

ISSN 2072-9669

eISSN 2658-767X

№1 2024

Хранение и переработка сельхозсырья
Storage and Processing of Farm Products

ХИПС

SPFP



ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬХОЗСЫРЬЯ

№ 1 | 2024

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

ISSN 2072–9669

eISSN 2658–767X

УЧРЕДИТЕЛЬ: Российский биотехнологический университет
(РОСБИОТЕХ)

РЕДАКЦИЯ

Заведующий редакцией и академический редактор —
Тихонова Елена Викторовна
Выпускающий редактор — Иванова Марина Александровна
Ответственный секретарь — Косычева Марина Александровна

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

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

- 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически ак-
тивных веществ (технические науки) — с 01.02.2022
- 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процес-
сами и производствами (технические науки) — с 15.02.2023
- 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекар-
ственные культуры (биологические науки) — с 15.02.2023
- 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекар-
ственные культуры (технические науки) — с 15.02.2023
- 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекар-
ственные культуры сельскохозяйственные науки) — с 15.02.2023
- 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромыш-
ленного комплекса (технические науки) — с 15.02.2023
- 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропро-
мышленного комплекса (сельскохозяйственные науки) —
с 15.02.2023
- 4.3.3. Пищевые системы (биологические науки) — с 15.02.2023
- 4.3.3. Пищевые системы (технические науки) — с 15.02.2023

КОНТАКТЫ:

125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11
Тел. +7 (499) 750–01–11*6585

E-mail: info@spfp-mgupp.ruСайт учредителя: mgupp.ruСайт журнала: spfp-mgupp.ru

Отпечатано в ООО «Издательство «Проспект»
121471, Москва, ул. Рябиновая, 51-А, стр. 1.

Формат 60×84 1/8. Печать офсетная. Бумага офсетная.
Тираж 100 экз. Подписано в печать 30.12.2023. Свободная цена.

© Российский биотехнологический университет
(РОСБИОТЕХ), 2024

STORAGE AND PROCESSING OF FARM PRODUCTS

№ 1 | 2024

Periodicity of publication — quarterly
Published since 1993

ISSN 2072–9669

eISSN 2658–767X

FOUNDER: Russian Biotechnological University

EDITORIAL OFFICE

Head of Editorial Team and Academic Editor —
Elena V. Tikhonova
Issue Editor — Marina A. Ivanova
Executive Secretary — Marina A. Kosycheva

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» according to the groups of specialties:

- 4.3.5. Biotechnology of food and biologically active substances
(technical sciences) — from 01.02.2022
- 2.3.3. Automation and control of technological processes and
productions (technical sciences) — from 15.02.2023
- 4.1.4. Gardening, vegetable growing, viticulture and medicinal crops
(biological sciences) — from 15.02.2023
- 4.1.4. Horticulture, vegetable growing, viticulture and medicinal
crops (technical sciences) — from 15.02.2023
- 4.1.4. Horticulture, vegetable growing, viticulture and medicinal
crops agricultural sciences) — from 15.02.2023
- 4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-
industrial complex (technical sciences) — from 15.02.2023
- 4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-
industrial complex (agricultural sciences) — from 15.02.2023
- 4.3.3. Food systems (biological sciences) — from 15.02.2023
- 4.3.3. Food systems (technical sciences) — from 15.02.2023

CONTACTS:

11 Volokolamskoe Highway, Moscow, 125080, Russian Federation
Tel. +7 (499) 750–01–11*6585

E-mail: info@spfp-mgupp.ruFounder website: mgupp.ruJournal website: spfp-mgupp.ru

Printed by LLC “Prospect Publishing House”
121471, Moscow, Ryabinovaya Street, 51-A, Bldg. 1.

Format 60×84 1/8. Seal offset. Offset paper. 100 copies.
Signed in print 30.12.2023. Free price.

© Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), 2024

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

ДАНИЛЬЧУК ТАТЬЯНА НИКОЛАЕВНА — доктор технических наук, директор института прикладной биотехнологии имени академика РАН И.А. Рогова, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация

Члены редакционного совета коллегии:

