mathesius, U. (2013). Flavonoids: Their structure, biosynthesis and role in the rhizosphere, including allelopathy. *Journal of Chemical Ecology*, 39(2), 283–297. <https://www.doi.org/10.1007/s10886-013-0248-5>
- Yi, W., Akoh, C. C., Fischer, J., & Krewer, G. (2006). Absorption of anthocyanins from blueberry extracts by Caco-2 human intestinal cell monolayers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(15), 5651–5658. <https://www.doi.org/10.1021/jf0531959>
- Young, S., Rai, R., & Nitin, N. (2020). Bioaccessibility of curcumin encapsulated in yeast cells and yeast cell wall particles. *Food Chemistry*, 309, Article 125700. <https://www.doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125700>
- Yuksel, Z., Avci, E., & Erdem, Y. K. (2010). Characterization of binding interactions between green tea flavonoids and milk proteins. *Food Chemistry*, 121(2), 450–456. <https://www.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.064>
- Zhang, H., Wang, M., Chen, L., & Qi, A. (2017). Structure-solubility relationships and thermodynamic aspects of solubility of some flavonoids in the solvents modeling biological media. *Journal of Molecular Liquids*, 225, 439–445. <https://www.doi.org/10.1016/j.molliq.2016.11.036>

REFERENCES

- Fatkullin, R. I., Vasil'ev, A. K., Kalinina I. V., Bryzgalova A. D., & Semizdravov I. A. (2021). Vliyanie protsessa inkapsulyatsii na sokhranenie antioksidantnykh svoistva flavonoidov [The effect of the encapsulation process on the preservation of antioxidant properties of flavonoids]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Pishchevye i biotekhnologii* [Bulletin of the South Ural State University. Food and biotechnology], 9(1), 38–47. <https://www.doi.org/10.14529/food210105>
- Kalinina, I. V. (2019). Issledovanie stabil'nosti nanoemul'sii s digidrokvertsetinom, poluchennykh na osnove ul'trazvukovogo vozdeistviya [Stability study of nanoemulsions with dihydroquercetin obtained on the basis of ultrasound exposure]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Pishchevye i biotekhnologii* [Bulletin of the South Ural State University. Food and biotechnology], 7(3), 52–58. <https://www.doi.org/10.14529/food190306>
- Kalinina, I. V., Popova, N. V., Fatkullin, R. I., Naumenko, E. E., & Vasil'ev, A. K. (2022). Otsenka rastvorimosti bioaktivnykh minornykh soedinenii polifenol'noi prirody [Evaluation of solubility of bioactive minor compounds of polyphenolic nature]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Pishchevye i biotekhnologii* [Bulletin of the South Ural State University. Food and biotechnology], 10(1), 98–106. <https://www.doi.org/10.14529/food220111>
- Kalinina, I. V., Potoroko, I. Yu., Fatkullin, R. I., Ivanova, D., Kaneva-Kiselova, I., & Sonavein, Sh. (2019). Povyshenie bioaktivnosti digidrokvertsetina na osnove ul'trazvukovoi mikronizatsii [Increasing the bioactivity of dihydroquercetin based on ultrasonic micronization]. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov* [Technology and Commodity Science of Innovative Food Products], (1), 27–33.
- Blokhina, S. V., Volkova, T. V., Ol'Khovich, M. V., Sharapova, A. V., Proshin, A. N., & Perlovich, G. L. (2014). Solubility and solution thermodynamics of novel bicyclic derivatives of 1,3-selenazine in biological relevant solvents. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 59(7), 2298–2230. <https://www.doi.org/10.1021/je500363r>
- Das, R. K., Kasoju, N., & Bora, U. (2010). Encapsulation of curcumin in alginate-chitosan-pluronic composite nanoparticles for delivery to cancer cells. *Nanomedicine*, 6(1), 153–160. <https://www.doi.org/10.1016/j.nano.2009.05.009>
- González, R., Ballester, I., López-Posadas, R., Suárez, M.D., Zarzuelo, A., Martínez-Augustin, & Sánchez de Medina, O. F. (2011). Effects of flavonoids and other polyphenols on inflammation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(4), 331–362. <https://www.doi.org/10.1080/10408390903584094>
- Jade, L., Ralaivao, M., Berta, N., & Estevinho, F. R. (2020). A new approach for the microencapsulation of curcumin by a spray drying method, in order to value food products. *Powder Technology*, 362, 428–435. <https://www.doi.org/10.1016/j.powtec.2019.11.095>
- Leung, M. H. M., Colangelo, H., & Kee, T. W. (2008). Encapsulation of curcumin in cationic micelles suppresses alkaline hydrolysis. *Langmuir*, 24(11), 5672–5675. <https://www.doi.org/10.1021/la800780w>
- Nagy, K., Courtet-Compondu, M.C., Williamson, G., Rezzi, S., Kussmann, M., & Rytz, A. (2012). Noncovalent binding of proteins to polyphenols correlates with their amino acid sequence. *Food Chemistry*, 132(3), 1333–1339. <https://www.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.113>
- Potoroko, I. U., Kalinina, I. V., Naumenko, N. V., Fatkullin, R. I., Shaik, S., Sonawane, S. H., Ivanova, D., Kiselova-Kaneva, Y., Tolstykh, O., & Paymulina, A. V. (2017). Possibilities of regulating antioxidant activity of medicinal plant extracts. *Human. Sport. Medicine*, 17(4), 77–90. <https://www.doi.org/10.14529/hsm170409>
- Potoroko, I. Y., Kalinina, I. V., Naumenko, N. V., Fatkullin, R. I., Nenasheva, A. V., Uskova, D. G., Sonawane, S. H., Ivanova, D. G., & Velyamov, M. T. (2018). Sonochemical micronization of taxifolin aimed at improving its bioavailability in

- drinks for athletes. *Human. Sport. Medicine*, 18(3), 90–100. <https://www.doi.org/10.14529/hsm180309>
- Schramm, D. D., Karim, M., Schrader, H. R., Holt, R. R., Kirkpatrick, N. J., Polagruto, J. A., Ensunsa, J. L., Schmitz, H. H., & Keen, C. L. (2003). Food effects on the absorption and pharmacokinetics of cocoa flavanols. *Life Sciences*, 73(3), 857–869. [https://www.doi.org/10.1016/S0024-3205\(03\)00373-4](https://www.doi.org/10.1016/S0024-3205(03)00373-4)
- Serra, A., Macià, A., Romero, M. P., Valls, J., & Bladé, C. (2010). Bioavailability of procyanidin dimmers and trimers and food matrix effect in vitro and in vivo models. *British Journal of Nutrition*, 103(7), 944–952. <https://www.doi.org/10.1017/s0007114509992741>
- Shishikura, Y., Khokhar, S., & Murray, B. S. (2006). Effects of tea polyphenols on emulsification of olive oil in a small intestine model system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(5), 1906–1913. <https://www.doi.org/10.1021/jf051988p>
- Shumin, W., Ye, F., Wei, F., & Zhao, G. (2017). Spray-drying of curcumin-loaded octenylsuccinated corn dextrin micelles stabilized with maltodextrin. *Powder Technology*, 307, 56–62. <https://www.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.11.018>
- Soares, S., Mateus, N., & de Freitas, V. (2012). Interaction of different classes of salivary proteins with food tannins. *Food Research International*, 49, 807–813. <https://www.doi.org/10.1016/j.foodres.2012.09.008>
- Sugiyama, H., Akazome, Y., Shoji, T., Yamaguchi, A., Yasue, M., & Ohtake, Y. (2007). Oligomeric procyanidins in apple polyphenol are main active components for inhibition of pancreatic lipase and triglyceride absorption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(11), 4604–4609. <https://www.doi.org/10.1021/jf070569k>
- Tomás-Barberán, F. A., & Andrés-Lacueva, C. (2012). Polyphenols and health: Current state and progress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(36), 8773–8775. <https://www.doi.org/10.1021/jf300671j>
- Tuohy, K. M., Conterno, L., Gesperotti, M., & Viola R. (2012). Up-regulating the human intestinal microbiome using whole plant foods, polyphenols, and/or fiber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(36), 8776–8782. <https://www.doi.org/10.1021/jf2053959>
- Tyukavkina, N. A., Lapteva, K. I., & Pentegova, V. A. (1967). Flavonoids of *Larix dahurica*. *Khimiya Prirodnikh Soedinenii*, 3, 232–233. <https://www.doi.org/10.1007/BF00564126>
- Uchiyama, S., Taniguchi, Y., Saka, A., Yoshida, A., & Yajima, H. (2011). Prevention of diet-induced obesity by dietary black tea polyphenols extract in vitro and in vivo. *Nutrition*, 27(3), 287–292. <https://www.doi.org/10.1016/j.nut.2010.01.019>
- Verma, B., Hucl, P., & Chibbar, R. N. (2009). Phenolic acid composition and antioxidant capacity of acid and alkali hydrolysed wheat bran fractions. *Food Chemistry*, 116(4), 947–954. <https://www.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.060>
- Weston, L. A., & Mathesius, U. (2013). Flavonoids: Their structure, biosynthesis and role in the rhizosphere, including allelopathy. *Journal of Chemical Ecology*, 39(2), 283–297. <https://www.doi.org/10.1007/s10886-013-0248-5>
- Yi, W., Akoh, C. C., Fischer, J., & Krewer, G. (2006). Absorption of anthocyanins from blueberry extracts by Caco-2 human intestinal cell monolayers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(15), 5651–5658. <https://www.doi.org/10.1021/jf0531959>
- Young, S., Rai, R., & Nitin, N. (2020). Bioaccessibility of curcumin encapsulated in yeast cells and yeast cell wall particles. *Food Chemistry*, 309, Article 125700. <https://www.doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125700>
- Yuksel, Z., Avci, E., & Erdem, Y. K. (2010). Characterization of binding interactions between green tea flavonoids and milk proteins. *Food Chemistry*, 121(2), 450–456. <https://www.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.064>
- Zhang, H., Wang, M., Chen, L., & Qi, A. (2017). Structure-solubility relationships and thermodynamic aspects of solubility of some flavonoids in the solvents modeling biological media. *Journal of Molecular Liquids*, 225, 439–445. <https://www.doi.org/10.1016/j.molliq.2016.11.036>

УДК 664.1

Влияние плодовоовощных порошков на кристаллизационные и реологические свойства кондитерской глазури

Э. В. Мазукабзова, Л. В. Зайцева

Всероссийский
научно-исследовательский институт
кондитерской промышленности —
филиал ФГБУН «ФНЦ пищевых систем
им. В.М. Горбатова» РАН

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Мазукабзова Элла Витальевна

Адрес: 107023, Москва,
ул. Электrozаводская д.20, стр.3
E-mail: ryabkovaella@mail.ru

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

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Мазукабзова, Э. В., & Зайцева, Л. В. (2022). Влияние плодовоовощных порошков на кристаллизационные и реологические свойства кондитерской глазури. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3). <https://doi.org/10.36107/spfrp.2022.352>

ПОСТУПИЛА: 11.08.2022

ПРИНЯТА: 15.09.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:

Всероссийский
научно-исследовательский институт
кондитерской промышленности —
филиал ФГБУН «ФНЦ пищевых систем
им. В.М. Горбатова» РАН



АННОТАЦИЯ

Введение. Глазированные кондитерские изделия отличаются более привлекательным внешним видом и пролонгированным сроком годности. При этом кондитерская глазурь имеет высокое содержание сахара и низкое содержание физиологически значимых веществ, поэтому снижение содержания в ней сахара путем частичной замены его на плодовоовощные порошки, богатые пищевыми волокнами и биологически активными веществами, является актуальным.

Цель. Установить влияние количества плодовоовощных порошков, полученных из различных сельскохозяйственных культур (свеклы, яблока, моркови) с учетом их жиропоглотительной способности на кристаллизационные и реологические свойства кондитерской глазури.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись образцы кондитерской глазури, произведенные в лабораторных условиях с применением заменителя масло-какао нетемпераемого лауринового типа, какао-порошка, сахарной пудры и плодовоовощных порошков, полученных из свеклы, яблока и моркови. В качестве контрольного образца использовали кондитерскую глазурь, полученную по классической рецептуре.

Результаты. Жиропоглотительная способность плодовоовощных порошков оказывает существенное влияние на структурно-механические показатели глазури и ее технологичность. Установлено, что увеличение количества порошка во всех случаях увеличивает у глазури предел текучести по Кассону. Однако в случае использования порошков со средней (из яблока) и высокой (из моркови) жиропоглотительной способностью предел текучести превышал оптимальные значения при концентрации порошков 13 % и составлял 9,6–10,0 Па, что делает глазурь не технологичной. Внесение порошка свеклы с низкой жиропоглотительной способностью в количестве 20% приводило к увеличению предела текучести с 1,6 Па (контроль без порошка) до 2,57 Па. С повышением количества плодовоовощных порошков во всех случаях отмечено увеличение времени кристаллизации кондитерской глазури. Органолептическим анализом глазурей установлены оптимальные концентрации в ней порошков: свеклы (рН 6,9) — 11–15 %; яблока и моркови (рН 4,4–4,7) — 11%.

Выводы. На основании полученных данных сделано заключение, что использование плодовоовощных порошков с различной жиропоглотительной способностью и значениями рН позволяет вырабатывать в соответствии с ГОСТ 53897 фруктовые/овощные глазури с содержанием плодовоовощного сырья не менее 10 %. Это существенно расширит ассортимент кондитерских глазурей с различным вкусовым профилем, со сниженным содержанием сахара и увеличенным содержанием пищевых волокон.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

фруктовая кондитерская глазурь, овощная кондитерская глазурь, плодовоовощные порошки, пищевые волокна, предел текучести, характеристика кристаллизации, жиропоглотительная способность

The Effect of Fruit and Vegetable Powders on the Crystallization and Rheological Properties of Confectionery Glaze

Ella V. Mazukabzova, Larisa V. Zaitseva

All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry – branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Science buildings

CORRESPONDENCE:

Ella V. Mazukabzova

20, Elektrozavodskaya str., Moscow, 107023, Russian Federation
E-mail: conditerprom@mail.ru

FOR CITATIONS:

Mazukabzova, E. V., & Zaitseva, L. V. The Effect of Fruit and Vegetable (2022). Powders on the crystallization and rheological properties of confectionery glaze. *Storage and Processing of Farm Products*, (3).
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.352>

RECEIVED: 11.08.2022

ACCEPTED: 15.09.2022

PUBLISHED: 30.09.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction. Glazed confectionery products have a more attractive appearance and a prolonged shelf life. At the same time, confectionery glaze has a high sugar content and a low content of physiologically significant substances, therefore, reducing the sugar content in it by partially replacing it with fruit and vegetable powders rich in dietary fiber and biologically active substances is relevant.

Purpose. To establish the influence of the amount of fruit and vegetable powders obtained from various agricultural crops (beets, apples, carrots), taking into account their fat-absorbing ability, on the crystallization and rheological properties of confectionery glaze.

Materials and Methods. The objects of the study were samples of confectionery glaze produced under laboratory conditions using a non-temperable lauric type cocoa butter-cocoa substitute, cocoa powder, powdered sugar and fruit and vegetable powders obtained from beets, apples and carrots. As a control sample, a confectionery glaze obtained according to the classical recipe was used.

Results. The fat-absorbing ability of fruit and vegetable powders has a significant impact on the structural and mechanical properties of the glaze and its manufacturability. It has been established that an increase in the amount of powder in all cases increases the Casson yield strength of the glaze. However, in the case of using powders with medium (from apple) and high (from carrot) fat-absorbing ability, the yield strength exceeded the optimal values at a concentration of powders of 13 % and amounted to 9.6–10.0 Pa, which makes the glaze not technologically advanced. The addition of beetroot powder with low fat absorption capacity of 20 % resulted in an increase in the yield strength from 1.6 Pa (no powder control) to 2.57 Pa. With an increase in the amount of fruit and vegetable powders, in all cases, an increase in the crystallization time of the confectionery glaze was noted. Organoleptic analysis of glazes established the optimal concentrations of powders in it: beets (pH 6.9) – 11–15 %; apples and carrots (pH 4.4–4.7) – 11 %.

Conclusions. Based on the data obtained, it was concluded that the use of fruit and vegetable powders with different fat-absorbing capacity and pH values makes it possible to produce fruit/vegetable glazes in accordance with GOST 53897 with a content of fruit and vegetable raw materials of at least 10%. This will significantly expand the range of confectionery glazes with different flavor profiles, with a reduced sugar content and an increased content of dietary fiber.

KEYWORDS

fruit confectionery glaze, vegetable confectionery glaze, vegetable powders, dietary fiber, yield strength, crystallization characteristic, fat-absorbing ability

ВВЕДЕНИЕ

Кондитерские изделия чаще всего относятся к группе высококалорийных изделий (калорийность выше 350 ккал/100 г). В России, как и во всем мире ежегодно возрастает количество людей с повышенной массой тела и ожирением (Шарафетдинов & Плотникова, 2020). Учитывая большой ассортимент традиционных кондитерских изделий, перед отраслью стоит задача разработки обогащенных кондитерских изделий с пониженной калорийностью. Таким образом, одним из направлений разработки новых кондитерских изделий является снижение в них количества пустых калорий и повышение пищевой плотности изделия за счет замены высококалорийных ингредиентов (критически значимых), таких как сахар и жир, на полезные нутриенты, обладающие биологической активностью, в частности пищевые волокна (Пырьева & Сафронова, 2019; Шарафетдинов & Плотникова, 2020). Необходимость снижения потребления добавленного сахара отражена в принятой ВОЗ «Глобальной стратегии по питанию, физической активности и здоровью». Установлено, что избыточное потребление сахара имеет прямую корреляцию с развитием ожирения (Warshaw & Edelman, 2021).

В ряду кондитерских изделий глазированная продукция пользуется увеличивающимся спросом благодаря ее более высоким вкусовым характеристикам, внешнему виду и что немаловажно пролонгированным срокам годности (Кондратьев, 2015). Кондитерские изделия, глазированные кондитерской глазурью, имеют более низкую стоимость, чем глазированные шоколадной глазурью, и относятся к продуктам эконом класса, доступным широкому населению, что является немаловажным с учетом падения покупательской способности населения в последние годы. В связи с этим снижение содержания сахара в кондитерской глазури путем частичной замены его на плодоовощные порошки, богатые пищевыми волокнами и биологически активными веществами, является актуальным (Тутельян, 2020).

Продукты переработки овощей и плодов, в том числе в виде плодоовощных порошков, нашли широ-

кое применение при производстве кондитерских изделий не только из-за возможности изменения вкусового профиля изделия и расширения ассортимента кондитерских изделий, но и благодаря содержанию в них пищевых волокон, витаминов, макро-, микроэлементов и других биологически активных веществ. Использование плодоовощного сырья широко распространено при производстве мучных кондитерских изделий (Алексеев и соавт., 2019; Бакин и соавт., 2017; Зайцева и соавт., 2019; Захарова и соавт., 2019; Клочко и соавт., 2017; Меренкова & Полякова, 2018; Шабурова & Кулькова, 2019; Gomes & Martinez, 2018; Kırbaş et al., 2019; Tańska et al., 2016; Theagarajan et al., 2019) и сахаристых изделий (Бакина, & Камоза, 2020; Табаторович & Резниченко, 2019; Ali et al., 2021; Majerska et al., 2019). При этом научные публикации по получению кондитерских глазурей с плодоовощными порошками практически отсутствуют. В работе (Петриченко, 2011) методом планирования многофакторного эксперимента показана возможность использования растительных порошков в глазури, но не изучена кинетика процесса структурирования кондитерской глазури с порошками различной жиропоглощательной способностью.

Получение кондитерских и жировых глазурей с различной модификацией рецептурного состава

Проведенный патентный поиск за прошедшие 10 лет показал незначительное количество изобретений (6 патентов), имеющих отношение к получению кондитерских и жировых глазурей с различной модификацией рецептурного состава за счет снижения содержания сахара или внесения физиологически значимых веществ. Имеются изобретения по частичной или полной замене части сахара в рецептурах жировых глазурей на сухой глюкозный сироп с декстрозным эквивалентом ниже 40 и общим количеством моно- и дисахаридов ниже 10 мас. %, или на натуральные подсластители, такие как экстракт стевии и сок черноплодной рябины^{1,2}. Предложен способ производства жировой глазури для глазирования замороженных сырков при использовании в качестве жировой фазы сливочного масла

¹ Веберлинг, К., Смирнова, О., & Чендрасекаран, Ш. Н. (2016). РФ Патент № 2709714. *Композиция для глазирования замороженного кондитерского изделия и способ ее получения*. Сосьете де Продюи Нестле С.А.

² Воротникова, Т. Е. (2017). РФ Патент № 2640282. *Способ приготовления сахаристых изделий из ягод*. Воротникова Т. Е.

с добавлением семян льна, содержащих омега-3 жирные кислоты и витамины группы В³. Разработаны способы производства глазури функционального назначения пониженной калорийности с заменой сахара на подсластители (лактитол, эритрол, корень солодки) при использовании в качестве жировой фазы масла какао. Разработанные глазури предполагается использовать для создания продуктов, адаптированных к потребностям людей, страдающих сахарным диабетом^{4,5}. Предложен способ производства кондитерской глазури, включающий введение в рецептуру сухих растительных сливок, а также измельченных плодов фруктов и/или ягод и/или овощей в количестве 0,5–2 %, с целью улучшения цвета и вкуса глазури. Внесение большего количества плодоовощных порошков не рассматривалось⁶.

Тематика разработки кондитерских глазури со сниженной калорийностью за счет частичной замены сахара на плодоовощные порошки и изучения их влияния на реологические и кристаллизационные свойства глазури является практически нетронутой областью исследования.

Анализ пищевой ценности сырьевых компонентов кондитерской глазури

На основании литературных данных нами проведен анализ пищевой ценности сухих сырьевых компонентов, используемых в производстве кондитерской глазури и плодоовощных порошков отечественного производства⁷. Полученные представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Химический состав сахарной пудры, какао-порошка и плодоовощных порошков

Наименование продукта	Белки, %	Жиры, %	Углеводы, %	ПВ, %	К, мг %	Са, мг %	Mg, мг %	P, мг %	B ₁ , мг %	B ₂ , мг %	C, мг %	PP, мг %	ЭЦ, ккал
Сахарная пудра	0	0	99,8	0	3	3	0	0	0	0	0	0	399
Какао-порошок	24,3	15,0	10,2	35,3	1509	128	425	655	0,10	0,20	0	1,8	289
<i>Плодоовощные порошки</i>													
Морковный	9,0	1,0	62,0	13,0	2000	520	390	540	0,60	0,20	65	10	293
Свекольный	7,7	0,9	54,6	23,0	2314	360	250	430	0,30	0,40	110	26	257
Тыквенный	9,2	0,3	66,0	12,5	1670	390	145	260	0,50	0,30	85	5	304
Яблочный	8,0	0	68,0	12,5	2420	165	102	120	0,10	0,30	120	3	304
Малиновый	5,0	0,2	52,3	23,3	1411	252	139	233	0,22	0,14	120	0,9	258
Диапазоны содержания веществ, %	3,2÷9,2	0÷1,0	52,3÷73,0	7,9÷23,3	1411÷2420	165÷520	102÷390	120÷540	0,1÷0,7	0,14÷0,6	65÷426	0,9÷26	257÷307

³ Короткова, А. А., Становая, А. М., Мгебришвили, И. В., Селезнева, Е. А., Горлов, И. Ф., Храмова, В. Н., Григорян, Л. Ф., & Серова, О. П. (2018). Патент РФ № 2687832. *Композиция для производства сырка творожного глазированного*. Волгоградский государственный технический университет.

⁴ Тарасенко, Н. А., & Новоженнова, А. Д. (2015). РФ Патент № 2595514. *Функциональная глазурь*. Кубанский государственный технологический университет.

⁵ Тарасенко, Н. А., & Новоженнова, А. Д. (2015). РФ Патент № 2602443. *Глазурь функционального назначения*. Кубанский государственный технологический университет.

⁶ Туманова, А. Е., & Петриченко, В. В. (2007). Патент РФ № 2294109. *Способ производства глазури*. Кубанский государственный технологический университет.

⁷ *Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник*. (2007). М: ДеЛи принт.

Анализ приведенного химического состава сырьевых компонентов позволяет сделать вывод о том, что частичная замена сахарной пудры на плодовоовощные порошки позволит снизить количество простых углеводов в кондитерской глазури за счет обогащения ее в первую очередь пищевыми волокнами, содержание которых в плодовоовощных порошках составляет 12–23 %. Сушеные порошкообразные плоды и овощи также содержат от 3,2 до 9,2 % белка, характеризуется высокой долей калия (1411÷2420 мг %), кальция (165÷520 мг %), магния (102–390 мг %) и фосфора (120–540 мг %), особенно морковный и свекольный порошки. Плодовоовощные порошки богаты витамином С (65÷426 мг %), в морковном и свекольном порошках также отмечено высокое содержание витамина РР (10÷26 мг %).

Анализ химического состава плодовоовощных порошков позволяет обосновать их выбор на основе принципов пищевой комбинаторики для включения в рецептуру кондитерской глазури с целью максимального обогащения пищевыми волокнами и биологически активными веществами. Кроме того, свекольный и морковный порошок являются источниками таких биологически активных веществ, как бетаин, бета-каротин, полифенолы и бета-цианины, обладающих антиоксидантной активностью и играющих важную роль в профилактике сердечно-сосудистых заболеваний и ожирения (Бекетова и соавт., 2019; Кожемяко и др., 2021; Azeredo, 2009; Vasconcellos et al., 2016).

Таким образом, включение в рецептуру кондитерских глазурей плодовоовощных порошков из свеклы, яблока и моркови взамен части сахара позволит повысить потребительские свойства кондитерской глазури за счет увеличения содержания пищевых волокон, витаминов и минеральных веществ.

Обоснование исследования

В настоящее время кондитерская глазурь в соответствии с ГОСТ 53041–2008⁸ может выпускаться на основе заменителей масла какао (ЗМК) двух типов: лауринового и нелауринового. Кондитер-

ская глазурь, получаемая с использованием ЗМК нетемпературируемых нелауринового типа, содержит высокое количество атерогенных транс-изомеров жирных кислот, способствующих развитию сердечно-сосудистых, онкологических заболеваний, ожирения, сахарного диабета, нарушению работы иммунной и нервной систем (Зайцева и соавт., 2021). Вследствие этого для разработки обогащенных видов кондитерской глазури нами были выбраны ЗМК лауринового типа, полученные фракционированием растительных масел и содержащие не более 2 % транс-изомеров жирных кислот.

Внесение в глазурь плодовоовощного сырья рассматривалось с учетом требований ГОСТ 53897–2010⁹ при соблюдении идентификационных критериев. В соответствии с этим документом кондитерская глазурь с фруктовыми, овощными и ягодными компонентам подразделяется на 2 типа: фруктовая (овощная, фруктово-овощная) кондитерская глазурь с содержанием сухого фруктового (ягодного, плодового, овощного) сырья не менее 10 % и фруктово-овощесодержащая (овощесодержащая и фруктово-овощесодержащая) кондитерская глазурь, в состав которой входит от 3 до 10 % сухого фруктового (ягодного, плодового, овощного) сырья. Таким образом, выпуск промышленностью нового ассортимента кондитерских глазурей может осуществляться в рамках действующей нормативной базы и не требует законодательного урегулирования.

Анализ рецептов кондитерских глазурей (Мазукабзова & Зайцева, 2022) показал, что их состав не сбалансирован. Кондитерская глазурь обладает высокой энергетической ценностью, содержит большое количество добавленного сахара от 41 до 54 % и жира от 30 до 34 %, при незначительном содержании белка, пищевых волокон, витаминов, минеральных и биологически активных веществ.