Аксёнова Лариса Михайловна	доктор технических наук, профессор, академик РАН, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Российская Федерация
Акулич Александр Васильевич	доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель Республики Беларусь, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, г. Могилев, Республика Беларусь
Аль-Наддаф Лина	PhD (биотехнология и молекулярная биология), Университет Аль-Баас, г. Хомс, Сирийская Арабская Республика
Андреев Николай Руфеевич	доктор технических наук, член-корреспондент РАН, ВНИИ крахмалопродуктов — филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Российская Федерация
Ахремчик Олег Леонидович	доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации технологических процессов, Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Российская Федерация
Басаков Иван Васильевич	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, г. Воронеж, Российская Федерация
Битюков Виталий Ксенофонович	доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Российская Федерация
Благовещенская Маргарита Михайловна	доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация
Боронтов Олег Константинович	доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы им. А.Л. Мазлумова, г. Воронеж, Российская Федерация
Гинс Мурат Сабирович	доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, Федеральный научный центр овощеводства, г. Москва, Российская Федерация
Горлов Иван Федорович	доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, г. Волгоград, Российская Федерация
Гудковский Владимир Александрович	доктор сельскохозяйственных наук, профессор академик РАН, Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина, г. Мичуринск, Российская Федерация
Добровольский Виктор Францевич	доктор технических наук, НИИ пищевых концентратной промышленности и специальной пищевой технологии — филиал ФИЦ питания и биотехнологии, г. Москва, Российская Федерация
Донник Ирина Михайловна	доктор биологических наук, профессор, академик РАН, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, Российская Федерация
Ильина Ирина Анатольевна	доктор технических наук, Северокавказский зональный научно-исследовательский институт садоводства и виноградарства, г. Краснодар, Российская Федерация
Калашникова Елена Анатольевна	доктор биологических наук, профессор, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация
Коденцова Вера Митрофановна	доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального исследовательского центра питания и биотехнологий, г. Москва, Российская Федерация
Копусь Михаил Мефодьевич	доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Аграрный научный центр «Донской», Центр фундаментальных научных исследований, г. Зерноград, Российская Федерация
Короткий Игорь Алексеевич	доктор технических наук, профессор, Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация
Косован Анатолий Павлович	доктор экономических наук, академик РАН, НИИ хлебопекарной промышленности, г. Москва, Российская Федерация
Красуля Ольга Николаевна	доктор технических наук, профессор, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация
Кульнева Надежда Григорьевна	доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Российская Федерация
Левшин Александр Григорьевич	доктор технических наук, профессор, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация
Лисицын Александр Николаевич	доктор технических наук, ВНИИ жиров, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Лисицын Андрей Борисович Мелешкина Елена Павловна	доктор технических наук, академик РАН, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Российская Федерация доктор технических наук, ВНИИ зерна и продуктов его переработки — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Российская Федерация
Неверов Евгений Николаевич	доктор технических наук, профессор, Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация
Никитюк Дмитрий Борисович	доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, профессор, Федеральное исследовательское учреждение питания и биотехнологии, г. Москва, Российская Федерация
Никифоров-Никишин Алексей Львович	доктор биологических наук, профессор, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, г. Москва, Российская Федерация
Оганесянц Лев Арсенович	доктор технических наук, академик РАН, ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности — филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Российская Федерация
Ожерельев Виктор Николаевич	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Российская Федерация
Оробинский Владимир Иванович	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, г. Воронеж, Российская Федерация
Пасынкова Елена Николаевна	доктор биологических наук, Федеральное исследовательское учреждение картофеля им. А.Г. Лорха, филиал Ленинградского научно-исследовательского института сельского хозяйства «Белогорка», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
Панфилов Виктор Александрович	доктор технических наук, академик РАН, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация
Петров Андрей Николаевич	доктор технических наук, академик РАН, ВНИИ технологии консервирования — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Российская Федерация
Подвигина Ольга Анатольевна	доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова, г. Воронеж, Российская Федерация
Ражабов Тошпулот Файзуллоевич	PhD, Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова, г. Самарканд, Республика Узбекистан
Савина Ольга Васильевна	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Российская Федерация
Сагян Ашот Серобович	академик, доктор химических наук, профессор, президент Национальной Академии наук Республики Армения, Республика Армения
Симоненко Сергей Владимирович	доктор технических наук, НИИ детского питания — филиал Федерального исследовательского центра питания и биотехнологии, г. Истра, Российская Федерация
Стогниенко Ольга Ивановна	доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова, г. Воронеж, Российская Федерация
Титов Евгений Иванович	доктор технических наук, академик РАН, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация
Тихомирова Наталья Александровна	доктор технических наук, профессор, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация
Тужилкин Вячеслав Иванович	доктор технических наук, член-корреспондент РАН, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация
Тутельян Виктор Александрович	доктор медицинских наук, академик РАН, профессор, Федеральное исследовательское учреждение питания и биотехнологии, г. Москва, Российская Федерация
Ульрих Наташа Поклар	PhD (биохимия), профессор, Университет Любляны, г. Любляна, Словения
Уша Борис Вениаминович	доктор ветеринарных наук, академик РАН, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация
Харитонов Владимир Дмитриевич	доктор технических наук, академик РАН, ВНИИ молочной промышленности, г. Москва, Россия, Российская Федерация
Храмцов Андрей Георгиевич	доктор технических наук, академик РАН, Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Российская Федерация
Шингисов Азрет Утебаевич	доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Академии естественных наук РФ, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Республика Казахстан
Щетинин Михаил Павлович	доктор технических наук, профессор, Международная промышленная академия, г. Москва, Российская Федерация

EDITORIAL COUNCIL

Editor-in-Chief

TATIANA N. DANILCHUK – Doctor of Technical Sciences, Director of the Institute of Applied Biotechnology named after academician I.A. Rogov, Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russian Federation

Members of the Editorial Board:

Larisa M. Aksyonova	Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbатов, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
Alexander V. Akulich	Doctor of Science (Engineering), Honoured Inventor of the Republic of Belarus, Professor, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Republic of Belarus
Lina Alnaddaf	PhD in Biotechnology and Molecular Biology, Albaath University, Homs, Syrian Arab Republic
Nikolay R. Andreev	Doctor of Science (Engineering), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Starch — branch of the Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbатов, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
Oleg L. Akhremchik	Doctor of Science (Engineering), Professor, Tver State Technical University, Tver, Russian Federation
Ivan V. Baskakov	Doctor of Science (Agriculture), Professor, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russian Federation
Vitaliy K. Bitukov	Doctor of Science (Engineering), Professor, Honored Science Worker of the Russian Federation, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation
Margarita M. Blagoveshchenskaya	Doctor of Science (Engineering), Professor, Honored Science Worker of the Russian Federation, Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation
Oleg K. Borontov	Doctor of Science (Agriculture), Leading Researcher, A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar, Voronezh, Russian Federation
Murat S. Gins	Doctor of Science (Biology), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre for Vegetable Growing, Moscow Region, Russian Federation
Ivan F. Gorlov	Doctor of Science (Agriculture), Academician of the Russian Academy of Sciences, Povolzhskiy Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russian Federation
Vladimir A. Gudkovskiy	Doctor of Science (Agriculture), Academician of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre named after I.V. Michurin, Michurinsk, Russian Federation
Viktor F. Dobrovoilskiy	Doctor of Science (Engineering), Research Institute of Food Concentrates Industry and Special Food Technology - branch of the Federal Research Centre for Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russian Federation
Irina M. Donnik	Doctor of Science (Biology), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, National Research Institute «Kurchatov Institute», Moscow, Russian Federation
Irina A. Ilina	Doctor of Science (Engineering), North Caucasian Federal Research Centre of Horticulture, Viticulture, Winemaking, Krasnodar, Russian Federation
Elena A. Kalashnikova	Doctor of Science (Biology), Professor, Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation
Vera M. Kodentsova	Doctor of Science (Biology), Professor, Leading Researcher, Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation
Mikhail M. Kopus	Doctor of Science (Biology), Leading Researcher, Agrarian Research Centre «Donskoy», Centre for Fundamental Scientific Research, Zernograd, Russian Federation
Igor A. Korotkiy	Doctor of Science (Engineering), Professor, Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation
Anatoliy P. Kosovan	Doctor of Economics, Academician of the Russian Academy of Sciences, State Research Institute of Baking Industry, Moscow, Russian Federation
Olga N. Krasulya	Doctor of Science (Engineering), Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation
Nadezhda G. Kulneva	Doctor of Science (Engineering), Professor, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation
Alexander G. Levshin	Doctor of Science (Engineering), Professor, Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation

Aleksander N. Lisitsyn	Doctor of Science (Engineering), All-Russian Research Institute of Fats, St. Petersburg, Russian Federation
Andrey B. Lisitsyn	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbатов of the Russian Academy of Science, Moscow, Russian Federation
Elena P. Meleshkina	Doctor of Science (Engineering), All-Russian Research Institute of Grain and Products of Its Processing — branch of the Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbатов, Russian Academy of Science, Moscow, Russian Federation
Eugeny N. Neverov	Doctor of Science (Engineering), professor, Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation
Dmitry B. Nikityuk	Doctor of Medicine, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre for Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russian Federation
Aleksey L. Nikiforov-Nikishin	Doctor of Science (Biology), Professor, Razumovsky Moscow State University of Food Production, Russian Federation
Lev A. Oganesyants	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industries — branch of the Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbатов, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
Viktor N. Ozherelev	Doctor of Science (Agriculture), Professor of Bryansk State Agricultural University, Bryansk, Russian Federation
Vladimir I. Orbinsky	Doctor of Science (Agriculture), Professor, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russian Federation
Elena N. Pasyunkova	Doctor of Science (Biology), Federal Research Centre for Potato named after A.I. A.G. Lorkha, branch of the Leningrad Research Institute of Agriculture «Belogork», St. Petersburg, Russian Federation
Viktor A. Panfilov	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation
Andrey N. Petrov	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Technology Canning — branch of the Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbatoва, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
Olga A. Podvigina	Doctor of Science (Agriculture), Leading Researcher, A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar, Voronezh, Russian Federation
Toshpulot F. Rajabov	PhD, Sharof Rashidov Samarkand State University, Samarkand, Uzbekistan
Olga V. Savina	Doctor of Science (Agriculture), Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russian Federation
Ashot S. Saghyan	Academician, Doctor of Chemistry, Professor, National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Republic of Armenia
Sergey V. Simonenko	Doctor of Science (Engineering), Research Institute of Baby Nutrition — branch of the Federal Research Centre for Nutrition and Biotechnology, Istra, Russian Federation
Olga I. Stognienko	Doctor of Science (Biology), Leading Researcher, A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar, Voronezh, Russian Federation
Evgeny I. Titov	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Biotechnological University, Moscow, Russia Russian Federation
Natalia A. Tikhomirova	Doctor of Science (Engineering), Professor, Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation
Vyacheslav I. Tuzhilkin	Doctor of Science (Engineering), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation
Victor A. Tutelyan	Doctor of Medicine, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Federal Research Centre for Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russian Federation
Natasa Poklar Ulrih	PhD, Professor of Biochemistry, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia
Boris V. Usha	Doctor of Science (Veterinary), Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation
Vladimir D. Kharitonov	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Dairy Industry, Moscow, Russian Federation
Andrey G. Khramtsov	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russian Federation
Azret U. Shingisov	Doctor of Engineering, Professor,), Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Auezov University, Shymkent, Kazakhstan
Mikhail P. Schetinin	Doctor of Science (Engineering), Professor, International Industrial Academy, Moscow, Russian Federation