Таким образом, проведенный анализ позволяет аргументированно подойти к выбору плодовоовощных порошков российского и белорусского производства, способствующих повышению содержания пищевых волокон и биологически активных

⁸ ГОСТ Р 53041–2008. (2009). *Изделия кондитерские и полуфабрикаты кондитерского производства. Термины и определения*. М.: Стандартинформ.

⁹ ГОСТ 53897–2010. (2019). *Глазурь. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

веществ, снижению содержания простых углеводов, а также расширению линейки глазированных кондитерских изделий.

Исследованиями, проведенными ранее во ВНИИ КП, было установлено, что внесение плодоовощных порошков в рецептуру шоколадной глазури оказывает существенное влияние на реологические свойства глазури, повышая ее предел текучести (Линовская и др., 2019). Можно предположить, что внесение плодоовощных порошков в рецептуру кондитерской глазури также будет изменять кристаллизационные и реологические свойства получаемой глазури, что потребует внесения изменений в процедуру глазирования кондитерских изделий.

Цель исследования — изучить влияние количества плодоовощных порошков на примере порошка свеклы, яблока и моркови, вводимых в рецептуру кондитерской глазури взамен части сахара, на кристаллизационные и реологические свойства глазури.

В соответствии с поставленной целью определены задачи исследования: (1) исследовать физико-химические и микробиологические свойства плодоовощных порошков (свеклы, яблока и моркови); (2) классифицировать плодоовощные порошки на примере исследованных в зависимости от их жиропоглотительной способности; (3) исследовать влияние количества вводимых в рецептуру плодоовощных порошков с учетом их жиропоглотительной способности на кристаллизационные и реологические свойства глазури; (4) определить максимальное количество вводимого в рецептуру плодоовощного порошка в зависимости от его физико-химических свойств.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в технологическом отделе ВНИИ КП — филиале ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

Материалы

Объектами исследования являлись образцы кондитерской глазури, произведенные в лабораторных условиях с применением заменителя масло-какао нетемперируемого лауринового типа, какао порошка, сахарной пудры и плодоовощных порошков. В качестве контрольного образца использовали кондитерскую глазурь, полученную без применения плодоовощных порошков.

В работе использовано следующее сырье: заменитель масла какао нетемперируемый лауринового типа К 700–1 (Россия, НМЖК); сахарная пудра ГОСТ 33222–2015¹⁰; какао-порошок алкализированный ГОСТ 108–2014¹¹; плодоовощные порошки: свеклы ТУ ВУ 391–346–284.003–2017 (Беларусь, ООО «Витбиокор»); яблока и моркови ТУ 9164–001–18419372–13 (Россия, ООО «Арида»); лецитин ГОСТ 32052–2013¹²; ванилин ГОСТ 16599–71¹³.

Методы

Определение массовой доли влаги в какао-порошке и плодоовощных порошках проводили по ГОСТ 5900–2014¹⁴; показатель pH — по ГОСТ 5898–87¹⁵; микробиологические показатели плодоовощных порошков по ГОСТ 10444.15–94¹⁶. Водопоглотительную и жиропоглотительную способности плодоовощных порошков определяли по МВИ 080–00334675–19¹⁷. Характеристика кристаллизации жиров и глазурей

¹⁰ ГОСТ 33222–2015. (2019). *Сахар белый. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

¹¹ ГОСТ 32052–2013. (2013). *Добавки пищевые. Лецитины E322. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

¹² ГОСТ 108–2014. (2019). *Какао-порошок. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

¹³ ГОСТ 16599–71. (2011). *Ванилин. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

¹⁴ ГОСТ 5900–2014. (2019). *Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ*. М.: Стандартинформ.

¹⁵ ГОСТ 5898–87. (2012). *Изделия кондитерские. Методы определения кислотности и щелочности*. М.: Стандартинформ.

¹⁶ ГОСТ 10444.15–94. (2010). *Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов*. М.: Стандартинформ.

¹⁷ МВИ 080–00334675–19. (2019). *Методика определения водопоглотительной и жиропоглотительной способности фруктово-овощных порошков*. М.: ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова.

определяли по МВИ 065–00334675-18¹⁸. Реологические показатели кондитерских глазурей определяли по методу Кассона на ротационном вискозиметре «RV1» фирмы «ХААКЕ».

С целью обеспечения достоверности полученных данных исследования физико-химических и микробиологических показателей образцов какао-порошка и плодовоовощных порошков, реологических и кристаллизационных характеристик глазури осуществляли в 3-кратной повторности. Экспериментальные данные обрабатывали с использованием программы MS EXCEL 2010.

Процедура исследований

Для разработки кондитерской глазури с плодовоовощными порошками были составлены модельные рецептуры кондитерских глазурей, в которых часть сахара заменялась на различное количество плодовоовощных порошков (Таблица 2). В качестве контроля использовалась унифицированная рецептура кондитерской глазури без внесения плодовоовощного порошка (Таблица 2, вар. 1).

Таблица 2

Рецептуры классической кондитерской глазури и модельных глазурей с плодовоовощными порошками

Наименование сырья	Количество ингредиента в зависимости от варианта, %						
	1	2	3	4	5	6	7
Сахарная пудра	51	48	46	42	38	36	31
Какао-порошок (алкализованный)				17			
Плодовоовощной порошок	0	3	5	9	13	15	20
ЗМК лауринового типа				32			
Эмульгатор				0,05			
ИТОГО				100			

Приготовление глазури осуществляли следующим образом. В шариковую мельницу загружали предварительно пластифицированный заменитель масла какао лауринового типа, затем какао-порошок, плодовоовощной порошок и сахарную пудру. Осуществляли перемешивание в течение 30 минут до равномерного распределения компонентов в смеси. После чего вносили рецептурное количество лецитина и ванилина и перемешивали еще 15 минут. Исследовали кристаллизационные и реологические свойства полученных глазурей.

Анализ

Обработку результатов исследований производили с применением статистического метода дисперсионного анализа экспериментальных данных, определяя средние значения вычисляемой величины на основе не менее трех повторных определений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения технологической возможности использования российских и белорусских плодовоовощных порошков в производстве кондитерских глазурей были исследованы их физико-химические и микробиологические показатели в сравнении с какао-порошком (Таблица 3). Диапазоны значений физико-химических и микробиологических показателей приведены по результатам исследований шести наименований какао-порошков.

Установлено, что массовая доля влаги в плодовоовощных порошках соответствует таковой в какао-порошках, и составляет $3,9 \div 6,1$ %. Отмечена относительно высокая способность порошков удерживать влагу ($5,8 \div 10,1$) мл воды/г, что свидетельствует о наличии большого количества в них микрокапилляров. Для какао-порошков значение pH составляло $5,4 \div 6,3$, что не превышало регламентированных значений для производственного какао-порошка составляющее 7,1. Показатель pH порошков моркови, малины и яблока находится в интервале $4,2 \div 4,7$, что ниже активной кислотности какао-порошков,

¹⁸ МВИ 065–00334675–1. (2018). Методика определения характеристики кристаллизации продуктов переработки какао-бобов (какао тертое и масло какао) на приборе MultiTherm. М.: ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова.

Таблица 3

Физико-химические и микробиологические показатели плодоовощных порошков и какао-порошка

Показатель	Какао-порошок	Фруктоовощные порошки				
		моркови	свеклы	тыквы	малины	яблока
Массовая доля влаги, %	3,7÷6,0	5,5	5,8	5,3	3,9	6,1
Водопоглотительная способность, мл воды/г	—	10,1	5,8	5,9	7,5	8,2
Жиропоглотительная способность, г жира/г	—	4,8	1,7	1,5	3,1	3,6
Показатель pH	5,4÷6,3	4,7	6,9	6,5	4,2	4,4
КМАФАнМ, КОЕ/г	$2,5 \times 10^3 \div 1 \times 10^4$	$2,4 \times 10^2$	$2,8 \times 10^2$	$2,6 \times 10^2$	$1,5 \times 10^2$	$1,9 \times 10^2$
Дрожжи, КОЕ/г	до 20	0	0	0	0	0
Плесени, КОЕ/г	30÷100	20	50	40	0	20

и может сказаться на органолептических свойствах готовой кондитерской глазури: придать кислый привкус готовому изделию.

Микробиологические показатели исследованных фруктоовощных порошков соответствовали нормативам, установленным Техническим регламентом ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»¹⁹.

Характер взаимодействия фруктоовощных порошков с жировой фазой глазури (основной дисперсионной средой) влияет на технологические свойства глазури, в связи с этим нами предложена классификация фруктоовощных порошков в зависимости от их жиропоглотительной способности:

- с низкой жиропоглотительной способностью: менее 2 г жира/г продукта;
- со средней жиропоглотительной способностью: от 2 до 4 г жира/г продукта;
- с высокой жиропоглотительной способностью: от 4 г жира/г продукта.

С целью установления влияния количества вносимых фруктоовощных порошков в зависимости от их жиропоглотительной способности на реологические и кристаллизационные свойства кондитерской глазури для выработки модельных образцов кондитерских глазурей были выбраны: с низкой жиропоглотительной способностью — порошок свеклы; со средней жиропоглотительной способностью — порошок яблока; с высокой жиропоглотительной способностью порошок моркови.

Исследования проводились на модельных образцах кондитерских глазурей с фруктоовощными порошками при одинаковом соотношения жир: ПАВ.

Проведено изучение зависимости реологических и кристаллизационных свойств кондитерской глазури от количества фруктоовощного порошка с низкой жиропоглотительной способностью (Таблица 4).

Таблица 4

Влияние количества введенного в рецептуру порошка свеклы на реологические свойства полуфабриката

Образец глазури	Пластическая вязкость, Па · с	Предел текучести, Па
Контрольный образец кондитерской глазури	2,182	1,601
Кондитерская глазурь с добавлением:		
3 % порошка свеклы	2,343	1,706
5 % порошка свеклы	2,600	1,769
7 % порошка свеклы	2,745	1,901
9 % порошка свеклы	2,809	2,032
11 % порошка свеклы	3,006	2,128
13 % порошка свеклы	3,203	2,224
15 % порошка свеклы	3,422	2,446
20 % порошка свеклы	3,443	2,568

¹⁹ ТР ТС 021/2011. (2021). О безопасности пищевой продукции. <https://docs.cntd.ru/document/902320560>

Установлено, что увеличение доли порошка свеклы приводит к возрастанию пластической вязкости (с 2,182 Па · с до 3,442 Па · с) и предела текучести (с 1,601 Па до 2,568 Па) кондитерской глазури. Значение предела текучести находится ниже оптимальных значений (3÷9 Па), что обусловлено низкой жиропоглощательной способностью порошка свеклы. При этом образцы глазури сохраняют свои технологические свойства. Для достижения оптимальных реологических показателей глазури с порошком свеклы необходимо изменение рецептурного соотношения жир:ПАВ, что будет являться дальнейшим направлением исследований.

Проведен анализ кинетики процесса структурирования полуфабриката с различным содержанием порошка свеклы (Рисунок 1).

Изучение кривых кристаллизации позволило установить, что характер кристаллизации кондитерских глазурей, содержащих порошок свеклы, отличается от контрольного образца. Процесс охлаждения в исследуемых образцах протекает

при температурах ниже, чем для контрольного образца и за больший промежуток времени. Кондитерские глазури с добавлением порошка свеклы в количестве от 5 до 15 % имеют близкие характеристики кристаллизации.

Установлено, что введение в рецептуру кондитерской глазури порошка свеклы в количестве от 3 до 20 % приводит к незначительному снижению температуры застывания кондитерского полуфабриката (с 28,5°С для контрольного образца до 28,1°С для кондитерской глазури с 20 % порошка свеклы), продолжительность кристаллизации увеличивается с 7,4 до 9,0 мин (Таблица 5). Данные изменения следует учитывать при установлении режимов охлаждения глазированных изделий.

Добавление порошка свеклы в количестве 20 % не приводило к превышению у кондитерской глазури предела текучести свыше оптимальных для глазури значений (3÷9 Па), которые установлены многолетним опытом ВНИИ кондитерской промышленности и Международным сообществом

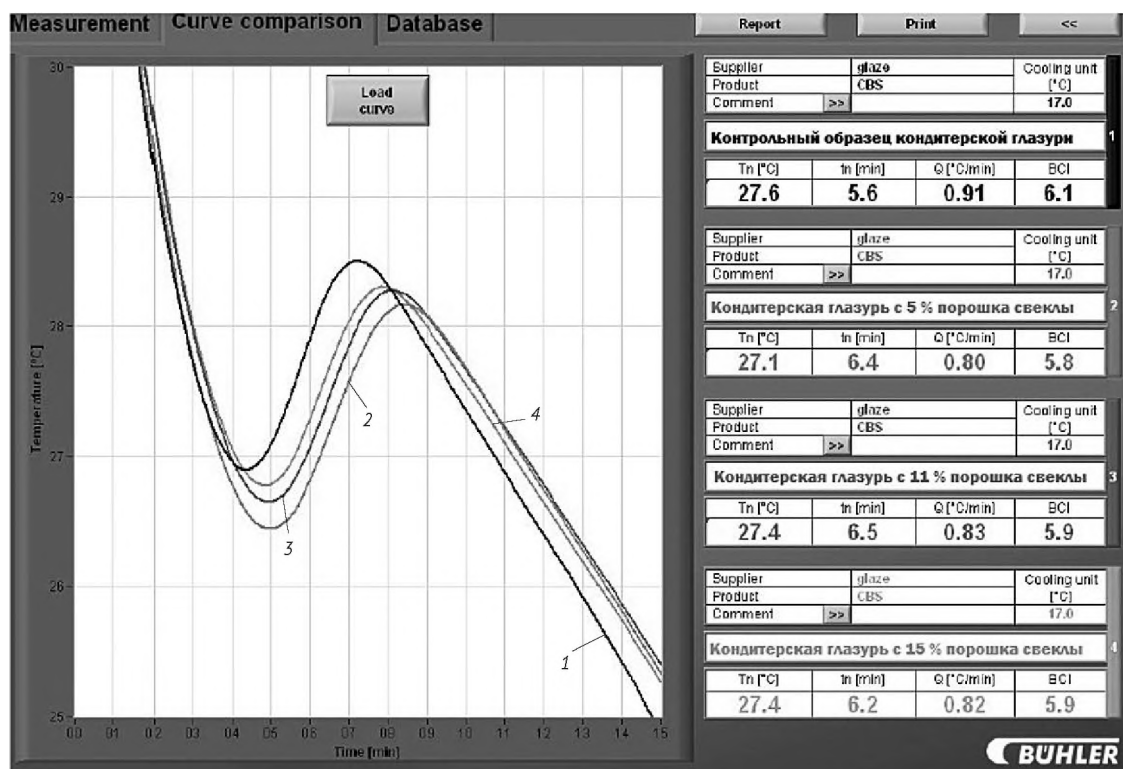


Рисунок 1.

Кинетика процесса структурирования кондитерской глазури с различным количеством порошка свеклы

Таблица 5.

Характеристика кристаллизации кондитерских глазури с различным содержанием порошка свеклы

Показатели качества	Количество порошка свеклы в глазури, %								
	0	3	5	7	9	11	13	15	20
Температура начала кристаллизации, $T_{\min}$, °C	27,4	26,6	26,6	26,6	26,7	26,6	26,5	26,8	26,4
Время начала кристаллизации, $\tau_{\min}$, мин	4,1	4,4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,5	5,2
Температура застывания, $T_{\max}$, °C	28,5	28,2	28,2	28,3	28,3	28,2	28,0	28,3	28,1
Время кристаллизации, $\tau_{\max}$, мин	7,4	8,2	8,5	8,3	8,2	8,3	8,4	8,1	9,0

производителей какао, шоколада и кондитерских изделий²⁰. При этом органолептический анализ показал появление мучнистого привкуса у глазури с 20 %-ным содержанием порошка свеклы. Исходя из этого оптимальным признано внесение порошка свеклы в количестве 11–15 %, приводящего к появлению у глазури приятной горчинки, сходной с горьким шоколадом, при сохранении оптимальных технологических параметров глазури.

На следующем этапе были проведены выработки модельных образцов кондитерской глазури с порошком яблока, имеющим, по нашей градации, среднее значение жиропоглощительной способности, и исследовано влияние количества вносимого порошка на реологические свойства образцов глазури (Таблица 6).

Добавление порошка яблока в количестве 13–15 % приводило к резкому повышению предела текучести до 9,625–12,990 Па, что превышает оптимальные значения 3÷9 Па.

Изучение кривых кристаллизации позволило установить, что характер кристаллизации кондитерских глазури, содержащих порошок яблока, как и в предыдущем случае, отличается от контрольного образца, и имеет сходные закономерности — процесс охлаждения в контрольном образце протекает при более низких температурах и за больший промежуток времени (Рисунок 2).

Введение в рецептуру кондитерской глазури порошка яблока в количестве от 3 до 15 % приводит к снижению температуры застывания кондитерского полуфабриката с 28,5°C для контрольного

Таблица 6.

Влияние количества введенного в рецептуру порошка яблока на реологические свойства полуфабриката

Образец глазури	Пластическая вязкость, Па · с	Предел текучести, Па
Контрольный образец кондитерской глазури	2,182	1,601
Кондитерская глазурь с добавлением:		
3 % порошка яблока	4,979	1,782
5 % порошка яблока	3,686	2,771
7 % порошка яблока	6,485	3,215
9 % порошка яблока	6,355	4,526
11 % порошка яблока	5,054	6,088
13 % порошка яблока	6,703	9,625
15 % порошка яблока	6,844	12,990

образца до 27,4°C для кондитерской глазури с 15 % порошка яблока, время кристаллизации увеличивается с 7,4 до 10,3 мин (Таблица 7).

Введение порошков оказывает влияние на реологические и кристаллизационные свойства глазури, при этом порошки со средней жиропоглощительной способностью (яблоко) оказывают более сильное влияние по сравнению с порошками с низкой жиропоглощительной способностью (свекла). В частности, время кристаллизации для глазури по мере увеличения содержания порошка яблока увеличивается до 10,3 мин, а порошка свеклы до 9,0 мин,

²⁰ IOCCC. (2000). *Viscosity of Cocoa and Chocolate Products (Analytical Method: 46)*. CABISCO, Brussels.

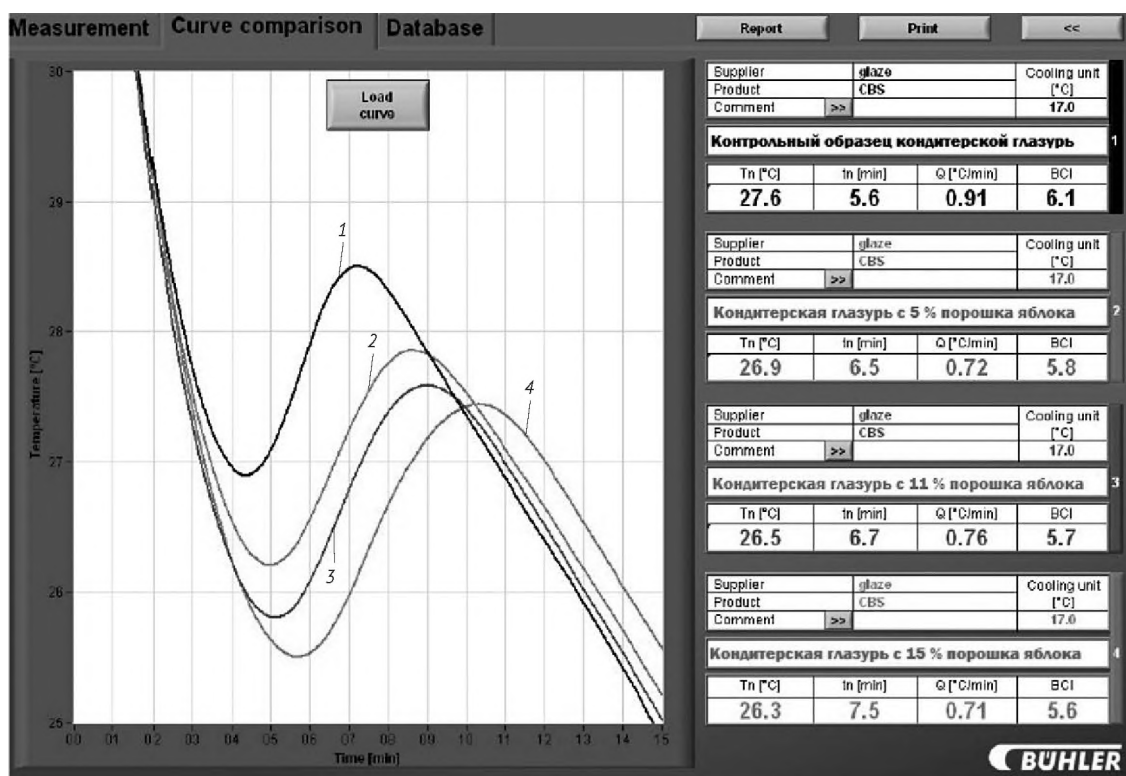


Рисунок 2

Кинетика процесса структурирования кондитерской глазури с различным количеством порошка яблока

температура застывания снижается до 27,4 и 28,1 соответственно.

Органолептическая оценка выработанных модельных образцов кондитерской глазури с порошком яблока показала, что наилучшим вкусовым профилем характеризовались образцы кондитерской глазури с содержанием порошка яблока в количестве 11 %. Дальнейшее добавление порошка яблока приводило к появлению ярко выраженного кислого привкуса. Таким образом, оптимальные органо-

лептические и технологические свойства кондитерской глазури достигаются при внесении порошка яблока в количестве не более 11 %.

На последнем этапе проведены выработки модельных образцов кондитерской глазури с плодовоовощным порошком с высокой жиропоглощательной способностью на примере порошка моркови и исследованы реологические свойства выработанных глазурей в зависимости от количества овощного порошка (Таблица 8).

Таблица 7

Характеристика кристаллизации кондитерских глазурей с различным содержанием порошка яблока

Показатели качества	Количество порошка яблока в глазури, %							
	0	3	5	7	9	11	13	15
Температура начала кристаллизации, T_{min} , °C	27,4	26,8	26,3	26,0	25,8	25,7	25,7	25,5
Время начала кристаллизации, τ_{min} , мин	4,1	3,9	4,6	4,8	4,9	5,4	5,1	5,6
Температура застывания, T_{max} , °C	28,5	28,1	27,9	27,7	27,6	27,6	27,5	27,4
Время кристаллизации, τ_{max} , мин	7,4	8,0	8,7	8,9	9,0	9,2	9,3	10,3

Таблица 8

Влияние количества введенного в рецептуру порошка моркови на реологические свойства полуфабриката

Образец глазури	Пластическая вязкость, Па · с	Предел текучести, Па
Контрольный образец кондитерской глазури	2,182	1,601
Кондитерская глазурь с добавлением: 3 % порошка моркови	4,430	2,434
5 % порошка моркови	4,424	3,936
7 % порошка моркови	4,287	5,809
9 % порошка моркови	4,385	7,681
11 % порошка моркови	5,239	8,918
13 % порошка моркови	4,490	9,998
15 % порошка моркови	4,925	10,76

Установлено, что увеличение количества порошка моркови в рецептуре глазури с 3 до 15 %, как и в предыдущих случаях, приводит к возрастанию её предела текучести. Добавление порошка моркови в количестве 11–15 % приводит к повышению предела текучести кондитерской глазури до 9,998–10,76 Па, что превышает оптимальные значения 3÷9 Па.

Изучение кривых кристаллизации позволило установить, что характер кристаллизации кондитерских глазурей, содержащих порошок моркови, в отличие от предыдущих исследований в меньшей степени отличается от контрольного образца (Рисунок 3).

Установленные ранее закономерности сохраняются — процесс охлаждения в модельном образце протекает при более низких температурах, при этом продолжительность кристаллизации по сравнению с контрольным образцом практически остается неизменной (Таблица 9).

Органолептическая оценка полученных модельных образцов глазури показала, что образец глазури

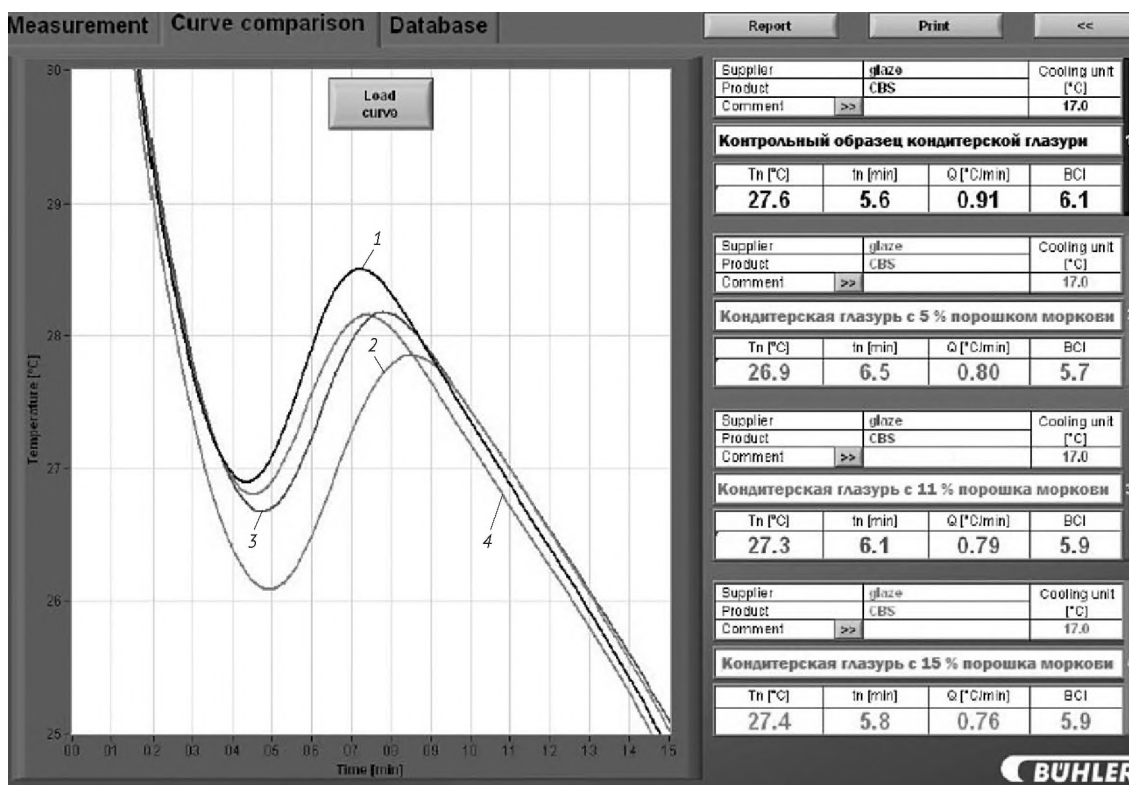


Рисунок 3

Кинетика процесса структурирования кондитерской глазури с различным количеством порошка моркови

Таблица 9

Характеристика кристаллизации кондитерских глазурей с различным содержанием порошка моркови

Показатели качества	Количество порошка моркови в глазури, %							
	0	3	5	7	9	11	13	15
Температура начала кристаллизации, $T_{\min}$, °C	27,4	26,3	26,3	26,6	26,5	26,8	26,8	26,9
Время начала кристаллизации, $\tau_{\min}$, мин	4,1	4,3	4,3	4,3	4,4	4,1	4,0	4,0
Температура застывания, $T_{\max}$, °C	28,5	27,9	27,9	28,0	28,0	28,2	28,0	28,1
Время кристаллизации, $\tau_{\max}$, мин	7,4	8,5	8,4	8,3	8,1	7,7	7,9	7,8

с содержанием 11 % порошка моркови характеризовался более гармоничным вкусо-ароматическим профилем. Добавление порошка моркови в количестве 13 % и более привело к появлению ярко выраженного морковного привкуса, превосходящего над шоколадным вкусом. Таким образом, оптимальные органолептические и технологические свойства кондитерской глазури достигаются при внесении порошка моркови в количестве не более 11 %.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Во ВНИИКП проведены исследования по влиянию плодовоовощных порошков на реологические и кристаллизационные свойства шоколадной глазури. В ходе которых установлено, что увеличение количества плодовоовощного порошка взамен части сахара приводит к возрастанию предела текучести и увеличению температуры и времени кристаллизации шоколадной глазури (Линовская и др., 2019). Реологические и кристаллизационные характеристики глазури в значительной мере определяются масло-жировым сырьем, используемым для его производства. Согласно нормативной документации шоколадная глазурь вырабатывается на основании масла какао или эквивалентов масла какао²¹. Кондитерская глазурь выпускается на основании заменителей масла какао нетемперированных лауринового и нелауринового типов²². Технология получения кондитерской глазури в значительной степени отличается от технологии получения шоколадной глазури: необходимостью стадии темпе-

рирования для шоколадной глазури, различными температурами плавления, характером процесса кристаллизации и реологическими свойствами. Таким образом, для установления влияния плодовоовощных порошков на реологические и кристаллизационные свойства кондитерских глазурей требуется проведение самостоятельных исследований.