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКТОРА

Е. В. Тихонова

Эффективные стратегии написания научных статей: обоснование пробела в существующем знании в предметной области 8

Д. Д. Белова, А. А. Принцева, А. П. Непомнящий, П. Н. Сорокоумов, Н. Ю. Шарова

Ферментативная активность *Acinetobacter radioresistens* при культивировании на вторичном растительном сырье. 17

Е. С. Бычкова, Е. М. Подгорбунских, П. В. Кудачева, Н. Б. Еремеева

Особенности производства и усвоения белков растительного и животного происхождения: обзор предметного поля 31

А. Т. Васюкова, Р. А. Эдварс, К. В. Любимова

Разработка мясорастительных продуктов из говядины с биологически активными добавками. 53

В. А. Васькина, Е. С. Новожилова, Г. Н. Дубцова, Е. Н. Молчанова, Я. К. Кузнецов

Применение растительных эмульсионных гелей в технологии безглютенового сдобного печенья 71

Д. Д. Вилкова, О. В. Новиченко, М. А. Белова, М. Н. Кутузов, И. А. Никитин

Инфракрасная спектроскопия как метод экспресс-оценки сроков хранения и свежести охлажденной радужной форели 85

М. Масумиан, М. Гаравири, З. Годжаванд, М. Ахангаран, Н. Г. Машенцева, Д. М. Синаки

Генетический анализ разнообразия линий нута методом случайной амплификации полиморфной днк (RAPD). 95

С. А. Мокрушин, И. Г. Благовещенский, М. М. Благовещенская, С. И. Охалкин, В. Г. Благовещенский

Введение алгоритма диагностики аварийных ситуаций в систему автоматизированного управления процессом стерилизации консервов 108

Е. В. Ражина, Е. С. Смирнова, П. В. Шаравьев, О. П. Неверова, Н. Л. Лопаева

Разработка рецептуры производства хлеба с использованием дикорастущего сырья. 120

Т. В. Федосенко, Л. М. Аксенова, М. А. Пестерев, А. И. Захарова, Л. К. Пацюк

Кавитация как альтернативный метод физического воздействия для улучшения вкусо-ароматического профиля кондитерских полуфабрикатов 131

А. А. Шуба, Е. П. Анохина, Р. У. Умарханов, Е. В. Богданова, И. Ю. Буракова

Анализ микробиологических показателей сырого молока с использованием химических газовых сенсоров 144

CONTENT

EDITORIAL

Elena V. Tikhonova

Effective Strategies for Writing Scientific Papers: Justifying the Gap in Existing Knowledge
in the Subject Area 9

Daria D. Belova, Anastasia A. Printseva, Anatoly P. Nepomnyashiy, Pavel N. Sorokoumov, Natalya Yu. Sharova

Enzymative Activity of *Acinetobacter Radioresistens* during Cultivation on Secondary Plant Raw Materials 18

Elena S. Bychkova, Ekaterina M. Podgorbunskikh, Polina V. Kudacheva, Natalya B. Ereemeeva

Features of Production and Digestion of Plant- and Animal-Derived Proteins: A Scoping Review 32

A. T. Vasukova, R. A. Edvars, K. B. Lubimova

Development of Meat and Vegetable Products from Beef with Biologically Active Additives 54

**Valentina A. Vaskina, Alena S. Navazhylava, Galina N. Dubtsova, Evgeniy N. Rogozkin, Elena N. Molchanova,
Yaroslav K. Kuznetsov**

Application of Plant Emulsion Gels in the Technology of Gluten-Free Book Cookies. 72

Daria D. Vilkova, Olga V. Novichenko, Maria A. Belova, Mikhail N. Kutuzov, Igor A. Nikitin

Infrared Spectroscopy as a Rapid Method the Assessment of the Shelf-Life and Freshness of Refrigerated
Rainbow Trout 86

**Majid Masomian, Mahmood Gharaviri, Zahra Ghojavand, Mahboobeh Ahangaran,
Natalya G. Mashentseva, Jafar M. Sinaki**

Investigation of Genetic Diversity of Some Chickpea Lines Using Molecular Marker (RAPD). 96

**Sergey A. Mokrushin, Ivan G. Blagoveshchenskiy, Margarita M. Blagoveshchenskaya,
Sergey I. Okhapkin, Vladislav G. Blagoveshchenskiy**