На основе изучения физико-химических свойств плодовоовощных порошков нами была предложена их классификация по жиропоглощательной способности. Это связано с тем, что жир (масло какао, эквивалент или заменители масла какао) является основной дисперсионной средой в глазурях (содержание влаги менее 1 %). Характер взаимодействия плодовоовощных порошков с жировой фазой (жиропоглощательная способность) будет оказывать существенное влияние на реологические и кристаллизационные свойства глазури.

Исследование влияния количества порошка с низкой жиропоглощательной способностью (порошка свеклы) в рецептуре глазури с 3 до 15 % показало незначительное возрастание её предела текучести с 1,7 до 2,4 Па. В то время, как увеличение количественного содержания порошка со средней (яблока) и высокой (моркови) жиропоглощательной способностью с 3 % до 15 % приводит к резкому увеличению предела текучести глазури с 1,7–1,8 до 10,8–12,9 Па. При содержании порошков со средней и высокой жиропоглощательной способностью в количестве 13 % и более от рецептурного состава предел текучести по Кассону превышает оптималь-

²¹ ГОСТ 53897–2010.. (2019). *Глазурь. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

²² ГОСТ Р 53041–2008. (2009). *Изделия кондитерские и полуфабрикаты кондитерского производства. Термины и определения*. М.: Стандартинформ.

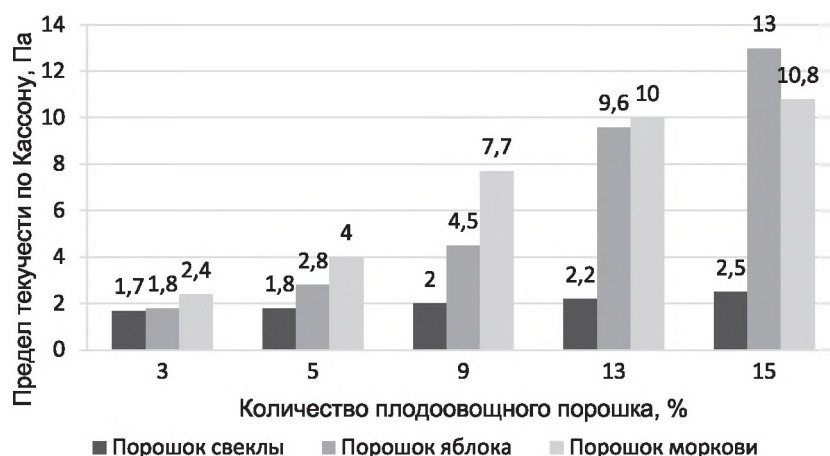


Рисунок 4

Предел текучести кондитерских глазурей с различным содержанием плодовоовещных порошков

ные значения ($3 \div 9$ Па), глазурь утрачивает свою текучесть и становится нетехнологичной (Рисунок 4).

На органолептические свойства кондитерских глазурей значительное влияние оказывает pH вносимых плодовоовещных порошков. Если значение pH плодовоовещных порошков находится в кислой зоне, то при добавлении их свыше 11 % глазурь будет приобретать ярко выраженный кислый привкус.

На основании полученных данных по технологическим и органолептическим свойствам кондитерских глазурей можно сделать заключение, что использование плодовоовещных порошков с различными значениями жиропоглотительной способности и pH позволяет вырабатывать в соответствии с ГОСТ 53897–2010, как фрукто/овощесодержащие глазури, так и фруктовые/овощные глазури с содержанием плодовоовещного сырья не менее 10 %.

ВЫВОДЫ

Целью настоящей работы являлась изучение влияния количества плодовоовещных порошков, полученных из различных сельскохозяйственных культур (свеклы, яблока, моркови) с учетом их жиропоглотительной способности на кристаллизационные и реологические свойства кондитерской глазури. Для реализации поставленной цели проведена классификация плодовоовещных порошков по их жиропоглотительной способно-

сти для последующего прогнозирования их влияния на технологические свойства кондитерской глазури. Введение порошка с низкой жиропоглотительной способностью в рецептуру кондитерской глазури не оказывает существенного влияния на её кристаллизационные и реологические свойства, в отличие от порошков со средней и высокой жиропоглотительной способностью. Последние удлиняют время кристаллизации кондитерской глазури при снижении температуры начала кристаллизации и существенно повышают предел текучести глазури. При концентрации плодовоовещного порошка свыше 13 % предел текучести по Кассону превышает оптимальные значения для кондитерской глазури. Проведенные исследования позволяют существенно расширить ассортимент кондитерских глазурей с различным вкусовым профилем, со сниженным содержанием сахара и увеличенным содержанием пищевых волокон.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Мазукабзова Э. В.: концептуализация, методология, проведение исследования, верификация данных, создание рукописи и её редактирование, формальный анализ, визуализация.

Зайцева Л. В.: руководство исследованием, концептуализация, методология, создание рукописи и её редактирование.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев, Е. В., Быстрова, Е. А., & Бакуменко, О. Е. (2019). Применение сублимированного порошка брусники при изготовлении мучных кондитерских изделий. *Пищевая промышленность*, (5), 18–21. <https://www.doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10065>
- Бакин, И. А., Мустафина, А. С., Вечтомова, Е. А., & Колбина, А. Ю. (2017). Использование вторичных ресурсов ягодного сырья в технологии кондитерских и хлебобулочных изделий. *Техника и технология пищевых производств*, 45(2), 5–12.
- Бакина, А. П., & Камоза, Т. Л. (2020). Перспективы использования пюре из мякоти тыквы и джема из ягод красной смородины при производстве зефира. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (6), 207–214. <https://www.doi.org/10.36718/1819-4036-2020-6-207-214>
- Бекетова, Н. А., Павловская, Е. В., Коденцова, В. М., Вржесинская, О. А., Кошелева, О. В., Сокольников, А. А., & Строкова, Т. В. (2019). Обеспеченность витаминами детей школьного возраста с ожирением. *Вопросы питания*, 88(4), 66–74. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10043>
- Зайцева, И. И., Шеламова, С. А., & Дерканосова, Н. М. (2019). Влияние выжимок из тыквы на процесс ферментации теста для крекера. *Техника и технология пищевых производств*, 49(3), 470–478. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-470-478>
- Зайцева, Л. В., Мазукабзова, Э. В., Матюнина, А. В., & Осипов, М. В. (2021). Современные требования к растительным маслам и продуктам их переработки для производства пищевой продукции функционального и специализированного назначения. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 200–211. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.196>
- Захарова, А. С., Козубаева, Л. А., & Егорова, Е. Ю. (2019). Мучные кондитерские изделия с брусникой. *Ползуновский вестник*, (4), 17–20. <https://www.doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2019.04.004>
- Ключко, А. В., Короткова, Т. Г., & Ксандопуло, С. Ю. (2017). Использование порошка из виноградных выжимок при производстве мучных кондитерских изделий. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, (129), 381–390. <https://www.doi.org/10.21515/1990-4665-129-033>
- Кожемяко, А. В., Сергеева, И. Ю., & Долголюк, И. В. (2021). Экспериментальное определение биологически активных соединений в выжимках свеклы и моркови, районированных в Сибирском регионе. *Техника и технология пищевых производств*, 51(1), 179–187. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-179-187>
- Кондратьев, Н. Б. (2015). *Оценка качества кондитерских изделий. Повышение сохранности кондитерских изделий*. М.: Перо.
- Линовская, Н. В., Мазукабзова, Э. В., & Руденко О. С. (2019). Научно обоснованные критерии производства шоколадных полуфабрикатов с использованием фруктово-овощных порошков. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 81(3), 151–157. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-3-151-157>
- Мазукабзова, Э. В., & Зайцева, Л. В. (2022). Органолептические, реологические и кристаллизационные свойства кондитерской глазури с порошком из свеклы. *Пищевые системы*, 5(2), 132–138. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-132-138>
- Меренкова, С. П., & Полякова, Е. Л. (2018). Экспериментальное обоснование применения ягодного сырья в технологии обогащенных мучных кондитерских изделий. *Вестник Южно-Уральского государственного университета*, 6(2), 20–29. <https://www.doi.org/10.14529/food180203>
- Тутельян, В. А. (2020). *Нутрициология и клиническая диетология: Национальное руководство*. М.: ГЭОТАР-Медиа. <https://doi.org/10.33029/9704-5352-0-NKD-2020-1-656>
- Петриченко, В. В. (2011). *Разработка технологии глазури функционального назначения для кондитерских изделий с использованием растительных порошков* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Пырьева, Е. А., & Сафронова, А. И. (2019). Роль и место пищевых волокон в структуре питания населения. *Вопросы питания*, 88(6), 5–11. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10059>
- Табаторович, А. Н., & Резниченко, И. Ю. (2019). Обоснование рецептур и оценка качества желейного мармелада на основе настоя лепестков розеллы (*Hibiscus Sabdariffa* L.). *Пищевая промышленность*, (5), 66–71. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10075>
- Шабурова, Г. В., & Кулькова, Ю. С. (2019). Применение овсяных отрубей и овощного сырья в рецептуре сдобного печенья. *Инновационная техника и технология*, 20(3), 36–41.
- Шарафетдинов, Х. Х., & Плотникова, О. А. (2020). Ожирение как глобальный вызов XXI века: Лечебное питание, профилактика и терапия. *Вопросы питания*, 89(4), 161–171. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10050>
- Ali, M. R., Mohamed, R. M., & Abdelmaksoud, T. G. (2021). Functional strawberry and red beetroot jelly candies rich in fibers and phenolic compounds. *Food systems*, 4(2), 82–88. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-82-88>
- Azeredo, H. M. C. (2009). Betalains: properties, sources, applications, and stability — a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(12), 2365–2376. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x>
- Gomes, M., & Martinez, M. M. (2018). Fruit and vegetable by-products as novel ingredients to improve the nutritional quality of baked goods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(13), 2119–2135. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1305946>

- Kırbaş, Z., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2019). Effects of apple, orange and carrot pomace powders on gluten-free batter rheology and cake properties. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 914–926. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-03554-z>
- Majerska, J., Michalska, A., & Figiel, A. (2019). A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products. *Trends in Food Science and Technology*, 88, 207–219. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.021>
- Tańska, M., Roszkowska, B., Czaplicki, S., Borowska, E. J., & Dabrowska, A. (2016). Effect of fruit pomace addition on shortbread cookies to improve their physical and nutritional values. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71(3), 307–313. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0561-6>
- Theagarajan, R., Narayanaswamy, L. M., Dutta, S., Moses, J. A., Chinnaswamy, A. (2019). Valorisation of grape pomace (cv. Muscat) for development of functional cookies development of functional cookies. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 1299–1305. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14119>
- Vasconcellos, J., Conte-Junior, C., Silva, D., Pierucci, A. P., Paschoalin, V., & Alvares, T. S. (2016). Comparison of total antioxidant potential, and total phenolic, nitrate, sugar, and organic acid contents in beetroot juice, chips, powder, and cooked beetroot. *Food Science and Biotechnology*, 25(1), 79–84. <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0011-0>
- Warshaw, H., & Edelman, S. V. (2021) Practical strategies to help reduce added sugars consumption to support glycemic and weight management goals. *Clinical Diabetes*, 39(1), 45–56. <https://doi.org/10.2337/cd20-0034>

REFERENCES

- Alekseenko, E. V., Bystrova, E. A., & Bakumenko, O. E. (2019). Primenenie sublimirovannogo poroshka brusniki pri izgotovlenii muchnykh konditerskikh izdelii [The use of freeze-dried cranberry powder in the manufacture of flour confectionery]. *Pishchевaya promyshlennost'* [Food Industry], (5), 18–21. <https://www.doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10065>
- Bakin, I. A., Mustafina, A. S., Vechtomova, E. A., & Kolbina, A. Yu. (2017). Ispol'zovanie vtorichnykh resursov yagodnogo syr'ya v tekhnologii konditerskikh i khlebobulochnykh izdelii [The use of secondary resources of berry raw materials in the technology of confectionery and bakery products]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Equipment and Technology of Food Production], 45(2), 5–12.
- Bakina, A. P., & Kamoza, T. L. (2020). Perspektivy ispol'zovaniya pyure iz myakoti tykvy i dzhema iz yagod krasnoi smorodiny pri proizvodstve zefira [Prospects for the use of pumpkin pulp puree and red currant berry jam in the production of marshmallows]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], (6), 207–214. <https://www.doi.org/10.36718/1819-4036-2020-6-207-214>
- Beketova, N. A., Pavlovskaya, E. V., Kodentsova, V. M., Vrzhesinskaya, O. A., Kosheleva, O. V., Sokol'nikov, A. A., & Strokova, T. V. (2019). Obespechennost' vitaminami detei shkol'nogo vozrasta s ozhireniem [Vitamin availability of obese school-age children]. *Voprosy pitaniya* [Nutrition Issues], 88(4), 66–74. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10043>
- Klochko, A. V., Korotkova, T. G., & Ksandopulo, S. Yu. (2017). Ispol'zovanie poroshka iz vinogradnykh vyzhimok pri proizvodstve muchnykh konditerskikh izdelii [The use of grape pomace powder in the production of flour confectionery]. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University], (129), 381–390. <https://www.doi.org/10.21515/1990-4665-129-033>
- Kondrat'ev, N. B. (2015) *Otsenka kachestva konditerskikh izdelii. Povyshenie sokhrannosti konditerskikh izdelii* [Evaluation of the quality of confectionery products. Improving the safety of confectionery products]. Moscow: Pero.
- Kozhemyako, A. V., Sergeeva, I. Yu., & Dolgolyuk, I. V. (2021). Eksperimental'noe opredelenie biologicheskii aktivnykh soedinenii v vyzhimkakh svekly i morkovi, raionirovannykh v Sibirskom regione [Experimental determination of biologically active compounds in beet and carrot pomace, zoned in the Siberian region]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Equipment and Technology of Food Production], 51(1), 179–187. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-179-187>
- Linovskaya, N. V., Mazukabzova, E. V., & Rudenko O. S. (2019). Nauchno obosnovannye kriterii proizvodstva shokoladnykh polufabrikatov s ispol'zovaniem fruktovo-ovoshchnykh poroshkov [Scientifically based criteria for the production of chocolate semi-finished products using fruit and vegetable powders]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 81(3), 151–157. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-3-151-157>
- Mazukabzova, E. V., & Zaitseva, L. V. (2022). Organolepticheskie, reologicheskie i kristallizatsionnye svoystva konditerskoi glazuri s poroshkom iz svekly [Organoleptic, rheological and crystallization properties of confectionery glaze with beet powder]. *Pishchevye sistemy* [Food Systems], 5(2), 132–138. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-132-138>
- Merenkova, S. P., & Polyakova, E. L. (2018). Eksperimental'noe obosnovanie primeneniya yagodnogo syr'ya v tekhnologii obogashchennykh muchnykh konditerskikh izdelii [Experimental substantiation of the use of berry raw materials in the technology of enriched flour confectionery products]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the South Ural State University], 6(2), 20–29. <https://www.doi.org/10.14529/food180203>

- Petrichenko, V. V. (2011). *Razrabotka tekhnologii glazuri funktsional'nogo naznacheniya dlya konditerskikh izdelii s ispol'zovaniem rastitel'nykh poroshkov* [Development of a functional glaze technology for confectionery products using vegetable powders] [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Russia.
- Pyr'eva, E. A., & Safronova, A. I. (2019). Rol' i mesto pishchevykh volokon v strukture pitaniya naseleniya [The role and place of dietary fiber in the structure of nutrition of the population]. *Voprosy pitaniya* [Nutrition Issues], 88(6), 5–11. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10059>
- Shaburova, G. V., & Kul'kova, Yu. S. (2019). Primenenie ovsyanykh otrubei i ovoshchnogo syr'ya v retsepture sdobnogo pechen'ya [The use of oat bran and vegetable raw materials in the pastry recipe]. *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya* [Innovative Equipment and Technology], 20(3), 36–41.
- Sharafetdinov, Kh. Kh., & Plotnikova, O. A. (2020). Ozhirenie kak global'nyi vyzov XXI veka: Lechebnoe pitanie, profilaktika i terapiya [Obesity as a global challenge of the XXI century: Therapeutic nutrition, prevention and therapy]. *Voprosy pitaniya* [Nutrition Issues], 89(4), 161–171. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10050>
- Tabatorovich, A. N., & Reznichenko, I. Yu. (2019). Obosnovanie retseptur i otsenka kachestva zhelelnogo marmelada na osnove nastoya lepestkov rozelly (Hibiscus Sabdariffa L.) [Substantiation of recipes and evaluation of the quality of jelly marmalade based on the infusion of rosella petals (Hibiscus Sabdariffa L.)]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], (5), 66–71. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10075>
- Tutel'yan, V. A. (2020). *Nutritsiologiya i klinicheskaya dietologiya: Natsional'noe rukovodstvo* [Nutritionology and clinical dietetics: National guidelines]. Moscow: GEOTAR-Media. <https://doi.org/10.33029/9704-5352-0-NKD-2020-1-656>
- Zaitseva, I. I., Shelamova, S. A., & Derkanosova, N. M. (2019). Vliyanie vyzhimok iz tykvy na protsess fermentatsii testa dlya krepera [The effect of pumpkin pomace on the fermentation process of cracker dough]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Equipment and Technology of Food Production], 49(3), 470–478. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-470-478>
- Zaitseva, L. V., Mazukabzova, E. V., Matyunina, A. V., & Osipov, M. V. (2021). Sovremennye trebovaniya k rastitel'nym maslam i produktam ikh pererabotki dlya proizvodstva pishchevoi produktsii funktsional'nogo i spetsializirovannogo naznacheniya [Modern requirements for vegetable oils and their processed products for the production of functional and specialized food products]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (3), 200–211. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.196>
- Zakharova, A. S., Kozubaeva, L. A., & Egorova, E. Yu. (2019). Muchnye konditerskie izdeliya s brusnikoi [Flour confectionery products with cranberries]. *Polzunovskii vestnik* [Polzunovsky Bulletin], (4), 17–20. <https://www.doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2019.04.004>
- Ali, M. R., Mohamed, R. M., & Abdelmaksoud, T. G. (2021). Functional strawberry and red beetroot jelly candies rich in fibers and phenolic compounds. *Food systems*, 4(2), 82–88. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-82-88>
- Azeredo, H. M. C. (2009). Betalains: properties, sources, applications, and stability — a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(12), 2365–2376. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x>
- Gomes, M., & Martinez, M. M. (2018). Fruit and vegetable by-products as novel ingredients to improve the nutritional quality of baked goods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(13), 2119–2135. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1305946>
- Kırbaş, Z., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2019). Effects of apple, orange and carrot pomace powders on gluten-free batter rheology and cake properties. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 914–926. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-03554-z>
- Majerska, J., Michalska, A., & Figiel, A. (2019). A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products. *Trends in Food Science and Technology*, 88, 207–219. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.021>
- Tańska, M., Roszkowska, B., Czaplicki, S., Borowska, E. J., & Dabrowska, A. (2016). Effect of fruit pomace addition on shortbread cookies to improve their physical and nutritional values. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71(3), 307–313. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0561-6>
- Theagarajan, R., Narayanaswamy, L. M., Dutta, S., Moses, J. A., Chinnaswamy, A. (2019). Valorisation of grape pomace (cv. Muscat) for development of functional cookies development of functional cookies. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 1299–1305. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14119>
- Vasconcellos, J., Conte-Junior, C., Silva, D., Pierucci, A. P., Paschoalin, V., & Alvares, T. S. (2016). Comparison of total antioxidant potential, and total phenolic, nitrate, sugar, and organic acid contents in beetroot juice, chips, powder, and cooked beetroot. *Food Science and Biotechnology*, 25(1), 79–84. <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0011-0>
- Warshaw, H., & Edelman, S. V. (2021) Practical strategies to help reduce added sugars consumption to support glycemic and weight management goals. *Clinical Diabetes*, 39(1), 45–56. <https://doi.org/10.2337/cd20-0034>

УДК 664.64

Особенности рынка хлебопечения и перспективные направления развития хлебопекарной отрасли Беларуси и России

¹ Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий

² Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности

³ Московский государственный университет пищевых производств

А. В. Акулич¹, М. Н. Костюченко², М. Г. Балыхин³, Т. Д. Самуйленко¹, И. И. Шапошников²

АННОТАЦИЯ

Введение. Современная хлебопекарная промышленность Союзного Государства является одной из ведущих отраслей пищевой промышленности, а по объемам производства в натуральном выражении она занимает одно из первых мест в мире. Ее состояние и перспективы развития обуславливают множество как внутренних, так и внешних факторов.

Цель. Целью исследования является выявление закономерностей и особенностей функционирования рынка хлебопечения Российской Федерации и Республики Беларусь в динамике последних десяти лет и установление перспективных направлений его развития в современных реалиях XXI века.

Материалы и методы. Аналитические исследования проведены с использованием данных Росстат и Белстат, Минсельхозпрод Беларуси, КУП «Минскхлебпром», Белкоопсоюза.

Результаты. В представленной работе отражена сравнительная характеристика изменений потребления хлебобулочных изделий, их объемов и структуры производства в Республике Беларусь и Российской Федерации за 2010–2020 гг. Рассмотрены основные причины, обуславливающие динамику названных процессов. Уделено внимание проблемам формирования стоимости и розничных цен на хлебобулочные изделия и пути их решения в современных условиях функционирования хлебопекарной отрасли двух стран. Представлены совместные достижения научных организаций, учреждений высшего образования и предприятий хлебопекарной отрасли в области технологий хлебобулочных изделий в дискретном режиме, в том числе и повышенной пищевой ценности. Определены общие направления в совершенствовании хлебопекарной промышленности на основе ее цифровизации, базируемой на комплексной взаимосвязи потребителя, производителя, науки и образования.

Выводы. Результаты исследования позволят оперативно реагировать на тенденцию изменения спроса на хлебобулочные изделия, разрабатывать и реализовывать новые направления в технологии с учетом современного состояния хлебопекарной отрасли и функционирования отдельных хлебопекарных предприятий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

хлебопекарная отрасль; хлебобулочные изделия; пандемия; ассортимент; производители; дискретные технологии; цифровизация.

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Акулич Александр Васильевич

Адрес: 212027, Республика Беларусь, город Могилев, пр-т Шмидта, 3
E-mail: akulichav57@mail.ru

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

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Акулич, А. В., Костюченко, М. Н., Балыхин, М. Г., & Самуйленко, Т. Д., Шапошников, И. И. (2022). Особенности рынка хлебопечения и перспективные направления развития хлебопекарной отрасли Беларуси и России. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3). <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.349>

ПОСТУПИЛА: 21.07.2022

ПРИНЯТА: 18.09.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



Features of the Bakery Market and Promising Directions of Development of the Baking Industry in Belarus and Russia

¹ Belarusian State University of Food and Chemical Technologies

² Scientific Research Institute of the Bakery Industry

³ Moscow State University of Food Production

Alexander V. Akulich¹, Marina N. Kostyuchenko², Mikhail G. Balykhin³, Tatyana D. Samuylenko¹, Igor I. Shaposhnikov²

CORRESPONDENCE:

Alexander V. Akulich

Address: 3, Schmidt's Ave., Mogilev, 212027, Belarus

E-mail: akulichav57@mail.ru

FOR CITATIONS:

Akulich, A. V., Kostyuchenko, M. N., Balykhin, M. G., Samuylenko T. D., & Shaposhnikov, I. I. (2022). Features of the bakery market and promising directions of development of the baking industry in Belarus and Russia. *Storage and Processing of Farm Products*, (3). <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.349>

RECEIVED: 21.07.2022

ACCEPTED: 18.09.2022

PUBLISHED: 30.09.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction. The modern bakery industry of the Union State is one of the leading branches of the food industry. It occupies one of the first places in the world in terms of production in kind. Many internal and external factors determine its condition and development prospects.

Purpose. The purpose of the study is to identify the patterns and features of the functioning of the bakery market of the Russian Federation and the Republic of Belarus in the dynamics of the last ten years and to establish promising directions of development in the XXI century.

Materials and Methods. Analytical studies were carried out using data from Rosstat and Belstat, the Ministry of Agriculture and Food of Belarus, the «Minskkhlebprom», the Belkoopsoyuz.

Results. Comparative characteristics of changes in the consumption of bakery products, their volumes and production structure in the Republic of Belarus and the Russian Federation for 2010–2020 are reflected in the presented article. The main reasons for the dynamics of these processes have been considered. The problems of the formation of the cost and retail prices for bakery products and the ways to solve them in the modern conditions of the bakery industry of the two countries have been updated. Joint achievements of scientific organizations, institutions of higher education and enterprises of the bakery industry in the field of technologies of bakery products in discrete mode, including increased nutritional value were presented. The general directions in the improvement of the bakery industry on the basis of its digitalization based on the complex relationship of consumer, producer, science and education have been identified.

Conclusions. The results of the study will allow to respond promptly to the trend of changing demand for bakery products, to develop and implement new directions in technology, taking into account the current state of the bakery industry and the functioning of individual bakery enterprises.

KEYWORDS

bakery industry; bakery products; pandemic; assortment; manufacturers; discrete technologies; digitalization

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время хлебопекарная промышленность является одной из ведущих отраслей пищевой промышленности в Российской Федерации и Республике Беларусь, и обеспечивает около 10% ее выручки, а по объемам производства в натуральном выражении она занимает одно из первых мест в мире (Косован & Шапошников, 2019).

Практически до завершения первой промышленной революции и даже позже на рынке хлебобулочных изделий преобладали малые пекарни, обслуживавшие небольшие районы. Промышленное хлебопечение начало формироваться на территории современных Российской Федерации и Республики Беларусь начиная со второй половины 20-х годов прошлого века, когда в процессе индустриализации происходил процесс быстрого увеличения городского населения. В этот период сформированы крупные территориальные объединения, подчиняющиеся единой отраслевой системе управления, которые сохранялись до 1991 года. После распада Советского Союза в хлебопекарной отрасли двух стран возникли существенные различия, которые обусловлены как объективными, так и субъективными причинами того времени (Косован & Шапошников, 2018).

В Российской Федерации крупные хлебопекарные предприятия в период 90-х годов были приватизированы. В результате появилось большое количество средних предприятий, не имеющих достаточных ресурсов для инвестиционного развития. Одновременно стал развиваться малый бизнес. Стоит отметить, что в ряде регионов Российской Федерации, особенно Дальневосточного, Сибирского, Северо-Кавказского и Приволжского федеральных округов и ранее наблюдалось значительное преобладание малого хлебопечения над промышленным или даже полное отсутствие последнего. Это обусловлено преимущественно особенностью этих регионов.

В начале 2000-х годов начался процесс консолидации, однако пока он не привел к формированию таких крупных компаний, которые функционируют на рынках США, Объединенного Королевства,

Канады, скандинавских стран Евросоюза, отчасти Германии и Италии. При этом многие крупные хлебопекарные предприятия стали участниками Национального Союза Хлебопечения, основным предметом деятельности которого является представление и защита общих интересов членов Союза, противодействие монополизму и недобросовестной конкуренции в отрасли (Косован & Шапошников, 2018; Косован & Шапошников, 2019). Союз входят только производители хлебобулочных и мучных кондитерских изделий (24 лидера индустриального хлебопечения) из 29 регионов производства. Члены Союза представлены исключительно российскими производителями, в том числе имеющие до 40,0 % зарубежного присутствия. По данным на 2020 год суммарный объем производства членов организации доходит до 2,7 тыс. тонн в сутки, предприятия обеспечивают своей продукцией до 24 млн. человек, выручка составляет 79,9 млрд. рос. рублей. На предприятиях Союза трудится в среднем 18,7 тыс. работников¹.

В последние годы в Российской Федерации на рынке стали появляться крупные сети пекарен-кафе, в том числе функционирующие на основе франшиз, которые характерны для Германии, Франции, Италии. На крупнейших региональных рынках Московского региона и Санкт-Петербурга появились дочерние компании крупнейших зарубежных производителей: Grupo Bimbo, Grupo Barilla, Lantmannen Unibake, La Lorraine Bakery Group, Mondelez International.

В этом плане хлебопекарная отрасль Республики Беларусь существенно отличается от Российской Федерации. Отрасль представлена преимущественно крупными производственными объединениями государственной формы собственности, равномерно распределенными по территории страны:

- КУП «Минскхлебпром» (г. Минск) — хлебозаводы №2, 3, 4, 5, 6, «Автомат»;
- ОАО «Берестейский пекарь» (Брестская область) — 3 цеха (бывших хлебозаводов) в г. Бресте, филиалы в г. Барановичи, Ганцевичи, Давид-Городок, Кобрин, Лунинец, Пинск, Столин;
- ОАО «Борисовхлебпром» (Минская область) — филиалы г. Борисов, Вилейка, Жодино, Молодечно, Несвиж, Солигорск

¹ В Национальном Союзе Хлебопечения обновился состав правления. <https://ohlebe.ru/news/union/422-natsionalnyj-soyuz-khlebopecheniya-obnovil-sostav>

- ОАО «Булочно-кондитерская компания «Домочай»» (Могилевская область) — хлебозаводы №1, 3, 4 в г. Могилеве, филиалы в г. Быхов, Бобруйск, Горки, Климовичи, Костюковичи, Кричев, Мстиславл;
- ОАО «Витебскхлебпром» (Витебская область) — хлебозаводы №1, 2 и две пекарни в г. Витебске, филиалы в г. Браслав, Верхнедвинск, Глубокое, Докшицы, Лепель, Миоры, Новолукомль, Новополоцк, Орша, Полоцк;
- ОАО «Гомельхлебпром» (Гомельская область) — хлебозаводы №2, 3, 4/1, 4/2 (ранее №1) в г. Гомеле, филиалы в г. Добруш, Жлобин, Калинковичи, Мозырь, Речица, Рогачев, Светлогорск;
- ОАО «Гроднохлебпром» (Гродненская область) — 3 цеха (ранее хлебозавода) в г. Гродно, филиалы в г. Волковыск, Лида, Новогрудок, Слоним, Сморгонь.

Более мелкие хлебопекарные предприятия существуют в большинстве районных центров страны и в некоторых крупных агрогородках. Они представлены преимущественно производственными участками в системе потребительской кооперации (Белкоопсоюз). В последние десятилетия на рынке хлебопечения присутствуют и другие предприятия,

которые относятся к Управлению делами Президента, Министерству промышленности Республики Беларусь, Белорусской железной дороге, концернам «Белнефтехим» и «Белгоспищепром», районным, городским и областным исполнительным комитетам, существенно расширяется доля коммерческих фирм, в том числе по производству ремесленного хлеба, и торговых сетей с производственными цехами. Доли рынка компаний производителей хлеба и хлебобулочных изделий в Республике Беларусь представлены на Рисунке 1.

Хлебопекарными предприятиями осуществляется выпуск обширного ассортимента хлебобулочных изделий, насчитывающий много сортов и разновидностей и включающий более 1000 наименований. Они подразделяются на группы по виду муки, способу выпечки, форме, массе, рецептурному составу и т.д.

Современный этап цифровой трансформации экономики, сопровождающийся внезапно разразившейся пандемией нового коронавируса, ведет к серьезным изменениям в парадигме спроса на хлебобулочные изделия (Костюченко и др., 2020), обусловленные как демографическими изменени-

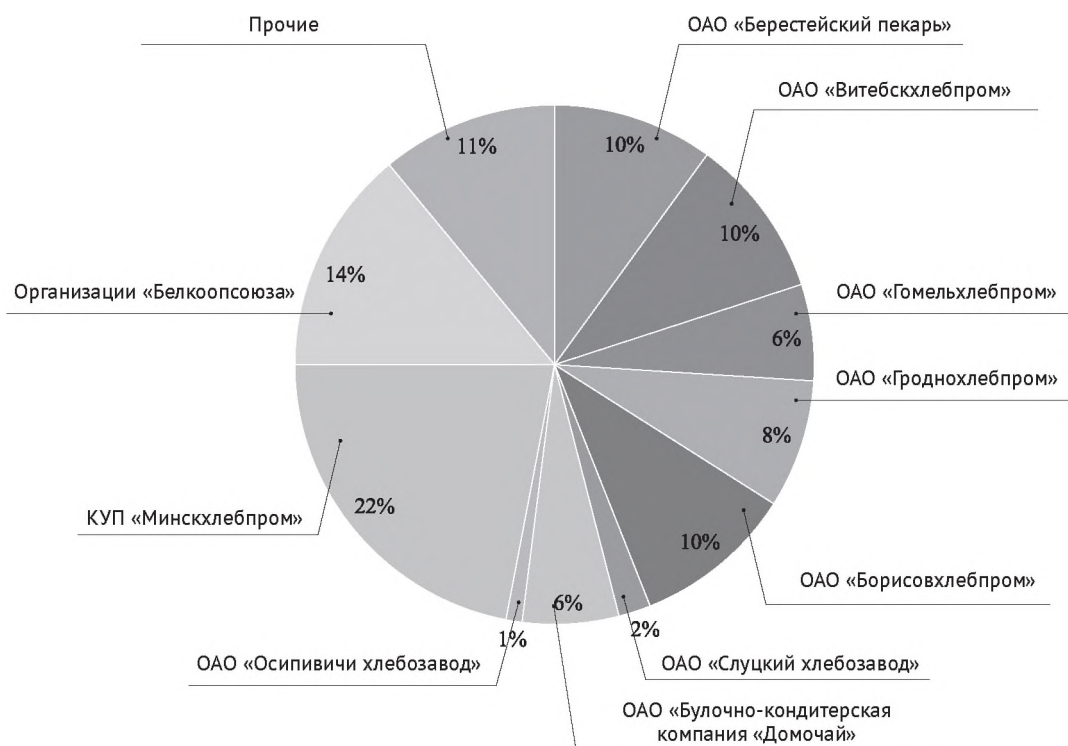


Рисунок 1.

Доли рынка производителей хлебобулочных изделий в Республике Беларусь (2020 год)

ями в возрастной структуре населения и вступлением в трудоспособный возраст новых поколений миллениалов и зумеров, так и тенденцией роста индивидуализации питания, в том числе повышением внимания к здоровым свойствам потребляемого продовольствия (Акулич и др., 2021; Timakova et al., 2021). Указанные процессы сопровождаются расширением информационного поля в значительной мере за счет недостоверной информации о вреде хлеба для здоровья, распространяемой так называемыми диетологами, мнение которых широко представлено в сети интернет. Новыми, еще в недостаточной степени оцененными с точки зрения влияния на рынок являются требования так называемого устойчивого развития, снижения углеродного следа, потерь продовольственных ресурсов, экологической чистоты продукции. При этом значительная часть населения пока сохраняет традиционное восприятие хлеба как ежедневного продукта питания и болезненно относится к повышению цен на массовые сорта.

В то же время хлеб является не только одним из основных продуктов в ежедневном рационе питания, но и объектом социальной политики государства. Социальную значимость хлеба определяют такие факторы как традиции и привычки населения наших стран, низкая стоимость в сравнении с другими продуктами питания, что обуславливает доступность для всех групп населения, разнообразный ассортимент, относительно высокая пищевая ценность, возможность введения в рецептуру физиологически важных и функциональных компонентов. Вследствие этого хлебопекарная отрасль наиболее восприимчива к рыночным изменениям и полностью зависит от колебаний спроса и предложения на этом рынке (Ефименко А. Г. & Ефименко А. В., 2016; Овсянникова, 2020). Основная задача, стоящая перед отраслью — обеспечение населения продукцией со стабильно высокими потребительскими свойствами в таком ассортименте и количестве, которые соответствовали бы его каждодневным запросам.

Целью исследования является выявление закономерностей и особенностей функционирования рынка хлебопечения Российской Федерации и Республики Беларусь в динамике последних десяти лет и установление перспективных направлений

его развития в современных реалиях XXI века; разработка перспективной технологии жидких ржаных заварок для дискретного режима производства заварных сортов хлеба.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Процедура исследования

На первом этапе исследования были проанализированы источники и данные по следующим синонимическим конструкциям: ежедневное потребление хлебобулочных изделий, ежегодный объем производства хлебобулочных изделий, ассортимент хлебобулочных изделий, технологии для дискретных режимов производства, ценообразование в хлебопекарной отрасли. На втором этапе исследования полученные данные были концептуализированы. Источники были ранжированы в рамках исследуемого промежутка времени с учетом изучаемой тематики и наличия полных текстов. На третьем этапе проведена качественная оценка жидких ржаных заварок, используемых для дискретного режима производства.

Материалы

Источники

При работе с источниками использовалась база данных РИНЦ, Web of Science. Проанализированы источники на русском и английском языках, опубликованные с 2010 по 2020 год. Первая дата соответствует времени, когда начали появляться существенные различия в исследуемой области по сравнению с советским периодом. Данные анализировались из источников, опубликованных в профильных журналах, отраслевых изданиях, монографиях и связанных с рассматриваемой тематикой исследований.

Статистические данные

Использованы ежегодные статистические данные Росстат и Белстат^{2, 3} по среднесуточному потреблению хлебобулочных изделий, их объемам

² Федеральная служба государственной статистики. <http://rosstat.gov.ru>

³ Национальный статистический комитет Республики Беларусь. <http://www.belstat.gov.by>

производства, вырабатываемому ассортименту, а также данные по ежегодным объемам производства хлебобулочных изделий и вырабатываемому ассортименту, предоставленные в годовых отчетах Минсельхозпрод Беларуси, КУП «Минскхлебпром», Белкоопсоюз.

Методы

Органолептическая оценка

Органолептическая оценка полуфабрикатов проводилась непосредственно сразу после отбора путем осмотра всей массы полуфабрикатов. В жидких ржанных кислотосодержащих полуфабрикатах определена консистенция, вкус и запах. При проведении качественной оценки полуфабрикатов зафиксирована продолжительность его брожения или осахаривания^{4,5}.

Определение влажности

Проба полуфабрикатов для определения влажности отбиралась сразу после его замеса. Влажность полуфабрикатов определена экспрессным методом высушивания на приборе типа ВЧ (конструкции К.Н.Чижовой), представленном в Лабораторном практикуме по технологии хлебопекарного производства⁶ и методических указаниях по проведению испытаний качества полуфабрикатов хлебопекарного производства⁷.

Определение кислотности

Кислотность полуфабрикатов определена методом титрования водной суспензии полуфабриката 0,1 Н раствором NaOH, представленном в Лабораторном практикуме по технологии хлебопекарного производства⁸ и методических указаниях по проведению

испытаний качества полуфабрикатов хлебопекарного производства⁹.

Определение подъемной силы

Подъемная сила полуфабрикатов определена ускоренным методом, представленном в Лабораторном практикуме по технологии хлебопекарного производства¹⁰ и методических указаниях по проведению испытаний качества полуфабрикатов хлебопекарного производства¹¹.

Анализ данных

Для анализа информации по среднесуточному их потреблению, объемам производства хлебобулочных изделий, вырабатываемому ассортименту, технологиям в дискретном режиме производства, ценообразованию в хлебопекарной отрасли сформирована аналитическая таблица по каждому предмету поиска по искомым источникам следующего вида:

Предмет поиска	Наименование источника	Библиографические данные (автор, издание, год издания, номер, страницы при наличии)
Ассортимент хлебобулочных изделий	Белорусский каравай – 2020	Овсянникова, Л. А., Пекарь и кондитер, 2021, №2, 12–18

По искомым предметам были описаны результаты исследований (Овсянникова, 2021).

Определение влажности, кислотности и подъемной силы проводили в трех повторностях. Результаты обработаны статистическими методами с вероятностью 0,95 с использованием программного обеспечения Statgraphics Plus 5.0 Manugistics company.

⁴ Пучкова, Л. И. (2004). *Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства*. СПб.: ГИОРД.

⁵ Карнышова, Л. В., & Севастей, Л. И. (2008). *Методические указания по проведению испытаний качества полуфабрикатов хлебопекарного производства*. Минск: Белтехнохлеб.

⁶ Там же.

⁷ Там же.

⁸ Там же.

⁹ Там же.

¹⁰ Там же.

¹¹ Там же.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Потребление хлебобулочных изделий

Среднесуточное потребление на душу населения хлебобулочных изделий, как показывают статистические данные, в последние годы во всем мире и, в частности, в Российской Федерации и Республике Беларусь постоянно сокращается. Российский рынок в значительной мере подвержен действию мировых глобальных тенденций развития хлебопечения. Прежде всего, они проявляются на региональных рынках Санкт-Петербурга, Москвы и Московского региона, затем распространяются на крупные городские агломерации и все остальные рынки. Драйверами продвижения этих тенденций выступают присутствующие в Российской Федерации иностранные производители, сами люди (туристы и трудовые мигранты) и средства массовой информации, включая сеть интернет (Косован & Шапошников, 2018; Kostyuchenko et al., 2019).

Сложившаяся ситуация влияет как на изменение в объемах производства и потребления хлебобулочных изделий, так и в структуре их выпуска. По данным Росстат, полученным по результатам ежегодно производимого исследования потребления продовольствия в домохозяйствах без учета потребления вне дома, ежегодные объемы снизились в душевом годовом выражении в период с 2010 по 2020 гг. по хлебу пшеничному с 36,5 кг до 27,6 кг или на 24,4 %, по хлебу ржаному и прочему с 17,4 кг до 13,3 кг или на 23,6 %, а по прочим хлебобулоч-

ным изделиям выросли с 3,5 кг до 4,2 кг или на 20 %. При этом общие объемы потребления хлебобулочных изделий упали с 57,4 кг до 45,1 кг или на 21,4 %. Одновременно потребление хлебопродуктов снижалось более низкими темпами и составило 7,2 %, а в абсолютном выражении в 2 раза или на 6,0 кг меньше, что свидетельствует о частичном замещении хлебобулочных изделий другими продуктами переработки зерна.

В Республике Беларусь наблюдается схожая тенденция, как в самой динамике снижения потребления, так и в ее темпах (Рисунок 2).

В настоящее время этот показатель в Республике Беларусь не достигает 200 г (потребление в домашних хозяйствах находится в диапазоне от 70,0 г до 80,0 г), в то время как в период 90-х гг. XX века составлял более 400 г, а в отдельных регионах доходил до 800 и даже 1000 г. Кроме того, этот уровень в 1,5–2 раза ниже рекомендуемых норм¹² (Косован и др., 1999; Кулеш & Пантелей, 2006; Овсянникова, 2021; Овсянникова & Тепко, 2004; Овсянникова, 2003). Такая тенденция обусловлена преимущественно изменением рациона питания населения, в результате насыщения рынка более широким и разнообразным ассортиментом продуктов питания разной ценовой категории, а также взаимосвязью между потреблением этих продуктов и уровнем доходов населения в анализируемый период времени. Кроме того, существенную роль играет обострение конкуренции и увеличение доли хлебопекарных предприятий малой мощности, ми-

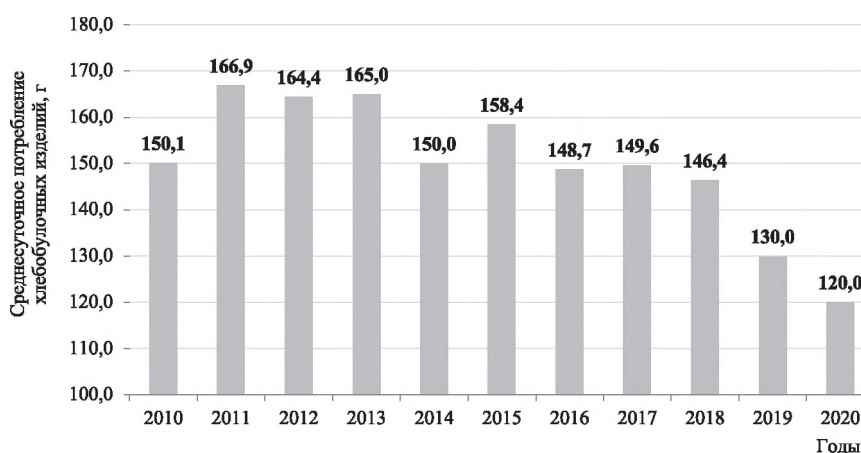


Рисунок 2

Динамика среднесуточного потребления хлебобулочных изделий в Республике Беларусь за 2010–2020 гг.

¹² Потребление основных продуктов питания в домашних хозяйствах. <http://www.belstat.gov.by>

ни-пекарен, а также торговых сетей с хлебопекарными цехами, преимущественно частной формы собственности. Все это привело к устойчивому уменьшению объемов производства более крупных производителей (Овсянникова, 2019; Овсянникова, 2018).

Объемы производства хлебобулочных изделий

Согласно данным Росстат объем производства хлебобулочных изделий в 2020 году составил немногим более 6,0 млн. тонн. Однако эти данные не учитывают выпуск части малого бизнеса, сферы общественного питания и торговых организаций, которые не сдают статистическую отчетность по производству, поэтому фактический объем по экспертным оценкам составляет 8,0–9,0 млн тонн. За период 2010–2020 гг. снижение объемов производства хлебобулочных изделий, учтенного Росстат, составило 25,4 %, по хлебу и булочным изделиям из пшеничной муки 23,3 %, по хлебу и булочным изделиям из ржаной и ржано-пшеничной муки — 34,2%.

Объемы производства хлебобулочных изделий хлебопекарными предприятиями Республики

Беларусь в период 2010–2020 гг., представленные в Таблице 1, свидетельствуют об их снижении в 2020 году до 74,4 % от уровня 2010 года (в 2010 году произведено 553,9 тыс. тонн, в 2020 году — 412,3 тыс. тонн). Ежегодное отклонение объема производства варьировалось в диапазоне от минус 8,6 % до плюс 4,6 % от уровня предыдущего года³ (Овсянникова, 2021; Овсянникова, 2015; Овсянникова, 2011).

Такая тенденция для хлебобулочных изделий в целом и в отдельности для отдельных их сортов характерна для всех ведущих производителей хлебопекарной отрасли.

Кроме того, анализ имеющегося оборудования и его использования хлебопекарными предприятиями показывает, что наблюдается явный переизбыток мощностей для производства хлебобулочных изделий, особенно для крупных предприятий со значительной долей государственной формы собственности. Используемое оборудование и традиционные технологии направлены на производство преимущественно в круглосуточном режиме. В сложившихся современных условиях такой режим производства является нецелесообразным и малоэффективным. Современные предприятия практи-

Таблица 1

Объемы производства хлебобулочных изделий хлебопекарными предприятиями Республики Беларусь в период 2010–2020 гг.

Год	Хлебопекарные предприятия, тыс. тонн				Общий объем производства	
	Министерство сельского хозяйства и продовольствия	КУП «Минскхлебпром»	Белкоопсоюз	Прочие	тыс. тонн	%
2010	317,1	114,8	105,2	16,6	553,9	100,0
2011	322,9	112,0	103,0	41,7	579,6	104,6
2012	320,1	95,7	101,8	39,8	569,3	102,8
2013	292,9	90,2	92,9	39,4	524,1	94,6
2014	284,8	92,3	89,2	40,2	513,8	92,8
2015	272,0	92,1	89,8	40,8	500,7	90,4
2016	261,4	92,8	88,2	41,1	483,5	87,3
2017	257,6	94,0	87,5	41,3	480,4	86,7
2018	249,3	92,8	79,1	41,5	462,7	83,5
2019	238,8	93,0	67,1	41,5	440,4	79,5
2020	223,9	90,5	56,9	41,0	412,3	74,4

чески повсеместно функционируют в дискретном режиме (Овянникова, 2005). Другой особенностью деятельности хлебопекарных предприятий в современных условиях, обуславливающей дискретный режим производства, является нестабильность заявок торговых организаций на весь ассортимент хлебобулочных изделий. Ежесуточные отклонения в заявках торговых организаций доходят до 63,2 % в зависимости от хлебопекарного предприятия. Сложившаяся ситуация влияет на нестабильность в графиках работы хлебопекарных печей, которая характеризуется наличием непрогнозируемых ежедневных технологических перерывов различной продолжительности. Такая тенденция повторяется

ежегодно и характерна в целом для всей хлебопекарной отрасли (Самуйленко & Акулич, 2021; Овсянникова, 2016).

Структура ассортимента хлебобулочных изделий

Существенные изменения произошли и в структуре ассортимента хлебобулочных изделий. На Рисунке 3 представлено в целом изменение структуры производства хлебобулочных изделий в Российской Федерации в 2010 и 2020 гг.

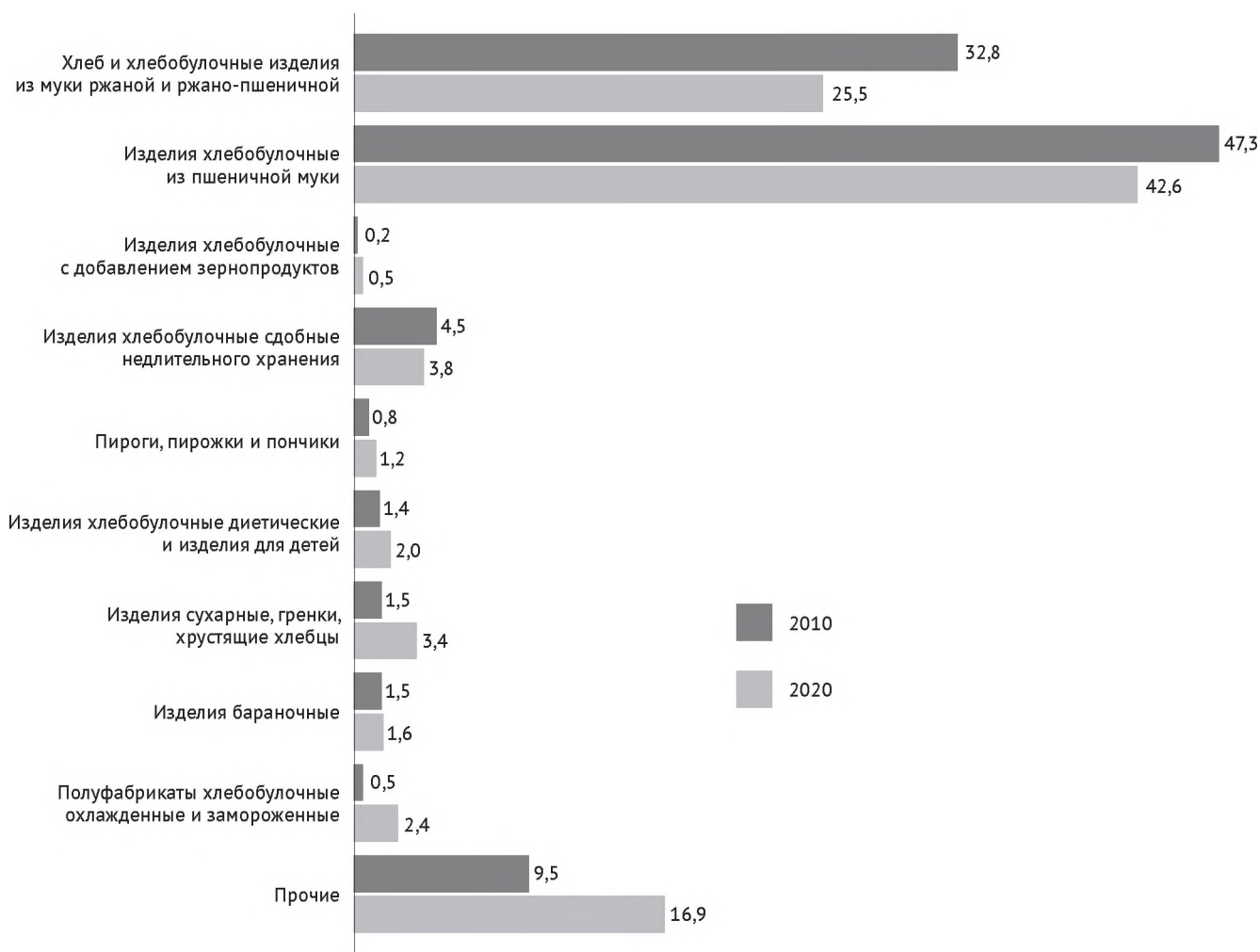


Рисунок 3

Структура производства хлебобулочных изделий в Российской Федерации в сравнении за 2010 г. и 2020 г. по данным Росстат¹³

¹³ Там же.

За рассматриваемый период времени сократилось производство преимущественно хлеба и хлебобулочных изделий из ржаной, пшеничной муки и их смеси. Одновременно с этим отдельные ассортиментные группы показали рост, представляя собой драйверы рынка. Такое изменение структуры производства в Российской Федерации имеет общие моменты и для хлебопекарной отрасли Республики Беларусь (Рисунок 4).