Introduction of Algorithm for Diagnostics of Emergency Situations in the System of Automated Control
of the Canned Sterilization Process. 109

Eva V. Razhina, Ekaterina S. Smirnova, Pavel V. Sharavyev, Olga P. Neverova, Nadezhda L. Lopaeva

Development of a Bread Production Recipe Using Wild-Growing Raw Materials 121

Tatyana V. Fedosenko, Larisa M. Aksenova, Mikhail A. Pesterev, Anna I. Zakharova, Lyubov K. Patsyuk

Cavitation as an Alternative Method of Physical Action to Improve the Flavor Profile of Confectionery
Semi-Finished Products. 132

A. A. Shuba, E.P. Anokhina, R. U. Umarkhanov, E.V. Bogdanova, I. Yu. Burakova

Analysis of Microbiological Indicators of Raw Milk Using Chemical Gas Sensors 145

Эффективные стратегии написания научных статей: обоснование пробела в существующем знании в предметной области

Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы,
г. Москва, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Тихонова Елена Викторовна
E-mail: tikhonova_ev@pfur.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Тихонова, Е.В. (2024). Эффективные стратегии написания научных статей: обоснование пробела в существующем знании в предметной области. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(1), 8-16. <https://doi.org/10.36107/spfr.2024.1.561>

ПОСТУПИЛА: 01.03.2024

ПРИНЯТА: 15.03.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии
конфликта интересов.



Е. В. Тихонова

АННОТАЦИЯ

Введение: В научном исследовании ключевым аспектом является определение и анализ пробелов в существующих знаниях. Вместе с тем многие исследователи недостаточно четко артикулируют заполняемый пробел в знании, либо же ограничиваются лишь описанием актуальности проведенного исследования, не комментируя его принципиальную оригинальность. В ряде случаев такой подход связан именно с отсутствием новизны исследованием и стремлением мимикрировать под наличие такового.

Цель: Дать целостное представление о сущности, типах и стратегиях формулирования пробела в существующем знании на тему. Такое понимание позволит авторам научных статей добиться целостности описания полученных результатов и повысит шансы научной рукописи на публикацию.

Результаты: Основываясь на анализе текущих исследовательских методик, автор статьи описывает типологию пробелов в существующем знании на тему и техники их локализации и обоснования. Также подчеркивается важность критического мышления, междисциплинарного подхода и академической грамотности в процессе идентификации неисследованных тем; рассматривает роль цифровых инструментов и сетевых платформ в облегчении поиска и анализа научной информации, что, в свою очередь, увеличивает эффективность процесса выявления исследовательских пробелов. Обсуждаются также этические аспекты выбора тем исследований, подчеркивая значимость социально ответственного подхода к научной работе.

Выводы: Статья предлагает ряд практических рекомендаций для исследователей по эффективному выявлению исследовательских пробелов, которые могут служить основой для дальнейших научных разработок. Таким образом, материалы статьи станут полезным ресурсом для исследователей всех уровней квалификации, стремящихся к расширению границ своих научных дисциплин и внесению значимого вклада в развитие науки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

исследовательский пробел; академическое письмо; этические аспекты научно-исследовательской деятельности; типология пробелов в существующем знании на тему; академическая грамотность; научная новизна

Effective Strategies for Writing Scientific Papers: Justifying the Gap in Existing Knowledge in the Subject Area

Peoples' Friendship University of Russia
named after Patrice Lumumba, Moscow,
Russian Federation

Elena V. Tikhonova

CORRESPONDENCE:

Elena V. Tikhonova

E-mail: tikhonova_ev@pfur.ru

DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

FOR CITATIONS:

Tikhonova, E. (2024). Effective strategies for writing scientific papers: justifying the gap in existing knowledge in the subject area. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(1), 8-16. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.561>

RECEIVED: 01.03.2024

ACCEPTED: 15.03.2024

PUBLISHED: 30.03.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction: A key aspect of scientific research is identifying and analyzing gaps in existing knowledge. However, many researchers do not clearly articulate the knowledge gap they aim to fill, or they merely describe the relevance of their research without commenting on its originality. In some cases, this approach is linked to a lack of novelty in the research and an attempt to appear as though it has novelty.

Purpose: To provide a comprehensive understanding of the nature, types, and strategies of formulating a gap in existing knowledge on a subject. Such understanding will allow authors of scientific papers to achieve a coherent description of their results and increase the chances of publication for their manuscript.

Results: Based on an analysis of current research methodologies, the author describes a typology of gaps in existing knowledge on the subject and techniques for their localization and justification. The importance of critical thinking, an interdisciplinary approach, and academic literacy in the process of identifying unexplored topics are emphasized; the role of digital tools and network platforms in facilitating the search and analysis of scientific information is considered, which, in turn, increases the efficiency of identifying research gaps. Ethical aspects of choosing research topics are also discussed, emphasizing the importance of a socially responsible approach to scientific work.

Conclusion: The article offers a series of practical recommendations for researchers on effectively identifying research gaps, which can serve as a basis for further scientific developments. Thus, the materials of the article will become a useful resource for researchers of all qualification levels who are striving to expand the boundaries of their scientific disciplines and make a significant contribution to the development of science.