Представленные данные позволяют сделать вывод, что падение производства и потребления обусловлено постоянным снижением спроса преимущественно на массовые сорта (Овсянникова, 2013; Овсянникова, 2014; Овсянникова, 2017), которое не остановилось даже в период пандемии. Вместе с тем анализ показывает наличие потенциала спроса в следующих сегментах:

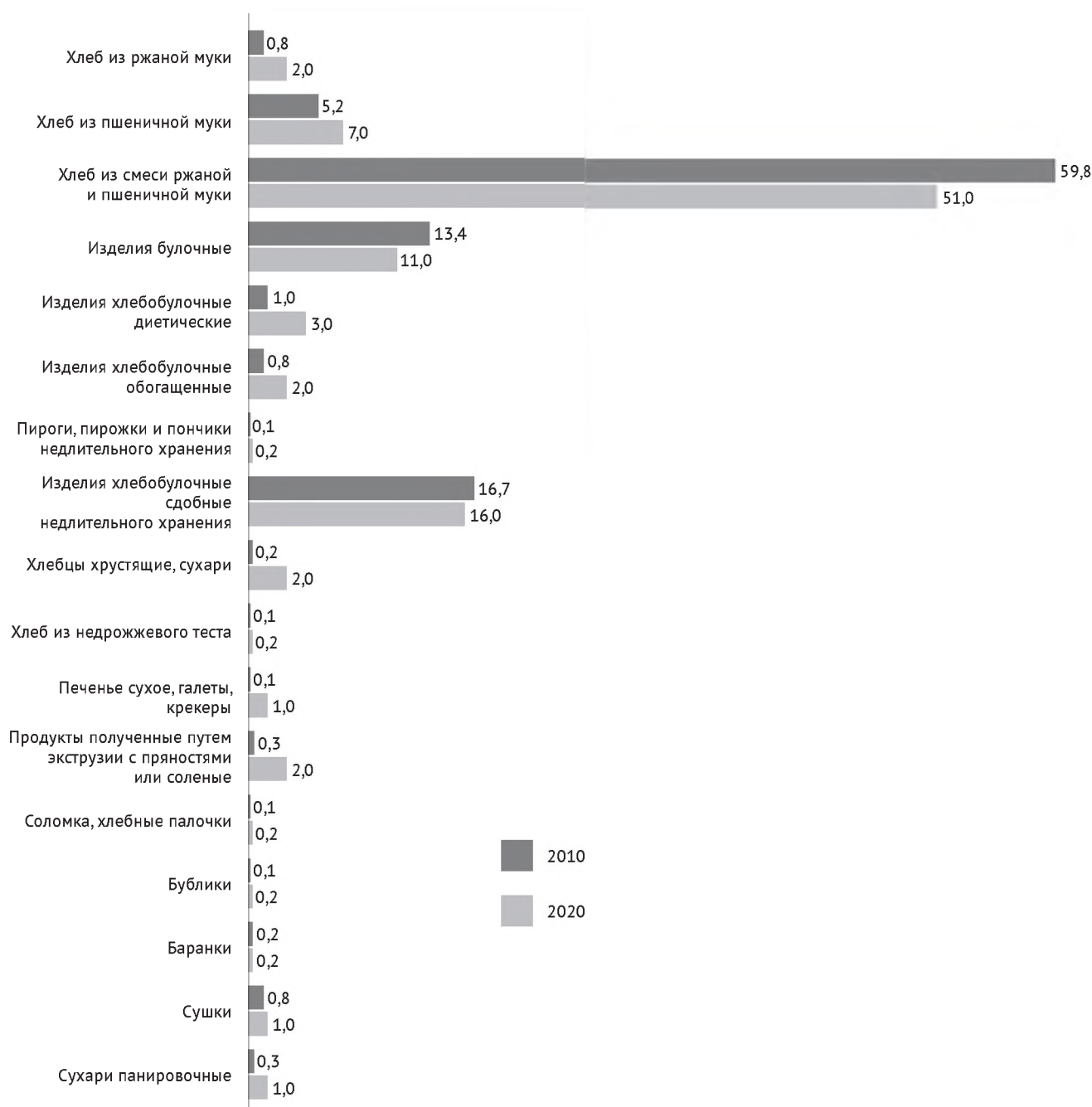


Рисунок 4.

Структура производства хлебобулочных изделий в Республике Беларусь в сравнении за 2010 г. и 2020 г.

(1) Хлебобулочные изделия, позиционируемые как полезные для здоровья (диетические и обогащенные), в частности, с добавлением зернопродуктов и повышенным содержанием пищевых волокон (Овсянникова, 2012). При этом последние, согласно недавним исследованиям (Patnode et al.; So et al., 2021), обладают не только профилактическим действием относительно неинфекционных заболеваний, но и возможностью поддержания иммунитета за счет благоприятного воздействия на кишечник, что особенно важно в условиях пандемии.

(2) Мелкоштучные изделия снекового типа, предназначенные для перекуса в течение дня, еды на ходу, к которым относятся в частности сухари, гренки, хрустящие хлебца, галеты, крекеры, а также пироги, пирожки и пончики (Самуйленко & Акулич, 2021; Ovaskainen et al., 2006; Marmonier et al., 2000; Bellisle, 2014; Chapelot, 2011; Novitskaya & Orlovskaya, 2019; Овсянникова, 2008; Овсянникова, 2009; Marshall & Bell, 2003).

(3) Замороженные и охлажденные полуфабрикаты, преимущественно в Российской Федерации, рост спроса на которые отражает потребности растущего сектора общественного питания, а его резкое замедление в период пандемии было компенсировано ростом спроса со стороны сетевой торговли и домашнего хлебопечения. Достоинством этих продуктов является их длительный срок хранения, что ведет к экономии продовольственных ресурсов и их привлекательность для торговых сетей, которая выросла после запрещения российским законодателем возврата хлебобулочных изделий из торговли (Шапошников и соавт., 2020).

Разработка технологий для дискретного режима производства хлеба

Развиваются и технологии производства хлебобулочных изделий. Для пшеничных изделий дискретные технологии разработаны и активно используются на хлебопекарных предприятиях уже достаточно длительный период времени (Овсянникова, 2006; Овсянникова, 2007; Овсянникова, 2010). Производство хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки, в том числе и заварных сортов, основанное на использовании кислотосодержащих полуфабрикатов (заквасок и заварок) в современных условиях имеет опреде-

ленные сложности, обусловленные непрерывным культивированием в них специфических микроорганизмов в производственном цикле, а также с рядом других причин объективного и субъективного характера. На предприятиях малой мощности, которые заинтересованы в производстве ассортимента из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки, эффективное воспроизводство сложных и трудоемких технологий непрерывно приготавливаемых кислотосодержащих полуфабрикатов и вовсе не представляется возможным (Гуринова и соавт., 2012а; Гуринова и соавт., 2012б). Востребованность же этого ассортимента достаточно велика как в рассматриваемом регионе, в котором их можно отнести к национальным сортам хлеба (Гуринова и соавт., 2013а; Гуринова и соавт., 2013б), так и за рубежом (Preed et al., 2011; Clarke & Arendt, 2005).

Переориентация предприятий на дискретный режим работы повлекло возникновение ряда сложностей, связанных с реорганизацией технологического процесса. При этом следует учитывать максимально эффективное использование производственных мощностей хлебозаводов, обеспечение сокращения потерь сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, экономное использование топливно-энергетических ресурсов без потери качества готовых изделий (Гуринова и соавт., 2013а; Гуринова и соавт., 2014).

При взаимодействии ведущих хлебопекарных предприятий Республики Беларусь и учреждения образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий» предложены перспективные способы решения перечисленных проблем путем использования разработанных эффективных инновационных технологий (Гуринова и соавт., 2013в; Гуринова и соавт., 2013г; Гуринова и соавт., 2014).

На хлебопекарных предприятиях Республики Беларусь реализуются технологии жидких ржаных заквасок и заварок с регулируемой продолжительностью брожения, разработанные для дискретного режима производства хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки. В их основе лежат научно обоснованные данные о влиянии технологических параметров, количественного и качественного состава мучных питательных субстратов, в том числе и с использованием до-

полнительных видов сырья, на биотехнологические свойства жидких ржанных заквасок и заварок в производственном цикле в дискретном режиме. Такие технологии позволяют получать названные кислотосодержащие полуфабрикаты в производственном цикле в установленный, в том числе и пролонгированный, период времени, интенсифицировать процесс брожения теста и получать готовую продукцию со стабильными потребительскими свойствами, снизить ее себестоимость и расширить существующий ассортимент¹⁴ (Назаренко и соавт., 2012; Гуринова и соавт., 2012а; Гуринова и соавт., 2015; Самуйленко и соавт., 2016; Гуринова и соавт., 2017; Самуйленко, 2017; Samuylenko, 2018; Самуйленко и соавт., 2018; Самуйленко и соавт., 2019; Самуйленко, 2019; Samuylenko, 2019a; Samuylenko, 2019b; Samuylenko & Akulich, 2020; Акулич & Самуйленко, 2020; Самуйленко & Акулич, 2020).

В последние годы широко стали использоваться ускоренные технологии именно для ассортимента хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки. Разработана инновационная ускоренная технология для такого ассортимента, в том числе и улучшенной пищевой ценности, на основе сухих мучных полуфабрикатов без брожения теста в массе. Данная технология в настоящее время эффективно реализуется в цехах торговых объектов и объектах общественного питания (Timakova et al., 2021; Акулич и соавт., 2021; Samuylenko, 2019a).

Немаловажную роль во всех областях жизни и экономики двух стран играет импортозамещение. Использование местных нетрадиционных сырьевых ресурсов является перспективным направлением, в том числе и в хлебопекарной отрасли. Это направление широко реализуется во многих странах мира (Preedy et al., 2011). Новые ресурсы могут выступать как в качестве сырьевых компонентов, улучшающих пищевую ценность, так и способных регулировать технологический процесс производства. В последние годы в Республике Беларусь уделяется большое внимание продуктам переработки растительного сырья, в частности плодов, овощей, фитосырья, которые могут быть использованы в технологии хлебобулочных изделий.

В качестве нетрадиционного растительного сырья для технологии сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки предложено использование измельченных коры дуба, травы эхинацеи пурпурной, листа шалфея и травы полыни горькой в качестве регулятора жизненного цикла культивируемых специфических микроорганизмов в дискретном режиме. Разработаны составы мучных питательных субстратов, используемые для приготовления сброженной заварки в производственном цикле и способ приготовления названного полуфабриката, позволяющие стабилизировать показатели его качества и получить в необходимом количестве в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба по сравнению с традиционной технологией (Таблицы 2–4).

Таблица 2

Рецептуры составов сухих мучных питательных субстратов для приготовления сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки в производственном цикле (кг на 100 кг муки по унифицированной рецептуре)

Наименование компонентов	Виды сухих мучных питательных субстратов								
	Традиционный	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
Мука ржаная сеяная	15,0	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4
Солод ржаной неферментированный	5,0	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Пряности	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—
Кора дуба	—	0,18	0,18	—	—	—	—	—	—
Трава эхинацеи пурпурной	—	—	—	0,05	0,05	—	—	—	—
Лист шалфея	—	—	—	—	—	0,14	0,14	—	—
Трава полыни горькой	—	—	—	—	—	—	—	0,016	0,016

¹⁴ Способ приготовления жидкой закваски с завариванием части муки и способ приготовления хлеба из ржаной муки и/или смеси ржаной и пшеничной муки с использованием жидкой закваски (2016). Патент 19954 Республики Беларусь; Гуринова, Самуйленко & Назаренко, 2013, с. 9–13

Таблица 3

Технологические параметры приготовления сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки с использованием сухих мучных питательных субстратов в производственном цикле

Наименование технологического параметра	Виды сухих мучных питательных субстратов								
	Традиционный	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
Продолжительность осахаривания, мин	120	60	60	60	60	60	60	60	60
Соотношение осахаренной заварки и термофильной заквашенной заварки предыдущего приготовления, масс. % от суммарного количества получаемого полуфабриката	50 : 50	20 : 80	80 : 20	20 : 80	80 : 20	20 : 80	80 : 20	20 : 80	80 : 20
Продолжительность заквашивания, мин	180	120	360	120	360	120	360	120	360
Продолжительность охлаждения заквашенной заварки, мин	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Соотношение охлажденной термофильной заквашенной заварки и сброженной заварки предыдущего приготовления, масс. % от суммарного количества получаемого полуфабриката	50 : 50	20 : 80	80 : 20	20 : 80	80 : 20	20 : 80	80 : 20	20 : 80	80 : 20
Продолжительность сбраживания, мин	180	120	360	120	360	120	360	120	360

Таблица 4

Показатели качества сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки с использованием сухих мучных питательных субстратов в производственном цикле

Наименование показателя	Виды сухих мучных питательных субстратов									
	Традици- онный	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	
Органолептические показатели осахаренной заварки (внешний вид, запах, вкус)	Однородная консистенция, сладковатый вкус и аромат									
Массовая доля влаги осахаренной заварки, %	72,0–78,0	76,0–78,0								
Органолептические показатели термофиль- ной заквашенной заварки (внешний вид, запах, вкус)	Однородная консистенция, кисло-сладкий вкус и аромат									
Массовая доля влаги термофильной заква- шенной заварки, %	72,0–78,0	76,0–78,0								
Кислотность термофильной заквашенной заварки, град.	8,0–11,0	10,4	10,2	9,8	9,6	10,0	10,2	10,2	10,4	
Органолептические показатели сброженной заварки (внешний вид, запах, вкус)	Увеличение в объеме с образованием средних и крупных пузырьков газа, кисло-сладкий вкус и аромат									
Массовая доля влаги сброженной заварки, %	72,0–78,0	76,0–78,0								
Кислотность сброженной заварки, град.	9,0–13,0	12,6	12,4	12,0	12,2	12,2	12,4	12,4	12,6	
Подъемная сила сброженной заварки, мин	не более 25	24	25	20	21	22	22	23	24	

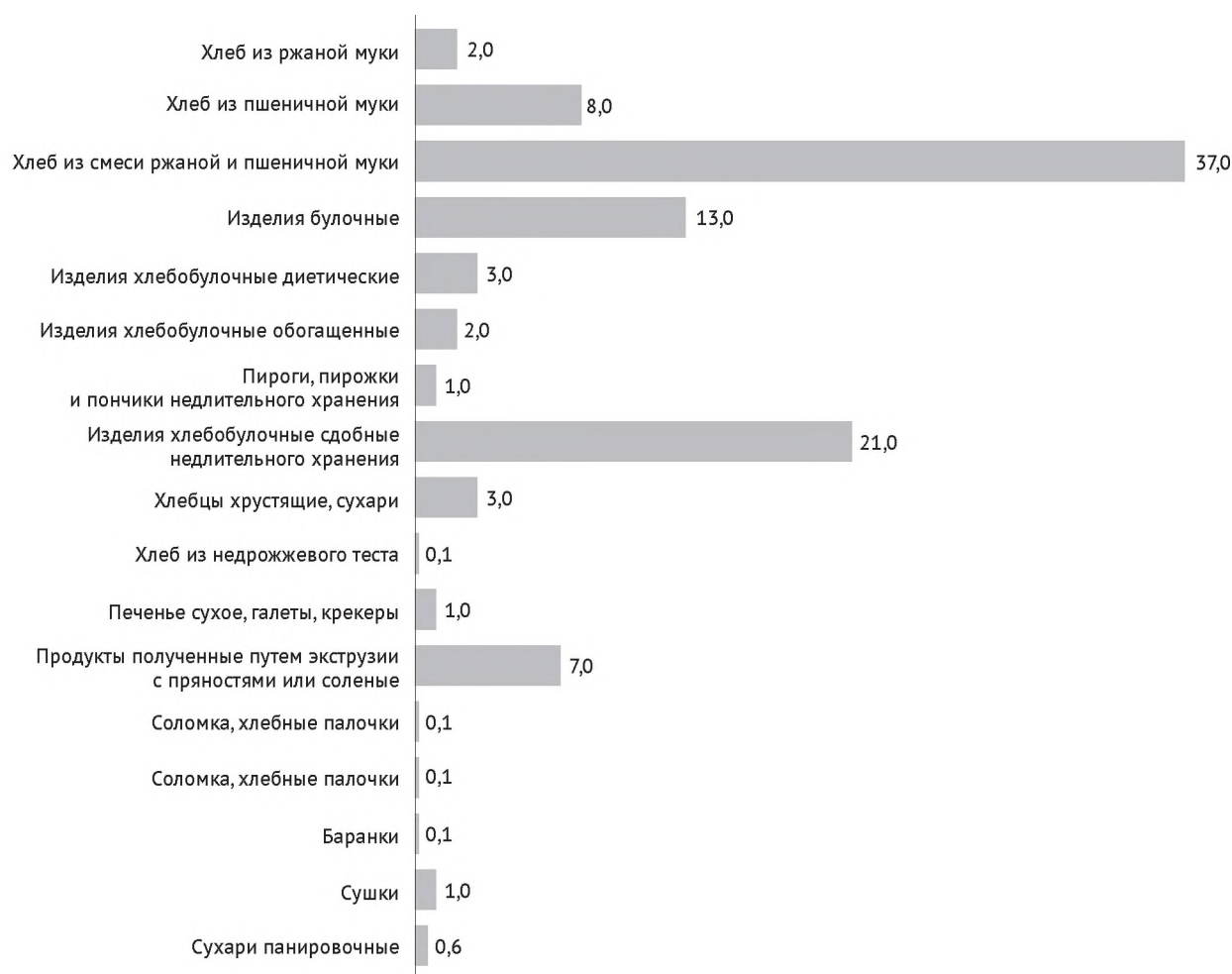


Рисунок 5

Структура рынка хлеба и хлебобулочных изделий по видам в Республике Беларусь в 2020 году (в стоимостном выражении)

На представленные составы сухих мучных питательных субстратов и способ приготовления сброженной закваски на основе осахаренной и термофильной заквашенной закваски с использованием сухих мучных питательных смесей в производственном цикле получен патент¹⁵, а разработанная технология апробирована в производственных условиях.

Формирование стоимости хлебобулочных изделий

В стоимостном выражении структура рынка хлебобулочных изделий по видам выглядит следующим образом (Рисунок 5). Существенный вклад в общую стоимость хлебопекарной отрасли по-прежнему

вносят ассортимент хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки, булочные и сдобные изделия, что обусловлено их большей долей в общей структуре производства. Не последнюю роль играет и розничная цена на хлебобулочные изделия. Ее формирование зависит от многих факторов в зависимости от региона, в рамках которого рассматривается ценообразование. В Таблице 5 и на Рисунке 6 представлены различия в формировании структуры розничной цены хлеба ржано-пшеничного в Российской Федерации и Республике Беларусь.

Основным проблемным моментом формирования цены хлебобулочных изделий для Российской Федерации является торговая надбавка, а для Республики Беларусь — себестоимость производимой

¹⁵ Состав сухой мучной питательной смеси и способ приготовления осахаренной заквашенной сброженной закваски с использованием сухой мучной питательной смеси в производственном цикле (2022). Евразийский патент 2019.08.30

Таблица 5

Структура розничной цены хлеба из ржаной муки и из смеси муки ржаной и пшеничной в Российской Федерации за 2020 год

Наименование затрат	Рублей в расчете на кг	В % к розничной цене
Сырье и основные материалы за вычетом возвратных отходов, побочной и сопутствующей продукции	19,88	26,13
Расходы на производство	28,33	37,23
Полная себестоимость единицы продукции	48,22	63,35
Фактическая прибыль, убыток (-)	2,08	2,74
Отпускная цена без НДС, акциза и других видов налогов	50,30	66,09
НДС	3,86	5,07
Другие виды налогов	0,11	0,15
Отпускная цена с НДС, акцизом и другими видами налогов	54,27	71,31
Плата за доставку продукции (товара) покупателям, осуществляемую перерабатывающим предприятием	0,79	1,03
Отпускная цена с НДС, акцизом и др. видами налогов, включая плату за доставку продукции (товара) покупателям, осуществляемую перерабатывающим предприятием	55,06	72,34
Оборот сферы обращения	21,05	27,66
Розничная цена товара	76,11	100,00



Рисунок 6

Структура розничной цены хлеба из ржаной муки и из смеси муки ржаной и пшеничной в Республике Беларусь за 2020 год

продукции. В Российской Федерации эта проблема сейчас находится в ведении Минпромторга, Минсельхоза и Федеральной антимонопольной службы (ФАС), которые, наряду с прочими мерами по сдерживанию цен, прорабатывают с торговыми сетями вопрос об ограничении торговой надбавки на социально значимые продукты, в том числе и хле-

бобулочные изделия недлительного срока хранения. В Республике Беларусь проблему снижения себестоимости в основном решают в направлении энерго-, ресурсосбережения и импортозамещения как на отдельные виды сырьевых компонентов, так и материально-техническую базу. Несмотря на представленные сложности хлебопекарной отрасли, розничные цены на хлеб и хлебобулочные изделия в рассматриваемых регионах остаются на уровне стран-соседей (Рисунок 7).

Несмотря на то, что формы развития хлебопекарных отраслей двух стран, начиная с 1991 года, имели существенные отличия, основные проблемы производства на сегодняшний день достаточно схожи, хотя имеют место быть и индивидуальные их особенности.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Среднесуточное потребление на душу населения хлебобулочных изделий в Республике Беларусь и Российской Федерации за последние 10 лет постепенно снижается. Это подтверждается и другими исследованиями, проведенными в целом по странам, так и отдельно по областям и регионам назван-

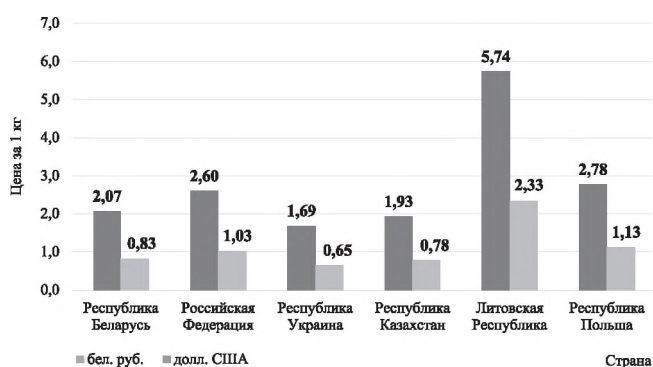


Рисунок 7

Розничная цена на примере хлеба ржаного на уровне 2020 года

ных стран^{16,17}. Стоит отметить, что в большинстве исследований в этой области авторы акцентируют на потребление хлебных продуктов, что является более широким понятием, чем хлеб и хлебобулочные изделия¹⁸. В связи с этим возможны различия в представлении статистической информации в рассматриваемом направлении. Несмотря на это, представленные обобщенные сведения в разные временные отрезки показывают или снижение потребления хлебобулочных изделий, или некоторую стагнацию этого показателя.

Разными авторами выявляются разные причины названной динамики. С одной стороны, такой процесс связан с изменением образа жизни, с другой стороны, с изменением доходов разных слоев населения, медицинскими факторами, уровнем культурного капитала (Веселов & Чернов, 2010). На потребление хлебобулочных изделий также повлияло распространение информации об отрицательном влиянии отдельных компонентов и пищевых веществ хлеба на организм чело-

века, в частности наличие глютена, дрожжей и др. Хотя в настоящее время эта информация опровергнута специалистами в области питания, но тенденция о «вреде» хлеба среди некоторых слоев населения по-прежнему еще остается. Несомненно, все названные факторы существенны. Максимальное их влияние будет осуществлять, скорее всего, при совместной комбинации, одновременно усиливая друг друга.

Динамика среднесуточного потребления на душу населения хлебобулочных изделий в Республике Беларусь и Российской Федерации в целом коррелируются с данными по этому показателю за последние годы для стран Европейского Союза и Соединенных Штатов Америки^{19,20,21}. Тенденции снижения потребления хлебобулочных изделий там аналогичные, что связано с высокой степенью индустриализации и урбанизации.

Географические особенности также влияют на потребление хлебобулочных изделий при прочих равных экономических, культурных и других факторах. Ряд авторов отмечает, что в странах южного и юго-восточного регионов традиционно среднесуточное потребление хлебобулочных изделий выше, чем в странах северных и северо-западных регионов. Такая ситуация, преимущественно, обусловлена традициями, привычками региона. В топ таких стран входят: Греция, Болгария, Кипр, Сербия, Черногория, Алжир, Турция^{22, 23}. Большинство авторов отмечает, что такая тенденция сохранится в ближайшие годы, а среднесуточное потребление хлебобулочных изделий, если и будет меняться, то незначительно. При этом производство хлебобулочных изделий в южных регионах, скорее всего, будет увеличиваться, что связано с меньшей себестоимостью, а в округах, где не вы-

¹⁶ Потребление хлеба в России: аналитика от Российской Гильдии пекарей и кондитеров. <https://www.agroxxi.ru/analiz-rynka-selskohozjaistvennyh-tovarov/potreblenie-hleba-v-rossii-analitika-ot-rossiiskoi-gildii-pekarei-i-konditerov.html>

¹⁷ Статистическая оценка уровня потребления основных продуктов питания населением региона. <https://www.erce.ru/internet-magazine/magazine/36/564/>

¹⁸ Потребление хлеба и хлебобулочных изделий в Российской Федерации. <https://nauka-bez-granic.ru/№-3-55-2021/3-55-2021/>

¹⁹ Анализ мирового рынка хлебобулочных и мучных кондитерских изделий в 2013–2017 гг, прогноз на 2018–2022 гг. https://businessstat.ru/images/demo/bakery_and_flour_confectionery_products_world_2018_demo_businessstat.pdf

²⁰ Страны, где едят хлеба больше. <https://brodude.ru>

²¹ Europe: bread and bakery consumption volume 2010–2021, by category. <https://statista.com/statistics/806319>

²² European countries in 2010. https://www.researchgate.net/figure/Per-capita-bread-consumption-in-several_tbl1_232740468

²³ Bread in Europe. https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.83ee6be8-62ea3e5b-511639ad-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/

рашивается зерно или выращивается в небольших объемах, наоборот, уменьшаться.

Уровень потребления хлебобулочных изделий обуславливает объемы их производства, что подтверждается как статистическими данными рассматриваемых регионов, так и зарубежных производителей. Сокращение количества хлебопекарных предприятий, прежде всего, осуществляется за счет малых и средних производителей. Однако в последние годы, когда начался рост цен на основное сырье — муку, прекратили работу и некоторые крупные производители, ушли также и те, кто придерживался рискованной финансовой политики. Так в Российской Федерации, всего по данным Росстат в 2020 году отчетность по производству хлебобулочных изделий недлительного хранения сдавали 8310 предприятий, длительного хранения 1350, а в доКОВИДном 2019 году соответственно 8464 и 1323 (Костюченко и др., 2020).

В целом российские и белорусские игроки хлебопекарной отрасли пока обладают небольшой рыночной силой как в горизонтальной конкуренции с зарубежными компаниями, так и в вертикальной с торговыми сетями.

Изменить ситуацию возможно путем создания или увеличения вертикально интегрированных агрохолдингов в зернопроизводящих регионах. Это позволит предприятиям значительно снизить логистические расходы и получить независимость от колебаний стоимости сырья. Одним из направлений улучшения взаимодействия производителя и потребителя возможность более тесного сотрудничества с торговыми сетями или создания своей сети торговых точек, географически рационально расположенных (Ефименко А. Г. & Ефименко А. В., 2016). Не последнюю роль играет разработка и реализация собственного бренда хлебопекарных предприятий, расширение ассортимента с повышенной добавленной стоимостью, использования импортозамещающих ингредиентов функциональной направленности. Все это обуславливает большую динамичность в функционировании хлебопекарных предприятий.

Однако на сложившуюся ситуацию коренным образом влияет и развитие достижений четвертой промышленной революции и расширением интернет торговли. Сегодня большинство крупных ри-

тейлеров имеют собственные интернет магазины, в которых продаются и хлебобулочные изделия. Интернет торговля может также использоваться для продажи специализированных хлебобулочных изделий, ориентированных на целевую аудиторию, например, больных определенными заболеваниями, сторонников здорового образа жизни и так далее. Пока объем продаж хлебобулочных изделий, как и других продовольственных продуктов, через интернет торговлю невелик, но в условиях пандемии значительно вырос и сегодня они присутствуют как в интернет магазинах крупных сетей, так и на российских маркетплейсах, таких как Ozon и Wildberries.

Все больше потребителей, производителей и ученых в области пищевой технологии склоняются к мнению, что ключевым фактором успешного развития отечественной хлебопекарной промышленности является ее комплексная цифровизация, которая позволит решить основные проблемы, стоящие перед отраслью. В качестве объекта цифровизации следует рассматривать как процессы создания конечной стоимости хлебобулочных изделий и организации процессов управления на хлебопекарных предприятиях, так и весь комплекс взаимосвязей с потребителями, смежными отраслями, наукой и образованием, информационно-коммуникационные связи и механизмы формирования институциональных ценностей потребителей (Косован & Шапошников, 2019).