KEYWORDS

research gap; academic writing; ethical aspects of scientific research; typology of gaps in existing knowledge on the topic; academic literacy; scientific novelty

ВВЕДЕНИЕ

Редакция научного журнала, стремящаяся к его позиционированию в предметной области, призвана тщательно отслеживать его качественные характеристики, вне учета которых архитектура развития издания может оказаться неустойчивой (Кириллова, & Тихонова, 2022). Академические исследования в сфере пищевых и биотехнологий, исследований в сфере сельского хозяйства непрерывно расширяют границы существующих знаний. Ключевым аспектом продуктивного научного поиска остаётся идентификация и обоснование исследовательских пробелов. Под последними принято понимать неисследованные области, которые представляют потенциал для значительных научных прорывов.

Утверждение о наличии пробела в существующем знании по теме должно быть представлено автором в секции «Введение» научной статьи. Обоснование пробела в знании является обязательным шагом перед представлением цели и исследовательских вопросов. Вне указания на конкретный пробел в знании эффективность представления цели исследования значительно пострадает. Автор / авторы исследования наверняка понимают потенциал своего исследования глубже, чем читатели: понимание позиции автора необходимо для корректного считывания информации адресатами информации.

«Пробел в знании» может заключаться в недостаточном понимании того, как хорошо «работает» определённый инструмент в конкретной ситуации. Речь может идти и о введении нового метода, который необходимо валидировать (Mueller-Bloch & Kranz, 2015). Или же исследование может касаться совершенно нового подхода, системы или части процесса. Исследование может затрагивать и несколько пробелов, в таком случае важно чётко определить каждый из них. И сделать это корректно, может только авторский коллектив, целенаправленно формирующий фоновые знания по теме до проведения исследования, знакомящийся с новейшими исследованиями по теме.

Проблемы выбора

Выявление ранее не исследованной / малоисследованной / переоцененной / недооцененной области является первым шагом в проведении

исследования. И если он окажется неэффективным, то скомпрометирует все исследование. Основной причиной отклонения рукописей, написанных в соответствии со всеми канонами академического письма, служит отсутствие научной новизны. Таким образом, тщательное обоснование заполняемого пробела в знании, это не только инвестиция своих интеллектуальных ресурсов в «правильный» проект, но и увеличение шансов на публикацию результатов подготовленной рукописи научной статьи (Robert, & Augustine, 2020).

Нахождение пробелов и выдвижение оригинальных и инновационных тем может быть сложным по нескольким причинам:

- (1) Усилия по обработке огромного объема информации: в интересующей авторский коллектив области может быть выявлено много неотвеченных вопросов. «Шок» от количества исследовательских пробелов может породить замешательство относительно того, на каком из них следует сосредоточиться.
- (2) Трудность организованного поиска: некоторые исследователи могут испытывать трудности с организацией собранной информации. Можно легко потерять идеи, если они не будут должным образом зафиксированы.
- (3) Сомнения в обоснованности претензии на наличие пробела в знании: некоторые исследователи, в силу не до конца сформированной экспертности в предметной области, не обладают достаточной смелостью, чтобы оспаривать существующие знания в своей предметной области и могут колебаться в отношении идей, которые другие авторы утверждают в своих исследованиях.

Определение исследовательского пробела

Как решить, какую исследовательскую проблему следует изучать? Как обосновать ее оригинальность и инновационность? Необходимо начать с идентификации типа пробела. Исследовательские пробелы в знаниях могут классифицироваться на несколько основных типов, каждый из которых имеет свои особенности и предполагает различные подходы к исследованию (Miles, 2017; Ule et al., 2020; Ule, & Idemudia, 2018; Mueller-Bloch & Kranz, 2015):

- (1) *Теоретические пробелы* являются следствием недостаточного или отсутствующего теорети-

ческого осмысления явлений или процессов. Такие пробелы возникают, когда существующие теории не могут адекватно объяснить наблюдаемые феномены или предсказать их поведение в новых условиях. Идентификация теоретического пробела часто требует пересмотра и дополнения существующих теорий или создания новых теоретических моделей. Примером может служить отсутствие теоретической базы для понимания механизмов взаимодействия различных пищевых добавок с основными компонентами пищи, что затрудняет разработку более эффективных и безопасных продуктов питания.

- (2) *Методологические пробелы* связаны с ограничениями или отсутствием методов исследования, которые необходимы для анализа и интерпретации данных. В контексте пищевых продуктов и биотехнологий такие пробелы могут возникать, например, при анализе биоактивных компонентов, где существующие методологии не позволяют точно определить их концентрацию или активность в сложных биосистемах. Это требует разработки новых, более чувствительных и специфичных аналитических методов, которые могут адекватно адресовать поставленные вопросы.
- (3) *Эмпирические пробелы* возникают, когда имеющихся данных недостаточно для подтверждения или опровержения научных гипотез, или когда данные неоднородны или противоречивы. Эмпирический пробел требует дополнительных исследований для сбора данных, которые могут подтвердить или опровергнуть существующие теории и предположения. Примером такого пробела может быть изучение питательной ценности новых генетически модифицированных продуктов, где требуется массированный анализ данных по пищевой ценности, аллергенности и другим критическим параметрам для подтверждения их безопасности и эффективности.
- (4) *Концептуальный пробел* возникает, когда существует нехватка понимания или разногласия в интерпретации теоретических концепций, которые лежат в основе исследуемой темы. Недостаточное понимание ключевых концепций может привести к ошибкам в формулировке исследовательских вопросов и гипотез, что делает исследование менее эффективным.

- (5) *Временной пробел* отражает изменения, происходящие с течением времени, которые могут повлиять на релевантность или точность ранее проведённых исследований. Исследования могут устареть из-за новых технологий, изменений в социальных или экономических условиях, что делает необходимым проведение новых исследований.
- (6) *Пространственный пробел* связан с географическими и культурными различиями, которые могут влиять на результаты исследований. Например, исследования, проведённые в одной стране или культуре, не всегда можно экстраполировать на другие регионы или культуры без дополнительного анализа.
- (7) *Пробел, связанный с отражением запросов стейкхолдеров* связан с ситуацией, когда исследования не учитывают интересы и потребности всех релевантных заинтересованных сторон, включая политиков, общественные организации или конечных пользователей технологий или услуг. Такой пробел может привести к разработке решений, которые не полностью адресуют проблемы или потребности этих групп, что снижает социальную и практическую ценность исследований.

Распознавание и адекватная формулировка этих пробелов в знаниях критически важны для формирования научной повестки, выбора методов исследования и в итоге для достижения научных прорывов, способствующих развитию научной области и приносящих пользу обществу.

Техники идентификации исследовательских пробелов

Процесс идентификации начинается с тщательного изучения литературы и аналитической работы. На этом этапе исследователь должен критически оценить текущее состояние знаний, выявить несоответствия в данных, ограничения предыдущих исследований и потенциально нерешённые задачи.

К основным техникам определения пробела в знании относят (Robinson et al., 2011; Bolisani & Bratianu, 2015; Gaziano, 2016; Robert & Augustine, 2020):

- (1) Систематический обзор литературы: Этот метод включает тщательный анализ опу-

бликованных научных работ в выбранной области. Исследователь должен не только ознакомиться с существующими данными, но и критически оценить их, выявляя недостатки, противоречия и неисследованные аспекты. Систематический обзор позволяет создать комплексное представление о состоянии научных знаний и выделить те области, где требуется дополнительное исследование.

- (2) **Мета-анализ:** Эта техника предполагает статистический анализ данных из множества исследований для обобщения результатов и выявления общих тенденций и аномалий. Мета-анализ помогает определить, какие вопросы остались без ответа несмотря на кажущееся изобилие данных.
- (3) **Использование теоретических моделей:** Разработка и анализ теоретических моделей позволяют уточнить, какие аспекты изучаемого явления остаются недостаточно понятными. Это особенно важно в областях, где прямое эмпирическое исследование затруднительно.
- (4) **Делфи-метод:** Это метод, при котором эксперты независимо друг от друга оценивают исследовательские вопросы и перспективы, после чего их ответы анализируются на предмет согласия или различий. Делфи-метод часто используется для выявления и иерархизации исследовательских пробелов на основе экспертных мнений.
- (5) **Анализ цитирования:** Изучение того, как часто и в каком контексте цитируются определенные работы, может помочь выявить области, которые активно исследуются, и те, которые получают меньше внимания. Низкая цитируемость исследования может указывать на недооцененные или устаревшие исследовательские направления.
- (6) **Интервью и опросы среди исследователей:** Прямой диалог с исследователями, работающими в той же или смежных областях, может выявить уникальные взгляды на существующие пробелы. Эти методы особенно полезны для выявления скрытых предположений и предубеждений в текущих исследованиях.
- (7) **Патентный анализ:** Изучение зарегистрированных патентов может помочь выявить области активных технологических разработок и наметить возможные направления для будущих исследований.

Факторы, определяющие эффективность техник идентификации исследовательских пробелов

Критическое восприятие опубликованных научных статей по теме исследования

Знакомство с новыми исследованиями по теме не только поможет понять глубину разработанности проблематики, но и даст возможность сформулировать вопросы, которые могут привести к осознанию исследовательского пробела. Важно знакомиться с исследованиями, воспринимая их критически, анализируя их сквозь призму вопросов:

- (1) Каково значение этого исследования для моего исследования или восприятия всей предметной области?
- (2) Как эта статья может помочь сформулировать актуальные исследовательские вопросы?
- (3) Требуется ли аргумент автора дополнительного уточнения?
- (4) Какие вопросы или проблемы автор не затронул?
- (5) Могу ли я рассмотреть другую точку зрения?
- (6) Какие другие факторы могли повлиять на результаты?
- (7) Устарели ли методы или процедуры, используемые авторским коллективом в исследовании, или они больше не считаются действительными?
- (8) Есть ли возможность для проверки полученных авторским коллективом результатов с использованием более современного подхода?