Так на ряде хлебопекарных предприятий Республики Беларусь совместно с учреждением образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий» разработаны и реализуются ряд программ, позволяющие проектировать пищевые продукты с заданным химическим составом и потребительскими свойствами, совершенствовать технологический процесс производства и управлять им. К таковым можно отнести, например, автоматизированные методики определения суточного количества жидких ржаных кислотосодержащих полуфабрикатов, необходимого для приготовления хлеба из ржаной муки и смеси ее с пшеничной в дискретном режиме его производства (Самуйленко & Акулич, 2021).

Еще одним перспективным направлением систематизации деятельности современных предприятий хлебопекарной отрасли является разработка

и внедрение онлайн интернет платформ заявок на вырабатываемый ассортимент. Попытки реализации этого направления уже существуют на некоторых крупных хлебозаводах Республики Беларусь.

Анализ современного состояния хлебопекарной отрасли, динамично внедряемые разработки различного направления в этой сфере, комплексная взаимосвязь всех участников процесса от производителя до потребителя при непосредственной поддержке научных кадров высшей квалификации показывает, что уже в течение грядущего десятилетия хлебопекарную промышленность ожидают такие же глобальные изменения, которые в начале XX века произошли в связи с распространением первой промышленной революции, которая ознаменовала переход от кустарных пекарен к механизированному производству и успеха на рынке добьются те бизнесы, которые смогут наилучшим образом приспособиться к цифровой трансформации всего организационно-экономического механизма.

В то же время в сложившихся мировых тенденциях необходимо делать акцент на разработке инновационных импортозамещающих технологий, адаптированных к особенностям отечественного производства и рынка, на использовании нетрадиционных сырьевых ресурсов, на фундаментальных исследованиях в области хлебопекарного производства как основы прогрессивного развития отрасли, включая ее цифровую трансформацию.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлено сохранение тенденции к снижению среднесуточного потребления хлебобулочных изделий. Отмечено наличие потенциала спроса в некоторых сегментах хлебобулочных изделий (хлеб из смеси ржаной и пшеничной муки, булочные и сдобные изделия).

Выявлена проблема снижения количества хлебопекарных предприятий в рассматриваемом регионе, решением которой может стать создание агрохолдингов хлебопекарных и зерноперерабатывающих предприятий. Отмечено влияние современного

дискретного режима на производство ассортимента хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки, в том числе и заварных сортов, на основе жидких ржанных кислотосодержащих полуфабрикатов (заквасок и заварок). Предложена технология сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки с использованием нетрадиционного фитосырья в качестве регулятора жизненного цикла культивируемых специфических микроорганизмов для дискретного режима производства заварных сортов хлеба. Использование новой технологии позволит стабилизировать биотехнологические свойства заварок, получать их в необходимом количестве и, как следствие, улучшить потребительские свойства заварных сортов хлеба в постоянно изменяющихся производственных условиях.

Предложены направления развития хлебопекарной отрасли с учетом современной всесторонней цифровизации, отражающей комплексную взаимосвязь потребителя, пищевой отрасли, науки и образования.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Акулич А. В.: концептуализация; руководство исследованием; создание рукописи и ее редактирование.

Костюченко М. Н.: методология; проведение исследования; создание черновика рукописи.

Балыхин М. Г.: руководство исследованием; создание рукописи и ее редактирование.

Самуйленко Т. Д.: проведение исследования; визуализация; создание рукописи и ее редактирование.

Шапошников И. И.: создание черновика рукописи; визуализация.

ЛИТЕРАТУРА

- Акулич, А. В., & Самуйленко, Т. Д. (2020). Анализ производственного цикла заварочных отделений хлебопекарных предприятий Республики Беларусь. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 126–138. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.i4>
- Акулич, А. В., Самуйленко, Т. Д., & Тимакова, Р. Т. (2021). Разработка компонентного состава сухих композитных смесей для заварных сортов хлеба улучшенной пищевой ценности. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 158–171. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.240>
- Веселов, Ю. В., & Чернов, Г. И. (2010). Современная социальная система питания. *Журнал социологии и социальной антропологии*, (1), 68–82.
- Гуринова, Т. А., & Самуйленко, Т. Д. (2013). Совершенствование технологии жидких заквасок путем культивирования их бродильной микрофлоры на оптимизированных питательных субстратах. *Механика и технологии*, (4), 49–58.
- Гуринова, Т. А., Назаренко, Е. А., & Самуйленко, Т. Д. (2015). Оптимизация технологического процесса приготовления жидких заквасок в дискретных условиях работы хлебопекарных предприятий. *Хранение и переработка зерна*, (5), 52–55.
- Гуринова, Т. А., Назаренко, Е. А., & Самуйленко, Т. Д. (2017). Способ приготовления жидкого кислотообразующего полуфабриката. *Пекарь и кондитер*, (2), 22–25.
- Гуринова, Т. А., Назаренко, Е. А., Самуйленко, Т. Д., & Диваков, А. В. (2013а). Исследование технологического процесса приготовления жидких заквасок в современных условиях работы хлебопекарных предприятий. *Хлебопек*, (2), 34–36.
- Гуринова, Т. А., Самуйленко, Т. Д., & Диваков, А. В. (2013б). Производство заварных сортов хлеба в условиях дискретного режима работы хлебопекарных предприятий Республики Беларусь. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*, (3), 109–115.
- Гуринова, Т. А., Самуйленко, Т. Д., & Назаренко, Е. А. (2012а). Исследование микробиологических показателей качества жидких кислотообразующих полуфабрикатов, используемых в технологии ржано-пшеничного хлеба. *Механика и моделирование процессов технологии*, (2), 60–67.
- Гуринова, Т. А., Самуйленко, Т. Д., & Назаренко, Е. А. (2013в). Исследование технологического процесса приготовления сброженных заварок в постоянно изменяющихся условиях работы хлебопекарных предприятий. *Вестник Могилевского государственного университета продовольствия*, (2), 9–13.
- Гуринова, Т. А., Самуйленко, Т. Д., & Назаренко, Е. А. (2013г). Сохранение микрофлоры жидких ржаных заквасок в условиях дискретного режима работы хлебозаводов. *Обладнання та технології харчових виробництв: збірник наукових праць*, (1), 141–148.
- Гуринова, Т. А., Самуйленко, Т. Д., & Назаренко, Е. А. (2014). Влияние коры дуба на дрожжевые клетки, культивируемые в жидкой закваске. *Вестник Могилевского государственного университета продовольствия*, (2), 20–25.
- Гуринова, Т. А., Самуйленко, Т. Д., Назаренко, Е. А., Ступицкая, Е. В., & Дерканосова, М. Н. (2012б). Совершенствование способа приготовления жидких заквасок на хлебопекарных предприятиях. *Вестник Могилевского государственного университета продовольствия*, (2), 21–26.
- Ефименко, А. Г., & Ефименко, А. В. (2016). Основные тенденции развития пищевой промышленности Республики Беларусь. В *Научные труды белорусского государственного экономического университета* (т. 9, с. 116–123). Минск: Белорусский государственный экономический университет.
- Косован, А. П., & Шапошников, И. И. (2018). Развитие рынка хлебобулочных изделий России в условиях глобализации. *Хлебопечение России*, (1), 4–9.
- Косован, А. П., & Шапошников, И. И. (2019). Научные основы разработки концепции развития хлебопекарной промышленности на длительную перспективу. *Хлебопечение России*, (3), 4–10.
- Косован, А. П., Дремучева, Г. Ф., & Поландова, Р. Д. (1999). Правила организации и ведения технологического процесса на хлебопекарных предприятиях: *Монография*. М.: Пищевая промышленность.
- Костюченко, М. Н., Шапошников, И. И., & Косован, А. П. (2020). Влияние пандемии нового коронавируса на отечественный и мировой рынок хлебобулочных изделий. *Хлебопечение России*, (2), 8–13.
- Кулеш, П., & Пантелей, А. (2006). Мониторинг рынка хлебобулочных изделий. *Маркетинг, реклама и сбыт*, (6), 7–12.
- Назаренко, Е. А., Гуринова, Т. А., Самуйленко, Т. Д., & Дерканосова, М. Н. (2012). Производство ржано-пшеничного хлеба в условиях дискретного режима работы предприятий. *Вестник Могилевского государственного университета продовольствия*, (1), 14–21.
- Овсянникова, Л. А. (2003). Хлебопечение в Беларуси. *Хлебопек*, (1), 6–8.
- Овсянникова, Л. А. (2005). 2004 год — отраслевые итоги. *Хлебопек*, (2), 6–8.
- Овсянникова, Л. А. (2006). 2005 — итоги работы. *Хлебопек*, (1), 6–8.
- Овсянникова, Л. А. (2007). Хлебопечение Беларуси — 2006. *Хлебопек*, (2), 4–6.
- Овсянникова, Л. А. (2008). Хлебопечение Беларуси — 2007. *Хлебопек*, (2), 5–6.
- Овсянникова, Л. А. (2009). Хлебопечение Беларуси — итоги 2008. *Хлебопек*, (2), 8–11.
- Овсянникова, Л. А. (2010). Хлебные итоги — 2009. *Хлебопек*, (2), 4–9.
- Овсянникова, Л. А. (2011). Хлебные итоги — 2010. *Хлебопек*, (2), 4–8.
- Овсянникова, Л. А. (2012). Хлебопечение Беларуси — 2011. *Хлебопек*, (1), 4–8.

- Овсянникова, Л. А. (2013). Хлебопечение Беларуси — 2012. *Хлебопек*, (1), 4–10.
- Овсянникова, Л. А. (2014). Хлебопечение Беларуси — 2013. *Хлебопек*, (1), 16–22.
- Овсянникова, Л. А. (2015). Хлебопечение Беларуси — 2014. *Хлебопек*, (1), 6–11.
- Овсянникова, Л. А. (2016). Хлебные итоги — 2015. *Пекарь и кондитер*, (1), 12–16.
- Овсянникова, Л. А. (2017). Хлебные итоги — 2016. *Пекарь и кондитер*, (2), 9–12.
- Овсянникова, Л. А. (2018). Хлебный каравай — 2017. *Пекарь и кондитер*, (2), 9–13.
- Овсянникова, Л. А. (2019). Белорусский каравай — 2018. *Пекарь и кондитер*, (2), 14–17.
- Овсянникова, Л. А. (2020). Белорусский каравай — 2019. *Пекарь и кондитер*, (2), 11–16.
- Овсянникова, Л. А. (2021). Белорусский каравай — 2020. *Пекарь и кондитер*, (2), 12–18.
- Овсянникова, Л. А., & Тепко, Н. И. (2004). Хлебопечение Беларуси — итоги 2003 года. *Хлебопек*, (2), 6–7.
- Самуйленко, Т. Д. (2017). Влияние состава мучных питательных субстратов на динамику развития дрожжевых клеток в жидких кислотообразующих полуфабрикатах. *Механика и технологии*, (4), 25–33.
- Самуйленко, Т. Д. (2019). Анализ определения количества сброженной заварки в различных режимах производства заварных сортов хлеба. *Механика и технологии*, (2), 78–85.
- Самуйленко, Т. Д., & Акулич, А. В. (2020). Исследование процесса осахаривания ржаных заварок в технологии заварного хлеба при дискретном режиме производства. *Health, Food & Biotechnology*, 2(2), 60–74. <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i2.s342>
- Самуйленко, Т. Д., & Акулич, А. В. (2021). Технологии сброженной заварки в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба. М.
- Самуйленко, Т. Д., Акулич, А. В., Гуринова, Т. А., & Хайтаева, В. П. (2019). Влияние состава мучных питательных субстратов на процесс кислотообразования в ржаных заварках при одностадийном способе их приготовления. *Вестник Могилевского государственного университета продовольствия*, (1), 44–53.
- Самуйленко, Т. Д., Гуринова, Т. А., & Акулич А. В. (2018). Особенности использования кислотообразующих микроорганизмов для приготовления жидких ржаных полуфабрикатов при различных режимах производства хлеба. *Вестник Могилевского государственного университета продовольствия*, (2), 3–10.
- Самуйленко, Т. Д., Гуринова, Т. А., & Назаренко, Е. А. (2016). Влияние коры дуба на молочнокислые бактерии, культивируемые в жидких кислотообразующих полуфабрикатах. *Вестник Могилевского государственного университета продовольствия*, (2), 57–62.
- Самуйленко, Т. Д., Гуринова, Т. А., Акулич, А. В., & Томашов, В. А. (2021). Комплексная оценка качества несладких мучных снеков категории «Натуральный продукт». *Вестник Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий*, (2), 40–48.
- Шапошников, И. И., Невская, Е. В., Тюрина, О. Е., & Пешкина И. П. (2020). Обзор мирового и отечественного рынка замороженных хлебобулочных изделий. *Хлебопечение России*, (4), 25–28.
- Bellisle, F. (2014). Meals and snacking, diet quality and energy balance. *Physiology & Behavior*, (134), 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2014.03.010>
- Chapelot, D. (2011). The role of snacking in energy balance: A biobehavioral approach. *The Journal of Nutrition*, 141(1), 158–162. <https://doi.org/10.3945/jn.109.114330>
- Clarke, C. I., & Arendt, E. K. (2005). A Review of the Application of Sourdough Technology to Wheat Breads. *Advances in Food and Nutrition Research*, (49), 137–161. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(05\)49004-X](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(05)49004-X)
- Kostyuchenko, M. N., Kosovan, A. P., Shaposhnikov, I. I., & Martirosyan, V. V. (2019). The bakery products market in the globalization economy conditions: institutional changes and trends in the development of consumer behavior and competitive strategies. In *Advances in Social Science, Education and Humanities Research: Proceedings of 2nd International Scientific Conference on New Industrialization: Global, National, Regional Dimension* (vol. 240, pp. 500–504). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/sic-ni-18.2019.101>
- Marmonier, C., Chapelot, D., & Louis-Sylvestre, J. (2000). Effects of macronutrient content and energy density of snacks consumed in a satiety state on the onset of the next meal. *Appetite*, 34(2), 161–168. <https://doi.org/10.1006/appe.1999.0302>
- Marshall, D., & Bell, R. (2003). Meal construction: Exploring the relationship between eating occasion and location. *Food Qual Prefer*, 14(1), 53–64.
- Novitskaya, L. Y., & Orlovskaya, M. A. (2019). Prospects for the development of the snack market in Russia. *Scientific works of the Russian academy of attorneys and notary. Founders: Russian Academy of Advocacy and Notaries*, (4), 39–43.
- Ovaskainen, M.-L., Reinivu, H., Tapanainen, H., Hannila, M.-L., Korhonen, T., & Pakkala, H. (2006). Snacks as an element of energy intake and food consumption. *European Journal of Clinical Nutrition*, (60), 494–501. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602343>
- Patnode, M. L., Beller, Z. W., Han, N. D., Cheng, J., Peters, S. L., Terrapon, N., Henrissat, B., Gall, S. L., Saulnier, L., Hayashi, D. K., Meynier, A., Vinoy, S., Giannone, R. J., Hettich, R. L., & Gordon, J. I. (2019). Interspecies competition impacts targeted manipulation on human gut bacteria by fiber-derived glycans. *Cell*, 179(1), 59–73. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2019.08.011>
- Preedy, V. R., Watson R. R., & Patel V. B. (2011). *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-30556-5>
- Samuylenko, T. (2018). Stimulation of vital activity of lactic acid bacteria in the preparation of a liquid acid-forming ferments in bakery products. *Food Science and Applied*

- Biotechnology*, 1(2), 118–124. <https://doi.org/10.30721/fsab2018.v1.i2.20>
- Samuilenko, T. (2019). Analysis of raw materials components of dry composite mixes for production food concentrates. *Journal of Food Science and Engineering*, (9), 355–361. <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2019.09.001>
- Samuilenko, T. (2019). Microorganisms and their consortiums used in the technology of national types of bread from rye flour. *Mekhanika i Tekhnologii*, (4), 66–75.
- Samuilenko, T., & Akulich, A. (2020). Effect of the composition of flour nutrient substrates on the activity of microorganisms from the bacterial concentrates. *Food Science and Applied Biotechnology*, 3(2), 127–133. <https://doi.org/10.30721/fsab2020.v3.i2.82>
- So, D., Gibson, P. R., Muir, J. G., & Yao, C. K. (2021). Dietary fibres and IBS: Translating functional characteristics to clinical value in the era of personalised medicine. *Gut*, 70(12), 2383–2394. <http://doi.org/10.1136/gutjnl-2021-324891>
- Timakova, R., Akulich, A. & Samuilenko, T. (2021). The role of biotechnology in ensuring the preservation of dry composite mixtures. In *Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: International Scientific and Practical Conference* (vol. 254, Article 10018). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125410018>
- ## REFERENCES
- Akulich, A. V., & Samuilenko, T. D. (2020). Analiz proizvodstvennogo tsikla zavarochnykh otdelenii khlebopekarnykh predpriyatii Respubliki Belarus' [Analysis of the production cycle of brewing departments of bakery enterprises of the Republic of Belarus]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (4), 126–138. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.i4>
- Akulich, A. V., Samuilenko, T. D., & Timakova, R. T. (2021). Razrabotka komponentnogo sostava sukhikh kompozitnykh smesei dlya zavarnykh sortov khleba uluchshennoi pishchevoi tsennosti [Development of the component composition of dry composite mixtures for custard breads of improved nutritional value]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (4), 158–171. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.240>
- Veslov, Yu. V., & Chernov, G. I. (2010). Sovremennaya sotsial'naya sistema pitaniya [Modern social nutrition system]. *Zhurnal sotsiologii i sotsial'noi antropologii* [Journal of Sociology and Social Anthropology], (1), 68–82.
- Gurina, T. A., & Samuilenko, T. D. (2013a). Sovershenstvovanie tekhnologii zhidkikh zakvasok putem kul'tivirovaniya ikh brodil'noi mikroflory na optimizirovannykh pitatel'nykh substratakh [Improving the technology of liquid starter cultures by cultivating their fermenting microflora on optimized nutrient substrates]. *Mekhanika i tekhnologii* [Mechanics and technology], (4), 49–58.
- Gurina, T. A., Nazarenko, E. A., & Samuilenko, T. D. (2015). Optimizatsiya tekhnologicheskogo protsessa prigotovleniya zhidkikh zakvasok v diskretnykh usloviyakh raboty khlebopekarnykh predpriyatii [Optimization of the technological process of preparation of liquid starter cultures in discrete conditions of bakery enterprises]. *Khranenie i pererabotka zerna* [Grain Storage and Processing], (5), 52–55.
- Gurina, T. A., Nazarenko, E. A., & Samuilenko, T. D. (2017). Sposob prigotovleniya zhidkogo kislotoobrazuyushchego polufabrikata [Method of preparation of liquid acid-forming semi-finished product]. *Pekar' i konditer* [Baker and pastry chef], (2), 22–25.
- Gurina, T. A., Nazarenko, E. A., Samuilenko, T. D., & Divakov, A. V. (2013b). Issledovanie tekhnologicheskogo protsessa prigotovleniya zhidkikh zakvasok v sovremennykh usloviyakh raboty khlebopekarnykh predpriyatii [Investigation of the technological process of preparation of liquid starter cultures in modern conditions of bakery enterprises]. *Khlebopek* [Baker], (2), 34–36.
- Gurina, T. A., Samuilenko, T. D., & Divakov, A. V. (2013c). Proizvodstvo zavarnykh sortov khleba v usloviyakh diskretnogo rezhima raboty khlebopekarnykh predpriyatii Respubliki Belarus' [Production of custard varieties of bread in the conditions of discrete operation of bakery enterprises of the Republic of Belarus]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Voronezh State Agrarian University], (3), 109–115.
- Gurina, T. A., Samuilenko, T. D., & Nazarenko, E. A. (2012a). Issledovanie mikrobiologicheskikh pokazatelei kachestva zhidkikh kislotoobrazuyushchikh polufabrikatov, ispol'zuemykh v tekhnologii rzhano-pshenichnogo khleba [Investigation of microbiological quality indicators of liquid acid-forming semi-finished products used in rye-wheat bread technology]. *Mekhanika i modelirovanie protsessov tekhnologii* [Mechanics and modeling of technology processes], (2), 60–67.
- Gurina, T. A., Samuilenko, T. D., & Nazarenko, E. A. (2013d). Issledovanie tekhnologicheskogo protsessa prigotovleniya sbrozhenykh zavarok v postoyanno izmenyayushchikhsya usloviyakh raboty khlebopekarnykh predpriyatii [Preservation of microflora of liquid rye starter cultures in conditions of discrete operation of bakeries]. *Vestnik Mogilevskogo gosudarstvennogo universiteta prodovol'stviya* [Mechanics and modeling of technology processes], (2), 9–13.
- Gurina, T. A., Samuilenko, T. D., & Nazarenko, E. A. (2013e). Sokhranenie mikroflory zhidkikh rzhanykh zakvasok v usloviyakh diskretnogo rezhima raboty khlebozavodov [Preservation of microflora of liquid rye starter cultures in conditions of discrete operation of bakeries]. *Obladnannaya ta tekhnologii kharchovykh virobnitstv: zbirnik naukovykh prats'* [Equipment and technologies of food production: collection of scientific papers], (1), 141–148.
- Gurina, T. A., Samuilenko, T. D., & Nazarenko, E. A. (2014). Vliyanie kory duba na drozhzhevye kletki, kul'tiviruemye v zhidkoi zakvaske [The effect of oak bark on yeast cells cultivated in liquid starter culture]. *Vestnik Mogilevskogo gosudarstvennogo universiteta prodovol'stviya* [Bulletin of the Mogilev State University of Food], (2), 20–25.

- Gurina, T. A., Samuilenko, T. D., Nazarenko, E. A., Stupitskaya, E. V., & Derkanosova, M. N. (2012b). Sovershenstvovanie sposoba prigotovleniya zhidkikh zakvasok na khlebopekarnykh predpriyatiya [Improvement of the method of preparation of liquid starter cultures at bakeries]. *Vestnik Mogilevskogo gosudarstvennogo universiteta prodovol'stviya* [Bulletin of the Mogilev State University of Food], (2), 21–26.
- Efimenko, A. G., & Efimenko, A. V. (2016). Osnovnye tendentsii razvitiya pishchevoi promyshlennosti Respubliki Belarus' [The main trends in the development of the food industry of the Republic of Belarus]. In *Nauchnye trudy belorusskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta* [Scientific works of the Belarusian State University of Economics] (vol. 9, pp. 116–123). Minsk: Belorusskii gosudarstvennyi ekonomicheskii universitet.
- Kosovan, A. P., & Shaposhnikov, I. I. (2018). Razvitie rynka khlebobulochnykh izdelii Rossii v usloviyakh globalizatsii [Development of the bakery products market in Russia in the context of globalization]. *Khlebopechenie Rossii* [Bakery of Russia], (1), 4–9.
- Kosovan, A. P., & Shaposhnikov, I. I. (2019). Nauchnye osnovy razrabotki kontseptsii razvitiya khlebopekarnoi promyshlennosti na dlitel'nyuyu perspektivu [Scientific basis for the development of the concept of the development of the bakery industry for the long term]. *Khlebopechenie Rossii* [Bakery of Russia], (3), 4–10.
- Kosovan, A. P., Dremucheva, G. F., & Polandova, R. D. (1999). *Pravila organizatsii i vedeniya tekhnologicheskogo protsesa na khlebopekarnykh predpriyatiyakh: Monografiya* [Rules for the organization and management of the technological process at bakery enterprises: Monograph]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost'.
- Kostyuchenko, M. N., Shaposhnikov, I. I., & Kosovan, A. P. (2020). Vliyanie pandemii novogo koronavirusa na otechestvennyi i mirovoi rynek khlebobulochnykh izdelii [The impact of the new coronavirus pandemic on the domestic and global bakery market]. *Khlebopechenie Rossii* [Bakery of Russia], (2), 8–13.
- Kulesh, P., & Pantelei, A. (2006). Monitoring rynka khlebobulochnykh izdelii [Monitoring of the bakery products market]. *Marketing, reklama i sbyt* [Marketing, Advertising and Sales], (6), 7–12.
- Nazarenko, E. A., Gurina, T. A., Samuilenko, T. D., & Derkanosova, M. N. (2012). Proizvodstvo rzhano-pshenichnogo khleba v usloviyakh diskretnogo rezhima raboty predpriyatii [Production of rye-wheat bread in the conditions of discrete mode of operation of enterprises]. *Vestnik Mogilevskogo gosudarstvennogo universiteta prodovol'stviya* [Bulletin of the Mogilev State University of Food], (1), 14–21.
- Ovsyannikova, L. A. (2003). Khlebopechenie v Belarusi [Bread making in Belarus]. *Khlebopek* [Baker], (1), 6–8.
- Ovsyannikova, L. A. (2005). 2004 god — otraslevye itogi [2004 — industry results]. *Khlebopek* [Baker], (2), 6–8.
- Ovsyannikova, L. A. (2006). 2005 — itogi raboty [2005 — results of the work]. *Khlebopek* [Baker], (1), 6–8.
- Ovsyannikova, L. A. (2007). Khlebopechenie Belarusi — 2006 [Bakery of Belarus — 2006]. *Khlebopek* [Baker], (2), 4–6.
- Ovsyannikova, L. A. (2008). Khlebopechenie Belarusi — 2007 [Bakery of Belarus — 2007]. *Khlebopek* [Baker], (2), 5–6.
- Ovsyannikova, L. A. (2009). Khlebopechenie Belarusi — itogi 2008 [Bakery of Belarus — results of 2008]. *Khlebopek* [Baker], (2), 8–11.
- Ovsyannikova, L. A. (2010). Khlebnye itogi — 2009 [Bread results — 2009]. *Khlebopek* [Baker], (2), 4–9.
- Ovsyannikova, L. A. (2011). Khlebnye itogi — 2010 [Bread results — 2010]. *Khlebopek* [Baker], (2), 4–8.
- Ovsyannikova, L. A. (2012). Khlebopechenie Belarusi — 2011 [Bakery of Belarus — 2011]. *Khlebopek* [Baker], (1), 4–8.
- Ovsyannikova, L. A. (2013). Khlebopechenie Belarusi — 2012 [Bakery of Belarus — 2012]. *Khlebopek* [Baker], (1), 4–10.
- Ovsyannikova, L. A. (2014). Khlebopechenie Belarusi — 2013 [Bakery of Belarus — 2013]. *Khlebopek* [Baker], (1), 16–22.
- Ovsyannikova, L. A. (2015). Khlebopechenie Belarusi — 2014 [Bakery of Belarus — 2014]. *Khlebopek* [Baker], (1), 6–11.
- Ovsyannikova, L. A. (2016). Khlebnye itogi — 2015 [Bakery of Belarus — 2015]. *Pekar' i konditer* [Baker and Pastry Chef], (1), 12–16.
- Ovsyannikova, L. A. (2017). Khlebnye itogi — 2016 [Bakery of Belarus — 2016]. *Pekar' i konditer* [Baker and Pastry Chef], (2), 9–12.
- Ovsyannikova, L. A. (2018). Khlebnyi karavai — 2017 [Bakery of Belarus — 2017]. *Pekar' i konditer* [Baker and Pastry Chef], (2), 9–13.
- Ovsyannikova, L. A. (2019). Belorusskii karavai — 2018 [Bakery of Belarus — 2018]. *Pekar' i konditer* [Baker and Pastry Chef], (2), 14–17.
- Ovsyannikova, L. A. (2020). Belorusskii karavai — 2019 [Bakery of Belarus — 2019]. *Pekar' i konditer* [Baker and Pastry Chef], (2), 11–16.
- Ovsyannikova, L. A. (2021). Belorusskii karavai — 2020 [Bakery of Belarus — 2020]. *Pekar' i konditer* [Baker and Pastry Chef], (2), 12–18.
- Ovsyannikova, L. A., & Tepko, N. I. (2004). Khlebopechenie Belarusi — itogi 2003 goda [Bakery of Belarus — results of 2003]. *Khlebopek* [Baker], (2), 6–7.
- Samuilenko, T. D. (2017). Vliyanie sostava muchnykh pitatel'nykh substratov na dinamiku razvitiya drozhzhevykh kletok v zhidkikh kislotoobrazuyushchikh polufabrikatakh [Influence of the composition of flour nutrient substrates on the dynamics of yeast cell development in liquid acid-forming semi-finished products]. *Mekhanika i tekhnologii* [Mechanics and Technology], (4), 25–33.
- Samuilenko, T. D. (2019). Analiz opredeleniya kolichestva sbrozhennoi zavarki v razlichnykh rezhimakh proizvodstva zavarnykh sortov khleba [Analysis of the determination of the amount of fermented brew in various modes of production of custard bread varieties]. *Mekhanika i tekhnologii* [Mechanics and Technology], (2), 78–85.
- Samuilenko, T. D., & Akulich, A. V. (2020). Issledovanie protsessy osakharivaniya rzhanykh zavarok v tekhnologii zavarnogo khleba pri diskretnom rezhime proizvodstva [Investigation of the process of saccharification of rye brews in the technology of custard bread with a discrete production mode]. *Health, Food & Biotechnology*, 2(2), 60–74. <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i2.s342>

- Samuilenko, T. D., & Akulich, A. V. (2021). *Tekhnologii sbrozhennoi zavarki v diskretnom rezhime proizvodstva zavarnykh sortov khleba* [Technologies of fermented brewing in the discrete mode of production of custard bread varieties]. Moscow.
- Samuilenko, T. D., Akulich, A. V., Gurinova, T. A., & Khaitbaeva, V. P. (2019). Vliyanie sostava muchnykh pitatel'nykh substratov na protsess kislotonakopleniya v rzhanykh zavarkakh pri odnostadiinom sposobe ikh prigotovleniya [The effect of the composition of flour nutrient substrates on the process of acid accumulation in rye brews with a one-stage method of their preparation]. *Vestnik Mogilevskogo gosudarstvennogo universiteta prodovol'stviya* [Bulletin of the Mogilev State University of Food], (1), 44–53.
- Samuilenko, T. D., Gurinova, T. A., & Akulich A. V. (2018). Osobennosti ispol'zovaniya kislotoobrazuyushchikh mikroorganizmov dlya prigotovleniya zhidkikh rzhanykh polufabrikatov pri razlichnykh rezhimakh proizvodstva khleba [Features of the use of acid-forming microorganisms for the preparation of liquid rye semi-finished products in various modes of bread production]. *Vestnik Mogilevskogo gosudarstvennogo universiteta prodovol'stviya* [Bulletin of the Mogilev State University of Food], (2), 3–10.
- Samuilenko, T. D., Gurinova, T. A., & Nazarenko, E. A. (2016). Vliyanie kory duba na molochnokislye bakterii, kul'tiviruemye v zhidkikh kislotoobrazuyushchikh polufabrikatakh [The effect of oak bark on lactic acid bacteria cultivated in liquid acid-forming semi-finished products]. *Vestnik Mogilevskogo gosudarstvennogo universiteta prodovol'stviya* [Bulletin of the Mogilev State University of Food], (2), 57–62.
- Samuilenko, T. D., Gurinova, T. A., Akulich, A. V., & Tomashov, V. A. (2021). Kompleksnaya otsenka kachestva nesladkikh muchnykh snekov kategorii "Natural'nyi product" [Comprehensive assessment of the quality of unsweetened flour snacks of the "Natural product" category]. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta pishchevykh i khimicheskikh tekhnologii* [Bulletin of the Belarusian State University of Food and Chemical Technologies], (2), 40–48.
- Shaposhnikov, I. I., Nevskaya, E. V., Tyurina, O. E., & Peshkina I. P. (2020). Obzor mirovogo i otechestvennogo rynka zamorozhennykh khlebobulochnykh izdelii [Overview of the global and domestic market of frozen bakery products]. *Khlebopechenie Rossii* [Bakery of Russia], (4), 25–28.
- Bellisle, F. (2014). Meals and snacking, diet quality and energy balance. *Physiology & Behavior*, (134), 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2014.03.010>
- Chapelot, D. (2011). The role of snacking in energy balance: A biobehavioral approach. *The Journal of Nutrition*, 141(1), 158–162. <https://doi.org/10.3945/jn.109.114330>
- Clarke, C. I., & Arendt, E. K. (2005). A Review of the Application of Sourdough Technology to Wheat Breads. *Advances in Food and Nutrition Research*, (49), 137–161. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(05\)49004-X](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(05)49004-X)
- Kostyuchenko, M. N., Kosovan, A. P., Shaposhnikov, I. I., & Martirosyan, V. V. (2019). The bakery products market in the globalization economy conditions: institutional changes and trends in the development of consumer behavior and competitive strategies. In *Advances in Social Science, Education and Humanities Research: Proceedings of 2nd International Scientific Conference on New Industrialization: Global, National, Regional Dimension* (vol. 240, pp. 500–504). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/sicni-18.2019.101>
- Marmonier, C., Chapelot, D., & Louis-Sylvestre, J. (2000). Effects of macronutrient content and energy density of snacks consumed in a satiety state on the onset of the next meal. *Appetite*, 34(2), 161–168. <https://doi.org/10.1006/appe.1999.0302>
- Marshall, D., & Bell, R. (2003). Meal construction: Exploring the relationship between eating occasion and location. *Food Qual Prefer*, 14(1), 53–64.
- Novitskaya, L. Y., & Orlovskaya, M. A. (2019). Prospects for the development of the snack market in Russia. *Scientific works of the Russian academy of attorneys and notary. Founders: Russian Academy of Advocacy and Notaries*, (4), 39–43.
- Ovaskainen, M.-L., Reinivu, H., Tapanainen, H., Hannila, M.-L., Korhonen, T., & Pakkala, H. (2006). Snacks as an element of energy intake and food consumption. *European Journal of Clinical Nutrition*, (60), 494–501. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602343>
- Patnode, M. L., Beller, Z. W., Han, N. D., Cheng, J., Peters, S. L., Terrapon, N., Henrissat, B., Gall, S. L., Saulnier, L., Hayashi, D. K., Meynier, A., Vinoy, S., Giannone, R. J., Hettich, R. L., & Gordon, J. I. (2019). Interspecies competition impacts targeted manipulation on human gut bacteria by fiber-derived glycans. *Cell*, 179(1), 59–73. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2019.08.011>
- Preedy, V. R., Watson R. R., & Patel V. B. (2011). *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-30556-5>
- Samuilenko, T. (2018). Stimulation of vital activity of lactic acid bacteria in the preparation of a liquid acid-forming ferments in bakery products. *Food Science and Applied Biotechnology*, 1(2), 118–124. <https://doi.org/10.30721/fsab2018.v1.i2.20>
- Samuilenko, T. (2019). Analysis of raw materials components of dry composite mixes for production food concentrates. *Journal of Food Science and Engineering*, (9), 355–361. <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2019.09.001>
- Samuilenko, T. (2019). Microorganisms and their consortiums used in the technology of national types of bread from rye flour. *Mekhanika i tekhnologii* [Mechanics and Technology], (4), 66–75.
- Samuilenko, T., & Akulich, A. (2020). Effect of the composition of flour nutrient substrates on the activity of microorganisms from the bacterial concentrates. *Food Science and Applied Biotechnology*, 3(2), 127–133. <https://doi.org/10.30721/fsab2020.v3.i2.82>
- So, D., Gibson, P. R., Muir, J. G., & Yao, C. K. (2021). Dietary fibres and IBS: Translating functional characteristics to clinical value in the era of personalised medicine. *Gut* [Good], 70(12), 2383–2394. <http://doi.org/10.1136/gutjnl-2021-324891>
- Timakova, R., Akulich, A. & Samuilenko, T. (2021). The role of biotechnology in ensuring the preservation of dry composite mixtures. In *Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: International Scientific and Practical Conference* (vol. 254, Article 10018). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125410018>

УДК 634.1: 634.7: 664.014: 664.019

Исследование биологической особенности и химического состава кинкана (*Fortunella Swingle*), прорастающего в Азербайджанской Республике и пути использования его как продукта питания

¹ Лянкяранский Региональный Научный Центр АН Азербайджана

² Азербайджанский Государственный Экономический Университет

³ Лянкяранский Государственный Университет

Ф. А. Кулиев¹, М. М. Баширов¹, С. И. Магеррамова²,
М. А. Магеррамов³

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Кулиев Фарман Агадеде оглы
Адрес: AZ4200, ул. Ш. Ахундов,
город Лянкярань, Азербайджан
E-mail: prof.fquliyev@mail.ru

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

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Кулиев, Ф. А., Баширов, М. М., Магеррамова, С. И., & Магеррамов, М. А. (2022). Исследование биологической особенности и химического состава кинкана (*Fortunella Swingle*), прорастающего в Азербайджанской Республике и пути использования его как продукта питания *Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья*, (3). <https://doi.org/10.36107/spfrp.2022.329>

ПОСТУПИЛА: 16.05.2022

ПРИНЯТА: 20.08.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа частично выполнена в рамках грантового проекта Министерства Образования Азербайджанской Республики (№ государственной регистрации 622/21/1108-A3-456/U/A2; Контракт № АОИТИ-2021-07)



АННОТАЦИЯ

Введение. *Fortunella Swingle* (кинкан) — это общее название группы кустовидных деревьев из рода *Fortunella* семейства *Rutaceae*. В связи с отсутствием данных о содержании биологически активных веществ в плодах кинкана, произрастающих в Лянкяранском экономическом регионе, представляет большой интерес определение их химического состава для изучения пути использования его как продукта питания.

Цель. Исследование биологической особенности, химического состава и пищевой ценности кинкана, прорастающего в Азербайджанской Республике и возможности использование его плодов для создания новых видов продуктов питания, таких как варенье, джем, компоты, соки, напитки и т.д.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования выступали плоды кинкана, выращенные за 2018–2021 годы на территории Лянкяранского экономического региона Азербайджанской Республики. Определение содержания сухих веществ и влажности в плодах кинкана проводилось термогравиметрическим методом, определение растворимых сухих веществ — рефрактометрическим методом, определение титруемых кислот (общей кислотности) — методом потенциометрического титрования, определение пектиновых веществ — фотометрическим методом, массовой доли золы — общепринятым весовым методом, определение аскорбиновой кислоты (витамина С) — с помощью высокочувствительной жидкостной хроматографии, определение фенольных веществ проводили спектрофотометрическим способом с использованием Фолина-Чиокальтеу (Folin-Ciocalteu).

Результаты. Исследованные нами виды кинкана, такие как *Fortunella margarita*, *Fortunella japonica* и *Fortunella crassifolia*, по количеству фенольных соединений (от $518,43 \pm 2,37$ до $596,28 \pm 3,17$ мг ЕГК/г), вполне могут конкурировать с такими культурами, как черная смородина, черника, гранат, барбарис и т.д. Полученные результаты показывают, что основные показатели химического состава кинкана зависят от их вида.

Выводы. Комплексная оценка полезных свойств плодов кинкана, составляющих биологическую и пищевую ценность, свидетельствует об их безусловной пригодности как для непосредственного использования в свежем виде, так и для переработки с получением продуктов, обогащенных физиологически активными веществами, признанными эссенциальными микронутриентами. Результаты данной работы могут быть использованы в целях оптимизации рецептуры, технологических режимов производства, в том числе режимов тепловой стерилизации новых продуктов из кинкана.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

кинкан, *Fortunella Swingle*, биологическая и пищевая ценность, вид, химический состав

Study of the Biological Characteristics and Chemical Composition of Kinkan (*Fortunella Swingle*), Sprouting in the Republic of Azerbaijan and Ways of Using it as a Food Product

¹ Lankaran Regional Scientific Center of the Academy of Sciences of Azerbaijan

² Azerbaijan State Economic University

³ Lankaran State University

CORRESPONDENCE:

Farman A. Guliyev

Address: 33, st. Sh. Akhundov, Lankaran, AZ4200, Azerbaijan Republic
E-mail: prof.fguliyev@mail.ru

FOR CITATIONS:

Guliyev, F. A., Bashirov, M. M., Maharramova, S. I., & Maharramov, M. (2022). A. Biological characteristics, chemical composition and nutritional value of Kinkan (*Fortunella Swingle*), sprouting in the Lankaran-Astara region of the Republic of Azerbaijan. *Storage and Processing of Farm Products*, (3). <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.329>

RECEIVED: 16.05.2022

ACCEPTED: 20.08.2022

PUBLISHED: 30.09.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Farman A. Guliyev¹, Miraziz M. Bashirov¹, Sevinj I. Maharramova², Mikail A. Maharramov³

ABSTRACT

Background. *Fortunella Swingle* (kinkan) is the common name for a group of bushy trees from the genus *Fortunella* in the family Rutaceae. This article includes a botanical description, a literature review and the results of our research on chemical composition, as well as a description of the biological characteristics and nutritional value.

Purpose. To study the biological characteristics, chemical composition and nutritional value of kinkan sprouting in the Republic of Azerbaijan and the possibility of using its fruits to create new or enrich existing products. Due to the lack of data on the content of biologically active substances in kinkan fruits growing in the Lankaran economic region, it is of great interest to determine their chemical composition.

Materials and Methods. Standard and special research methods were used in the work. There was the determination of the total solids content and moisture by the thermogravimetric method, the determination of soluble solids by the refractometric method, the determination of sugars, the determination of titratable acids (total acidity) by the potentiometric titration method, the determination of pectin substances by the photometric method, the mass fraction of ash was determined by the generally accepted weight method, the determination of ascorbic acid (vitamin C) - using high-performance liquid chromatography, the determination of phenolic substances was carried out spectrophotometrically using the Folin-Ciocalteu method.

Results. Most of the kinkan species studied by us can compete with such crops as blackcurrant, blueberry, pomegranate, barberry, etc. The results obtained show that the main indicators of the chemical composition of kinkan depend on the type of raw material.

Conclusions. A comprehensive assessment of the beneficial properties of kinkan fruits, which make up its biological and nutritional value, indicates its unconditional suitability both for direct fresh use and for processing to obtain products enriched with physiologically active substances recognized as essential micronutrients. The results of this work can be used to optimize the recipes, technological production modes, including thermal sterilization modes for new products from kinkan.

KEYWORDS

Kinkan, *Fortunella Swingle*, biological and nutritional value, species, chemical composition

ВВЕДЕНИЕ

В связи с тем, что в последние годы постоянно растет потребность вовлечения все новых видов растительного сырья, в том числе субтропических плодов, в производство продуктов питания, актуальным является вопрос исследования возможности использования плодов кинкана (*Fortunella Swingle*), произрастающих в Азербайджанской Республике, как в свежем виде, так и как сырье для выработки на их основе различных продуктов питания.

Ботаническое описание, химический состав, биологической особенности и пищевой ценности кинкана (*Fortunella Swingle*)

Кинкан (*Fortunella Swingle*) — это общее название группы кустовидных деревьев из рода *Fortunella* семейства *Rutaceae*, произрастающих в основном в Центральном Китае и плодов этих деревьев (Barreca et al., 2011). В основном описываются маленькие, оранжево-желтые, мягкие, гладкие, тонкие и блестящие цитрусовые плоды округлой формы (Əhmədov, 2014). Вид кинкана, который был включен в род *Citrus* столетие назад, был отнесен к роду *Fortunella* в результате таксономических исследований и также классифицирован как *Citrus japonica* в *Citrus sensu lato* (Barreca et al., 2011). Международное научное название — *Fortunella Swingle*, отдел — цветковые, класс — двудольные, порядок — сапиндоцветные, семейство — рутовые (*Rutaceae*), род — *Fortunella* (Кулиев, 2011). Виды кинкана: *Fortunella margarita* (Lour.) Swingle typus — кинкан маргарита, или кинкан овальный, или нагами; *Fortunella japonica* (Thunb.) Swingle — кинкан японский, или кинкан круглый, или маруми; *Fortunella crassifolia* Swingle — кинкан Мейва; *Fortunella hindsii* Swingle — кинкан гонконгский дикий; *Fortunella obovata* Tanaka или *Fortunella polyandra* (Ridl.) Tanaka — кинкан малайский¹ (Əhmədov, 2014; Wang et al., 2012; Воронцов, 2009; Olcay, 2019). Кинкан овальной формы типа *Fortunella margarita* (Lour.) Swingle typus с 2–5 семенами, темно-оранжевого цвета, приятного аромата; плоды круглой формы типа *Fortunella japonica* (Thunb.) Swingle с 1–3 семенами, меньшего размера по сравнению с *Fortunella margarita* (Lour.) Swingle typus, тонкий, сладкий,

с гладкой кожицей и более морозостойкий; тип *Fortunella crassifolia* Swingle, который имеет толстую кожицу, мало семян, мякоть плодов и сладкий сок, также называется сладким кинканом (Peng et al., 2013; Jarvis, 2017; Olcay, 2019). *Fortunella crassifolia* Swingle, который предпочитают потребители как наиболее подходящий вид для употребления в свежем виде, считается естественным гибридом видов *Fortunella margarita* (Lour.) Swingle typus и *Fortunella japonica* (Thunb.) Swingle (Olcay, 2019).

Ареал вида охватывает территорию Азербайджана, Турции, Филиппин, Китая, Чили, Кореи, Японии, Тайваня, Юго-Восточной Азии, Непала, Южного Пакистана, Ирана, Европы, особенно Греции, такие штаты Америки, как Флорида, Алабама, Луизиана, Калифорния и Гавайи.

Кинкан — это самый маленький по размеру цитрусовый фрукт. Он похож на апельсин, но имеет диаметр 2–3 см и длину 2,5–4 см. Вес одного плода 12–15 г, форма круглая и овальная. Кожура тонкая, оранжевая или красно-оранжевая. Плод ароматный, напоминает апельсин. Наиболее распространены сорта кинкана — *Fortunella margarita* (Lour.) Swingle typus и *Fortunella crassifolia* Swingle. Кинкан отличается от других цитрусовых тем, что он употребляется с кожурой (Əhmədov, 2014). Мякоть плода кислая, сладкая из-за флавоноидов и терпеноидов, входящих в состав кожуры, и имеет сильный сладкий, затем слегка вяжущий, терпкий вкус при употреблении (Barreca et al., 2011; Wang et al., 2012). Кинкан содержит 14,5 % углеводов, в том числе 10,8 % сахаров, 0,7 % белка, 0,3 % жира, 2,7 % органических кислоты, 0,6 % минеральных веществ (в том числе 188 мг% калия, 0,6 мг% железа), 38 мг% витамина С, 0,09 мг % В₁, 0,08 мг% В₂, 0,21 мг% b-каротина (Кулиев, 2011; Peng et al., 2013).

Кинкан, медленно растущее, сильнорослое, продуктивное, вечнозеленое, кустарниковое субтропическое дерево. Его ветви редкие, с небольшими шипами или без них, листья маленькие, блестящие и темно-зеленые, а цветы белые, высота дерева составляет 2,5–4,5 метра. Хотя климатические и почвенные требования кинкана аналогичны требованиям других цитрусовых, это более долговечный фрукт, чем другие цитрусовые. Его можно выращивать как в поле, так и в горшках, а идеальная по-

¹ Воронцов, В. В. (2009). Кинкан. В *Большая российская энциклопедия* (с. 709). М.

чва — суглинистые и глубокие почвы. Поскольку корни плохо развиваются при выращивании из семян, его обычно прививают на апельсиновые подвои или деревья липы и грейпфрута. Он плодоносит в основном после 3–4 лет прививки. Его можно удобрять азотными, фосфорными и калийными удобрениями, подходящими для цитрусовых, а для придания им формы можно провести обрезку. Повреждение средиземноморской плодовой мухой, которая является наиболее серьезным вредителем растения, можно предотвратить с помощью регулярного опрыскивания (Love et al., 2017; Jarvis, 2017). Плоды кинкана можно хранить в промышленных и бытовых холодильниках при температуре 2–4 °C сроком 1–2 месяца. Он может оставаться пригодным к использованию в течение 2–3 недель в прохладных помещениях и 2–7 дней при комнатной температуре, а также может храниться путем замораживания или в сахарном сиропе. Блистерная упаковка предпочтительна для предотвращения повреждений, вызванных сжатием во время транспортировки (Barreca et al., 2011). Кинкан в основном употребляется в свежем виде (Jarvis, 2017; Olcay, 2019). Его можно добавлять в фруктовые салаты и напитки в свежем виде. Он также перерабатывается в такие продукты, как сахарный фрукт, варенье, мармелад, вино, ликеры, соленья и соусы (Barreca et al., 2011; Əhmədov, 2014; Wang et al., 2012; Sadek et al., 2009). Фруктовый чай из кинкана — это особая форма потребления кинкана на Тайване, он также используется в пищевой промышленности в виде сахарного сиропа (Əhmədov, 2014; Wang et al., 2012).

Кинкан, это фрукт, богатый пектином, кальцием, фосфором, железом, витаминами, каротиноидами, флавоноидами и эфирными маслами, с высокой антиоксидантной способностью и фитохимическим содержанием (Wang et al., 2012; Allam et al., 2015; Liu et al., 2018). Плоды и листья видов *Fortunella* используются в традиционной народной медицине из-за их высокой пищевой ценности и лечебных свойств (Sadek et al., 2009). Сегодня кинкан стал замечательным фруктом в области альтернативной медицины, фармакологии и пищевых продуктов с точки зрения его биоактивных компонентов и функциональности (Bareça et al., 2014; Çakmakçı et al., 2016; Dai, 2015). Согласно

исследованиям, содержание витаминов, минералов, каротиноидов, флавоноидов и эфирных масел велико, антиоксидантная способность и фитохимическое содержание высокое (Wang et al., 2012; Olcay, 2019; Sadek et al., 2009; Liu et al., 2018). Shanmugavelan et al. (2013) исследовали содержание сахара и состав продуктов, часто потребляемых в Корее, и обнаружили, что кинкан содержит 10,36 г фруктозы / 100 г, 9,47 г глюкозы / 100 г и 12,42 г сахарозы / 100 г. В свете этих исследований, можно сказать, что значительная часть питательных веществ кинкана состоит из углеводов, а большая часть углеводов состоит из сахаров, тогда как его горький вкус происходит от флавоноидов и терпеноидов в его структуре.

Почвенные и природно-климатические условия оказывают значительное влияние на пищевую ценность плодов. В связи с отсутствием данных о содержании биологически активных веществ в плодах субтропических культур, произрастающих в Лянкаранском экономическом регионе, представляет большой интерес определение их химического состава. Исследования химического состава кинкана по видам, в Азербайджане проводится впервые.

Субтропическое и цитрусовое плодоводство в Азербайджанской Республике

Значительная часть (более 65,0 %) земель в Азербайджанской Республике, пригодны для выращивания субтропических и цитрусовых культур — это территории Апшеронского — Хызинского, Шеки-Закатальского, Центральноаранского, Лянкаранско-Астаринского, Нахичеванского, Карабахского, Гянджа-Дашкесанского экономических регионов² (Quliyev, 2018). В настоящее время индустриальное развитие цитрусового хозяйства осуществляется в субтропическом районе Лянкань-Астара, расположенном в юго-восточной части страны. Климат региона характеризуется умеренно жаркой, влажной, мягкой зимой и засушливыми летними месяцами. Среднегодовая температура региона +14,2 °C (Quliyev, 2018).

Субтропические и цитрусовые плоды и ягоды являются важными и полезными компонентами про-

² Указ Президента Азербайджанской Республики от 7 июля 2021 года о разделении экономических районов в Азербайджанской Республике. (2021). <https://president.az/ru/articles/view/52389>

дуктов питания; в них содержатся белки, сахара, органические кислоты, жиры, дубильные и ароматические вещества, различные витамины, минеральные вещества и др. Таким образом, использование плодов и ягод субтропических и цитрусовых как источника биологически активных веществ приобретает существенное народнохозяйственное значение (Quliyev, 2018; Магеррамов, 2020). Ассортимент выращиваемых в Азербайджанской Республике субтропических и цитрусовых культур очень обширный: хурма восточная (*Diospyros kaki*), актинидия китайская (*Actinidia deliciosa*), фейхоа (*Feijoa sellowiana*), инжир (*Ficus carica L.*), гранат (*Punica granatum*), киви (*Actinidia deliciosa Kiwifruit Grubu*), кинкан (*Fortunella Swingle*), лимоны (*Citrus limon*), мандарины (*Citrus reticulata*), апельсины (*Citrus sinensis*) и др. Общая площадь всех насаждений субтропических и цитрусовых плодово-ягодных культур с частным сектором на сегодня составляет около 5,0 тыс. га (Кулиев, 2011).

Перспективным, но малоизученным в Лянкаранском экономическом районе субтропическим плодом является кинкан (*Fortunella Swingle*). Поскольку это гидрофильное дерево, урожайность плодов высока при выращивании на участках вблизи воды и требует орошения в течение длительных периодов засухи (Кулиев, 2011; Love et al., 2017; Güney et al., 2015; Jarvis, 2017). Он теплоустойчив, чувствителен к засухе и наводнениям, слабоустойчив к холоду. Созревшие и приобретающие оранжевый цвет плоды можно собирать в течение длительного периода с конца октября до начала апреля (Love et al., 2017; Güney et al., 2015). В Азербайджанской Республике кинкан (*Fortunella Swingle*) встречается на территории Апшеронско-Хызинском, Нахичеванском, Карабахском, Гянджа-Дашкесанском, Шеки-Закатальском, Центральноаранском экономическом регионах, но основная их часть (около 90,0 %) сосредоточен на территории Лянкаранском экономическом регионе (Кулиев, 2011).

Учитывая пищевую, биологическую и хозяйственную ценность плодов кинкана нами проводятся комплексное исследование возможности использование плодов и листьев кинкана для создания новых или обогащения существующих продуктов питания за счет высокой биоактивности и биодоступности содержащихся в нем компонентов питания.

Целью настоящей работы является исследование биологической особенности, химического состава и пищевой ценности кинкана, произрастающего в Азербайджанской Республике и возможности использования его плодов для создания новых видов продуктов питания, таких как варенье, джемы, компоты, соки, напитки безалкогольные и т.д.

Исследованные нами видов кинкана, такие как *Fortunella margarita*, *Fortunella japonica* и *Fortunella crassifolia*, по количеству фенольных соединений (от $518,43 \pm 2,37$ до $596,28 \pm 3,17$ мг ЕГК/г), вполне могут конкурировать с такими культурами, как черная смородина, черника, гранат, барбарис и т.д. Полученные результаты показывают, что основные показатели химического состава кинкана зависят от их вида.

Комплексная оценка полезных свойств плодов кинкана, составляющих биологическую и пищевую ценность, свидетельствует об их безусловной пригодности как для непосредственного использования в свежем виде, так и для переработки с получением продуктов, обогащенных физиологически активными веществами, признанных эссенциальными микронутриентами. Результаты данной работы могут быть использованы в целях оптимизации рецептуры, технологических режимов производства, в том числе режимов тепловой стерилизации новых продуктов из кинкана.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования

В качестве объектов исследования выступали плоды видов *Fortunella margarita* (Lour.) Swingle typus, *Fortunella japonica* (Thunb.) Swingle и *Fortunella crassifolia* Swingle, выращенные за 2018–2021 годы на территории Лянкаранского экономического региона Азербайджанской Республики.

Оборудование и инструменты

Хроматограф жидкостный LHLC-A10, системы HPLC; колонки RP-HPLC (Jupiter, 250x4.6mm, 5μ, 3000Å) Phenomenex (Torrance, CA); чувствительные весы (Mettler Toledo, XS204), мельница (Perten, 3303), баня водяная (PolyScience, Inc., 28L),

вортекс (Heidolph), холодильник (+4 °C, Arçelik), сушильный шкаф-стерилизатор BOV-V30F, настольный рН-метр PH-210, аналитические весы BA2204C, центрифуга BK-TN16, стандартно-ротторные 12 × 1,5/2,0 ml, вортекс-миксер MX-S, спектрометр BK-UV 1900, ТДС-метр PH-950, фотокалориметр BCM-110, спектрофотометр BK-UV 1000, вискозиметр капиллярный BS/U-Tube (A-H, разнокалиберные, комплект), электронный рефрактометр PDR-35, гомогенизатор ULTRA-TURRAXT25; лабораторные весы BK-1500.1, эксикатор по ГОСТ 25336³ исполнения 2, с фарфоровой выставкой по ГОСТ 9147⁴, стаканчики по ГОСТ 25336⁵ типа СН 60/14 или СН 85/15, палочки из химико-лабораторного стекла по ГОСТ 21400⁶, сита с сетками по ГОСТ 6613⁷ № 2,5; 1; 0,63; 0,5; 0,25 или сита типа КСИ и др.

Методы

При выполнении работы использовались стандартные и специальные методы исследований:

- (1) определение общего содержания сухих веществ и влажности — термогравиметрическим методом путем высушивания исследуемых проб до постоянного веса (ГОСТ 33977–2016⁸);
- (2) определение растворимых сухих веществ — рефрактометрическим методом, основанном на определении показателя преломления исследуемого раствора по рефрактометру и мас-

совой доли растворимых сухих веществ (ГОСТ ISO 2173–2013⁹);

- (3) определение сахаров — по Бертрону (ГОСТ 8756.13–87¹⁰);
- (4) определение титруемых кислот (общей кислотности) — методом потенциометрического титрования (ГОСТ 51434–99¹¹);
- (5) определение пектиновых веществ — фотометрическим методом (ГОСТ 32223–2013¹²);
- (6) массовой доли золы определяли общепринятым весовым методом, после минерализации навески продукта до постоянной массы в муфельной печи при температуре 525±25 °C (ГОСТ 25555.4–91¹³);
- (7) определение аскорбиновой кислоты (витамина С) — с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ГОСТ 34151–2017¹⁴);
- (8) определение фенольных веществ проводили спектрофотометрическим способом с использованием реактива Фолина-Чиокальтеу (Folin-Ciocalteu; Olcay, 2019).

Процедура исследования и анализ данных

При проведении данной работы осуществлен аналитический анализ изученности вопроса биологических особенностей, химического состава и пищевой ценности кинкана, после чего выбраны методы исследований.

³ ГОСТ 25336–82. (2009). Посуда и оборудование лабораторные стеклянные. Типы, основные параметры и размеры. М.: Стандартинформ.

⁴ ГОСТ 9147–80. (2011). Посуда и оборудование лабораторные фарфоровые. Технические условия. М.: Стандартинформ.

⁵ ГОСТ 25336–82. (2009). Посуда и оборудование лабораторные стеклянные. Типы, основные параметры и размеры. М.: Стандартинформ.

⁶ ГОСТ 21400–75. (2011). Стекло химико-лабораторное. Технические требования. Методы испытаний. М.: Стандартинформ.

⁷ ГОСТ 6613–86. (2011). Сетки проволоочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия. М.: Стандартинформ.

⁸ ГОСТ 33977–2016. (2019). Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения общего содержания сухих веществ. М.: Стандартинформ.

⁹ ГОСТ ISO 2173–2013. (2019). Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ. М.: Стандартинформ.

¹⁰ ГОСТ 8756.13–87. (2010). Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров. М.: Стандартинформ.

¹¹ ГОСТ Р 51434–99. (2006). Соки фруктовые и овощные. Метод определения титруемой кислотности. М.: Стандартинформ.

¹² ГОСТ 32223–2013. (2019). Продукция соковая. Определение пектина фотометрическим методом. М.: Стандартинформ.

¹³ ГОСТ 25555.4–91. (2019). Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения золы и щелочности общей и водорастворимой золы. М.: Стандартинформ.

¹⁴ ГОСТ 34151–2017. (2019). Продукты пищевые. Определение витамина С с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии. М.: Стандартинформ.

Исследования начаты с отбора плодов, их подготовки к анализу по действующей методике ГОСТа 26671–2014¹⁵. Работы выполнены с использованием стандартных и специальных методов исследований. Полученные результаты анализов зафиксированы по каждому показателю в отдельной книге, затем осуществлена статистическая обработка данных.

Исследования проводили в 3 параллельных определениях, результаты количественного анализа химического состава кинкана представлены в виде среднего результата и $\pm$ стандартного отклонения.

Исследования выполнялись в период с 2018 по 2021 годы, на экспериментальной базе Лянкяранского Регионального Научного Центра Национальной Академии Наук Азербайджанской Республики, на базе учебно-исследовательской лаборатории «Технология пищевых продуктов» кафедры «Технология и технические науки» Лянкяранского Государственного Университета и в учебно-методической лаборатории кафедры «Инженерия и прикладные науки» Азербайджанского Государственного Экономического Университета.

Таблица 1.

Средний химический состав плодов кинкана по видам

Показатели, единица измерения	Виды кинкана		
	<i>Fortunella margarita</i>	<i>Fortunella japonica</i>	<i>Fortunella crassifolia</i>
Влажность, %	80,48 $\pm$ 1,22	81,14 $\pm$ 1,36	78,69 $\pm$ 0,98
Массовая доля растворимых сухих веществ, %	15,24 $\pm$ 0,34	13,95 $\pm$ 0,19	16,06 $\pm$ 0,20
Сумма сахаров, %, в том числе:	12,35 $\pm$ 0,19	10,84 $\pm$ 0,10	12,94 $\pm$ 0,31
Редуцирующие сахара, из них:	8,48 $\pm$ 0,29	6,64 $\pm$ 0,33	8,71 $\pm$ 0,18
– глюкоза	4,87 $\pm$ 0,16	3,50 $\pm$ 0,13	4,93 $\pm$ 0,09
– фруктоза	3,61 $\pm$ 0,11	3,14 $\pm$ 0,18	3,74 $\pm$ 0,28
– сахароза	3,87 $\pm$ 0,14	4,20 $\pm$ 0,09	4,23 $\pm$ 0,15
Массовая доля органических кислот, %	2,62 $\pm$ 0,10	2,75 $\pm$ 0,16	2,44 $\pm$ 0,12
Сахарокислотный индекс	4,71 $\pm$ 0,25	3,94 $\pm$ 0,18	5,30 $\pm$ 0,26
Пектиновые вещества, %	2,62 $\pm$ 0,01	2,91 $\pm$ 0,07	3,06 $\pm$ 0,04
Массовая доля золы, %	0,52 $\pm$ 0,19	0,61 $\pm$ 0,09	0,58 $\pm$ 0,13
Витамин С, мг/100 г	58,1 $\pm$ 1,20	49,76 $\pm$ 0,58	55,35 $\pm$ 0,47
Фенольные соединения, мг ЕГК/г	565,64 $\pm$ 2,51	596,28 $\pm$ 3,17	518,43 $\pm$ 2,37

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что биологическая и пищевая ценность плодов зависит от их химического состава. В целях определения биологического и химического свойства, пищевой ценности кинкана, прорастающего в Азербайджанской Республике и возможности использования его как в свежем виде, так и для переработки с получением продуктов, обогащенных физиологически активными веществами, был исследован химический состав плодов.

Результаты исследований химического состава плодов кинкана, произрастающих на территории Лянкяранского экономического региона Азербайджанской Республики за 2018–2021 годы представлены в Таблице 1.

Как видно из Таблицы 1, влажность плодов составляет от 78,69 $\pm$ 0,98 % (вид *Fortunella crassifolia*) до 81,14 $\pm$ 1,36 % (вид *Fortunella japonica*). Массовая доля растворимых сухих веществ и сумма сахаров плодов вида *Fortunella crassifolia* (16,06 $\pm$ 0,20 %) превосходит аналогичные показатели кинкана видов *Fortunella margarita* (15,24 $\pm$ 0,34 %) и *Fortunella japonica* (13,95 $\pm$ 0,19 %).

¹⁵ ГОСТ 26671–2014. (2019). Продукты переработки фруктов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Подготовка проб для лабораторных анализов. М.: Стандартинформ.

Наиболее высоким содержанием сахаров выделяется кинкан вида *Fortunella crassifolia* (12,94 %), в плодах других видов кинкана от 10,84 до 12,35 %. Во всех исследуемых видах кинкана относительно мало фруктозы, от $3,14 \pm 0,18$ % (*Fortunella japonica*) до $3,74 \pm 0,28$ % (*Fortunella crassifolia*). Преобладают глюкоза (от 3,50 до 4,93 %) и сахароза (от 3,87 до 4,23 %).

Содержание массовой доли органических кислот больше у плодов кинкана вида *Fortunella japonica* ($2,75 \pm 0,16$ %), чем у кинкана видов *Fortunella margarita* и *Fortunella crassifolia* (2,62 % и 2,44 % соответственно). Соотношение сахаров и кислот (сахарокислотный индекс) определяет гармоничность вкуса плодов и ягод. Оптимальным для цитрусовых является значение сахарокислотного показателя равное 7,0 (Brummell, 2006; Winkler et al., 2015; Кадочникова, 2007). Однако, плоды кинкана вида *Fortunella crassifolia* имеют относительно гармоничный вкус за счет высокого содержания сахаров, сахарокислотный индекс для этого вида составляет 5,30. Другие виды кинкана обладают кисло-сладким и кислым вкусом. Сахарокислотный индекс кинкана вида *Fortunella margarita* — 4,71, вида *Fortunella japonica* — 3,94.

Содержание пектиновых веществ в исследуемых плодах кинкана, составляет от 2,62 % (*Fortunella margarita*) до 3,06 % (*Fortunella crassifolia*). Массовая доля золы в зависимости от видов кинкана составляет от 0,52 % (*Fortunella margarita*) до 0,61 % (*Fortunella japonica*). Согласно Национальной базе данных¹⁶ о составе пищевых продуктов, количество золы в сортах апельсина составляет 0,36–0,49 %, грейпфрута 0,26–0,33 %, лимона 0,33–0,39 %, мандарина 0,29–0,33 %. Показано, что общая зольность кинкана (0,44 %) выше этих значений (Turgut, 2015).

Сопоставление литературных данных² (Turgut, 2015) с результатами наших исследований показывает, что содержание золы кинкана, прорастающего в Лянкаранско-Астаринском регионе превышает литературные данные примерно в 1,2–1,4 раза. Что касается содержания витамина С, то по этому показателю вид *Fortunella margarita* превосходит ($58,1 \pm 1,20$ мг/100 г) виды *Fortunella japonica* и *Fortunella crassifolia* ($49,76 \pm 0,58$ мг/100 г и $55,35 \pm 0,47$ мг/100 г соответственно). Как видно,

содержание витамина С в исследуемых видах кинкана находится в диапазоне от 49,76 до 58,1 мг/100 г, что может удовлетворить половину потребности дневного рациона человека, который составляет примерно 70,0–100,0 мг/сутки².

В исследовании Olcaу (2019), посвященном содержанию аскорбиновой кислоты в экзотических фруктах, содержание аскорбиновой кислоты в съедобных частях свежего кинкана было определено как 55,29 мг/100 г. В свете этой информации и на основании данных, показанных в Таблице 1, кинкан следует рассматривать как хорошую альтернативу традиционным цитрусовым, его можно использовать в качестве поддерживающей здоровье натуральной пищевой добавки и дополнительного источника витамина С в ежедневном рационе.

Большинство исследованных нами видов кинкана по количеству фенольных соединений (от $518,43 \pm 2,37$ до $596,28 \pm 3,17$ мгЕГК/г) вполне могут конкурировать с такими культурами как черная смородина, черника, гранат, барбарис и т.д. (Barreca et al., 2011; Ahmadov, 2014; Turgut et al., 2015; Кадочникова, 2013; Пастушкова и др., 2016; Salgado et al., 2016).

Известно, что количество химических веществ в сырье и их разнообразие, пищевая ценность и устойчивость к хранению зависит от вида, сорта, ботанического строения растений, а также от экологических факторов, от структуры и состава почвы, высоты над уровнем моря, от климатических условий и метеорологических особенностей региона выращивания (Maharramov, 2015).

Результаты анализов, приведенные в Таблице 1 показывают, что основные показатели химического состава плодов кинкана имеют выраженную зависимость от вида кинкана. На наш взгляд, указанная зависимость связана с наследуемыми морфологически-биологическими особенностями видов кинкана, что согласуется с результатами работ других исследователей (Barreca et al., 2011; Ahmadov, 2014; Wang et al., 2012; Turgut et al., 2015).

Комплексная оценка полезных свойств плодов кинкана, произрастающего в Лянкаранском экономическом регионе, составляющих биологическую

¹⁶ USDA Food Composition Databases. <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2254?manu=&fgcd=&ds>

и пищевую ценность, свидетельствует об их безусловной пригодности как для непосредственного использования в свежем виде, так и для переработки с получением продуктов, обогащенных физиологически активными веществами, признанными эссенциальными микронутриентами (Пастушкова и др., 2016; Salgadol et al., 2016).

Нами в течение ряда лет проводится работа по выработке различных продуктов питания, в том числе соков, безалкогольных напитков, варенье, джемы, компоты и т.д., на основе плодов кинкана и с учетом биологической и пищевой ценности плодов кинкана различных видов, произрастающих в Азербайджанской Республике. Разработаны образцы продуктов, получены предварительные положительные результаты. Проведенные исследования позволяют получить натуральный и функциональный продукт из плодов кинкана. Необходимо также исследовать влияние экологических факторов, структуры и состава почвы, ее высоты над уровнем моря, климатических условий и метеорологических особенностей региона выращивания на химический состав плодов кинкана, произрастающих в указанном регионе. Однако, указанные работы являются объектом наших дальнейших исследований и не входят в задачи данного исследования.

ВЫВОДЫ

Основной целью данной работы являлось исследование химического состава и пищевой ценности плодов кинкана, прорастающих в Азербайджанской Республике. В результате установлено, что влажность плодов кинкана составляет от $78,69 \pm 0,98$ % (вида *Fortunella crassifolia*) до $81,14 \pm 1,36$ % (вида *Fortunella japonica*). Массовая доля растворимых сухих веществ и сумма сахаров плодов кинкана

вида *Fortunella crassifolia* ($16,06 \pm 0,20$ %) превосходит аналогичные показатели видов *Fortunella margarita* ($15,24 \pm 0,34$ %) и *Fortunella japonica* ($13,95 \pm 0,19$ %). Одновременно исследовано содержание массовой доли органических кислот, золы, пектиновых веществ, витамина С, фенольные соединения.

Результаты проведенных анализов свидетельствуют, что основные показатели химического состава ягоды кинкана зависят от вида сырья. Биологическая и пищевая ценность ягод кинкана различных видов, произрастающих в Азербайджанской Республики, позволяет рассматривать их как дополнительный источник физиологически активных веществ и сырье для выработки на их основе различных продуктов питания, таких как соки, напитки безалкогольные, варенье, джемы, компоты и других продуктов питания. В целях оптимизации рецептуры, технологических режимов производства, в том числе, режимов тепловой стерилизации, исследование в данном направлении продолжается.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Кулиев Ф. А.: концептуализация; методология.

Баширов М. М.: программное обеспечение; проведение исследования; верификация данных.

Магеррамова С. И.: визуализация; проведение исследования; создание рукописи и ее редактирование.

Магеррамов М. А.: научное руководство исследованием; создание черновика рукописи и ее редактирование.

ЛИТЕРАТУРА

- Кадочникова, Е. Н. (2007). *Товароведная характеристика плодов дикорастущей и культивируемой ежевики и продуктов ее переработки* [Кандидатская диссертация, Сибирский университет потребительской кооперации]. Новосибирск, Россия.
- Кулиев, Ф. А. (2011). Состояние и перспективы отрасли чаеводства и субтропических культур в Республике Азербайджан. *Субтропические и декоративное садоводство*, (44), 51–64.
- Магеррамов, М. А. (2020). *Научные основы производства, тепло и электрофизические свойства плодоовощных соков*. Лянкарань: ЛГУ.
- Пастушкова, Е. В., Заворохина, Н. В., & Вяткин, А. В. (2016). Растительное сырье как источник функционально-пищевых ингредиентов. Вестник южно-уральского государственного университета. *Пищевые и биотехнологии*, (4), 105–113.
- Allam, M., Khedr, A. A., & Beltagy, A. (2015). Kumquat as a potent natural material to improve lipid profile of hypercholesterolemic rats. *Biolife An International Quarterly Journal of Biology and Life Sciences*, 3(1), 171–181.
- Barreca D., Bellocco E., Caristi C., Leuzzi U., & Gattuso G. (2011). Kumquat (*Fortunella japonica Swingle*) juice: Flavonoid distribution and antioxidant properties. *Food Research International*, (44), 2190–2197.
- Barreca, D., Bellocco, E., Laganà, G., Ginestra, G., & Bisignano, C. (2014). Biochemical and antimicrobial activity of phloretin and its glycosylated derivatives present in apple and kumquat. *Food Chemistry*, 160, 292–297. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.118>
- Brummell, D. (2006). Cell wall disassembly in ripening fruit. *Functional Plant Biology*, 33(2), 103–119. <https://doi.org/10.1071/FP05234>
- Dai, J. S. (2015). *Antibacterial activity and effective components in the peel of kumquat and calamondin*. Taiwan: Department of Food Science. National Ilan University.
- Əhmədov, Ə. İ. (2014). *Yeyilən bitkilərin müalicəvi xassələri*. Bakı.
- Güney, M., Öz, A. T., & Kafkas, E. (2015). Comparison of lipids, fatty acids and volatile compounds of various kumquat species using HS/GC/MS/FID techniques. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1268–1273. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6817>
- Jarvis, B. J. (2017). *Get acquainted with kumquat*. Florida: Pasco County Cooperative Extension.
- Liu, Y., Liu, Y., Liu, Y., Liu, H., & Shang, Y. (2018). Evaluating effects of ellagic acid on the quality of kumquat fruits during storage. *Scientia Horticulturae*, 227, 244–254. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.055>
- Love, K., Bowen, R., & Fleming, K. (2017). *Twelve fruits with potential value-added and culinary uses*. University of Hawai'i College of Tropical Agriculture and Human Resources.
- Məhərrəmov, M. Ə. (2015). *Qida məhsulları texnologiyasının nəzəri əsasları*. Bakı: İqtisad Universiteti.
- Olçay, N. (2019). *Farklı teknikler ile kurutulmuş kamkat meyvesinin, bisküvi ve kek üretiminde kullanım imkanları. Yüksek lisans tezi*. Konya: Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Peng, L. W., Sheu, M. J., Lin, L. Y., Wu, C. T., Chiang, H. M., Lin, W. H., Lee, M. C., & Chen, H. C. (2013). Effect of heat treatments on the essential oils of kumquat (*Fortunella margarita Swingle*). *Food Chemistry*, 136(2), 532–537. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.08.014>
- Quliyev, F. A. (2018). *Sitrus bitkilərinin əsas bioloji xüsusiyyətləri və suvarılması rejimi*. Bakı.
- Sadek, E. S., Makris, D. M., & Kefalas, P. (2009). Polyphenolic composition and antioxidant characteristics of kumquat (*Fortunella margarita*) peel fractions. *Plant Foods of Human Nutrition*, 64(4), 297–302. <https://doi.org/10.1007/s11130-009-0140-1>
- Salgado, A. A., Clark, J. R. (2016). “Crispy” blackberry genotypes: A breeding innovation of the university of arkansas blackberry breeding program. *HortScience*, 51(5), 468–471. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.5.468>
- Shanmugavelan, P., Kim, S. Y., Kim, J. B., Kim, H. W., Cho, S. M., Kim, S. N., Kim, S. Y., Cho, Y. S., Kim, H. R. (2013). Evaluation of sugar content and composition in commonly consumed Korean vegetables, fruits, cereals, seed plants, and leaves by HPLC-ELSD. *Carbohydrate Research*, 380, 112–117. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2013.06.024>
- Turgut, Y. D., Gölükcü, M., & Tokgöz, H. (2015). Kamkat (*Fortunella margarita Swingle*) meyvesi ve reçelinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri. *Derim*, 32(1), 71–80. <https://doi.org/10.16882/derim.2015.00773>
- Wang, Y. W., Zeng, W. C., Xu, P. Y., Lan, Y. J., Zhu, R. X., Zhong, K., Huang, Y. N., & Gao, H. (2012). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of kumquat (*Fortunella crassifolia Swingle*) peel. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(3), 3382–3393. <https://doi.org/10.3390/ijms13033382>
- Winkler, A., Ossenbrink, M., & Knoche, M. (2015). Malic acid promotes cracking of sweet cherry fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 140(3), 280–287. <https://doi.org/10.21273/JASHS.140.3.280>

REFERENCES

- Kadochnikova, E. N. (2007). *Tovarovедnaya kharakteristika plodov dikorastushchei i kul'tiviruemoi ezheviki i produktov ee pererabotki* [Commodity characteristics of fruits of wild and cultivated blackberries and products of its processing] [Candidate Dissertation, Sibirskii universitet potrebitel'skoi kooperatsii]. Novosibirsk, Russia.
- Kuliev, F. A. (2011). *Sostoyanie i perspektivy otrasli chaevodstva i subtropicheskikh kul'tur v Respublike Azerbaidzhan* [The state and prospects of tea growing and subtropical crops in the Republic of Azerbaijan]. *Subtropicheskie i dekorativnoe sadovodstvo* [Subtropical and Ornamental Gardening], (44), 51–64.
- Magerramov, M. A. (2020). *Nauchnye osnovy proizvodstva, teplo i elektrofizicheskie svoystva plodoovoshchnykh sokov* [Scientific bases of production, heat and electrophysical properties of fruit and vegetable juices]. Lyankaran': LGU.
- Pastushkova, E. V., Zavorokhina, N. V., & Vyatkin, A. V. (2016). Rastitel'noe syr'e kak istochnik funktsional'no-pishchevykh ingredientov [Vegetable raw materials as a source of functional food ingredients]. *Vestnik yuzhno-ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Pishchevye i biotekhnologii* [Bulletin of the South Ural State University. Food and biotechnology], (4), 105–115.
- Allam, M., Khedr, A. A., & Beltagy, A. (2015). Kumquat as a potent natural material to improve lipid profile of hypercholesterolemic rats. *Biolife An International Quarterly Journal of Biology and Life Sciences*, 3(1), 171–181.
- Barreca D., Bellocco E., Caristi C., Leuzzi U., & Gattuso G. (2011). Kumquat (*Fortunella japonica* Swingle) juice: Flavonoid distribution and antioxidant properties. *Food Research International*, (44), 2190–2197.
- Barreca, D., Bellocco, E., Laganà, G., Ginestra, G., & Bisignano, C. (2014). Biochemical and antimicrobial activity of phloretin and its glycosylated derivatives present in apple and kumquat. *Food Chemistry*, 160, 292–297. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.118>
- Brummell, D. (2006). Cell wall disassembly in ripening fruit. *Functional Plant Biology*, 33(2), 103–119. <https://doi.org/10.1071/FP05234>
- Dai, J. S. (2015). *Antibacterial activity and effective components in the peel of kumquat and calamondin*. Taiwan: Department of Food Science. National Ilan University.
- Əhmədov, Ə. İ. (2014). *Yeyilən bitkilərin müalicəvi xassələri* [Healing properties of edible plants]. Bakı.
- Güney, M., Öz, A. T., & Kafkas, E. (2015). Comparison of lipids, fatty acids and volatile compounds of various kumquat species using HS/GC/MS/FID techniques. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1268–1273. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6817>
- Jarvis, B. J. (2017). *Get acquainted with kumquat*. Florida: Pasco County Cooperative Extension.
- Liu, Y., Liu, Y., Liu, Y., Liu, H., & Shang, Y. (2018). Evaluating effects of ellagic acid on the quality of kumquat fruits during storage. *Scientia Horticulturae*, 227, 244–254. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.055>
- Lou, S. N., Lai, Y. C., Hsu, Y. S., & Ho, C. T. (2016). Phenolic content, antioxidant activity and effective compounds of kumquat extracted by different solvents. *Food Chemistry*, 197(A), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.096>
- Love, K., Bowen, R., & Fleming, K. (2017). *Twelve fruits with potential value-added and culinary uses*. University of Hawai'i College of Tropical Agriculture and Human Resources.
- Məhərrəmov, M. Ə. (2015). *Qida məhsulları texnologiyasının nəzəri əsasları* [Theoretical foundations of food technology]. Bakı: İqtisad Universiteti.
- Olçay, N. (2019). *Farklı teknikler ile kurutulmuş kamkat meyvesinin, bisküvi ve kek üretiminde kullanım imkanları. Yüksek lisans tezi* [Possibilities of using kumquat fruit dried by different techniques in the production of biscuits and cakes. Master thesis]. Konya: Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Peng, L. W., Sheu, M. J., Lin, L. Y., Wu, C. T., Chiang, H. M., Lin, W. H., Lee, M. C., & Chen, H. C. (2013). Effect of heat treatments on the essential oils of kumquat (*Fortunella margarita* Swingle). *Food Chemistry*, 136(2), 532–537. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.08.014>
- Quliyev, F. A. (2018). *Sitrus bitkilərinin əsas bioloji xüsusiyyətləri və suvarılması rejimi* [The main biological characteristics and watering regime of citrus crops]. Bakı.
- Sadek, E. S., Makris, D. M., & Kefalas, P. (2009). Polyphenolic composition and antioxidant characteristics of kumquat (*Fortunella margarita*) peel fractions. *Plant Foods of Human Nutrition*, 64(4), 297–302. <https://doi.org/10.1007/s11130-009-0140-1>
- Salgadol, A. A., Clark, J. R. (2016). “Crispy” blackberry genotypes: A breeding innovation of the university of arkansas blackberry breeding program. *HortScience*, 51(5), 468–471. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.5.468>
- Shanmugavelan, P., Kim, S. Y., Kim, J. B., Kim, H. W., Cho, S. M., Kim, S. N., Kim, S. Y., Cho, Y. S., Kim, H. R. (2013). Evaluation of sugar content and composition in commonly consumed Korean vegetables, fruits, cereals, seed plants, and leaves by HPLC-ELSD. *Carbohydrate Research*, 380, 112–117. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2013.06.024>
- Turgut, Y. D., Gölükcü, M., & Tokgöz, H. (2015). Kamkat (*Fortunella margarita* Swing.) meyvesi ve reçelinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri [Kumquat (*Fortunella margarita* Swing.) some physical and chemical properties of its fruit and jam]. *Derim [I say]*, 32(1), 71–80. <https://doi.org/10.16882/derim.2015.00773>
- Wang, Y. W., Zeng, W. C., Xu, P. Y., Lan, Y. J., Zhu, R. X., Zhong, K., Huang, Y. N., & Gao, H. (2012). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of kumquat (*Fortunella crassifolia* Swingle) peel. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(3), 3382–3393. <https://doi.org/10.3390/ijms13033382>
- Winkler, A., Ossenbrink, M., & Knoche, M. (2015). Malic acid promotes cracking of sweet cherry fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 140(3), 280–287. <https://doi.org/10.21273/JASHS.140.3.280>