Анализируя научные статьи, необходимо сосредоточиться на секции *Введение*, где авторы объясняют важность своей исследовательской темы и пробелы, которые они определили и стремились заполнить посредством своих исследований. Также большое значение имеет указание авторами в секции *Заключение* направлений или предложений для дальнейших исследований. Читайте метаанализы и обзорные статьи, чтобы узнать больше о развитиях и тенденциях в исследованиях за годы в области, которая вам нравится.

Аналитическое восприятие коммуникации с коллегами

Обсуждение актуальных проблем и исследовательских вопросов в конкретной предметной области с научным руководителем и коллегами, позволяет генерировать идеи для исследования. Артикуляция новых идей и понимание того, что думают и над чем работают другие, может не просто помочь определить актуальную исследовательскую область, но и выявить ошибки в подходе, которого придерживается конкретный исследователь.

Использование цифровых инструментов для поиска популярных тем или наиболее цитируемых научных статей

Чтобы ознакомиться с актуальными запросами в конкретной предметной области, можно использовать цифровые инструменты, так как они могут сэкономить время и помочь выстроить более широкую сеть в поисках исследовательского пробела. Веб-сайты, такие как *Essential Science Indicator*, которые определяют наиболее цитируемые статьи в области наряду с возникающими отраслями, влиятельными участниками научной дискуссии, публикациями и вовлеченными в исследования странами в конкретной области, могут быть чрезвычайно полезны для понимания того, какие темы общество воспринимает как важные. Инструмент *Google Trends* также позволяет локализовать популярные вопросы, связанных с конкретной исследовательской областью, что оптимизирует поиск неизученной области в контексте конкретной проблематики.

Анализ веб-сайтов топовых журналов

Веб-сайты знаковых в предметной области журналов часто включают раздел *Ключевые концепции*, где эксперты в области выделяют и комментируют центральные идеи. Знакомство с последними позволяет сгенерировать новые идеи. А публикации в таких журналах способствуют расширению фоновых знаний относительно этих идей.

Фиксация идей

Полезной практикой является фиксирование всех вопросов, которые возникают при чтении опубликованной научной литературы. При этом важно

сопоставлять вопрос с ресурсом, на котором он основан (Какая статья породила у исследователя эти вопросы — и почему?). Такой подход исключит возможность непреднамеренного плагиата.

Тщательность анализа исследовательских вопросов

Что значит каждый из сформулированных вопросов? Какие сомнения или запросы выявленный вопрос порождает? Задавали ли другие исследователи подобные вопросы и нашли ли они ответы на них? Эта практика поможет избежать дублирования уже опубликованных статей.

Уровень развития академической грамотности

Уровень развития академической грамотности играет ключевую роль в процессе выявления пробелов в существующих знаниях. Академическая грамотность включает не только умение эффективно планировать и реализовывать исследование, описывать их результаты в различных жанрах и корректно их «читать», но и способность к анализу, критическому мышлению, синтезу и оценке информации (Tikhonova et al., 2023). Эти навыки обеспечивают глубокое понимание исследуемой проблематики, что необходимо для идентификации и осмысления пробелов в существующем знании на тему.

Одной из основ академической грамотности является способность критически анализировать и оценивать существующую литературу и исследования. Она включает в себя выявление предвзятости, ошибок в логике, неполных данных или устаревших методов, которые могут указывать на потенциальные пробелы в знаниях. Продвинутое навыки исследования, такие как поиск информации, оценка источников и интеграция различных видов знаний, помогают определить, какие аспекты темы не были полностью исследованы и поняты. Развитые исследовательские навыки позволяют ученым более точно определить, где именно необходимы дополнительные исследования.

Владение аналитическими навыками позволяет исследователю эффективно разбирать сложные идеи и концепции, выявляя противоречия и недостатки в существующих теориях и исследованиях, что является ключом к обнаружению исследовательских пробелов. Способность синтезировать

информацию из разных источников и областей знания способствует формированию новых идей и подходов, которые могут выявить неочевидные пробелы в литературе.

Эффективные коммуникативные навыки, включая письменные и устные, позволяют исследователям обмениваться идеями с коллегами, обсуждать противоречивые вопросы и получать обратную связь, что может привести к выявлению новых направлений для исследований. Разработка и применение критериев для оценки качества и достоверности исследований помогают ученым определять слабые места в существующих работах, что также указывает на потенциальные пробелы в знаниях.

Таким образом, развитие академической грамотности не только повышает качество научных исследований, но и способствует развитию новых подходов и технологий в различных областях знаний (Tikhonova & Raitskaya, 2022).

Лексические сигналы о существовании пробела в знании

Лексические сигналы о существовании пробела в знании могут включать разнообразные фразы, которые указывают на недостаточность, ограниченность или отсутствие текущих знаний по теме. Вот несколько примеров таких фраз, которые часто используются в академическом письме для подчеркивания наличия пробелов:

«До сих пор мало изучено...» — указывает на недостаточность исследований в определенной области.

«Существует ограниченное понимание...» — подчеркивает недостаточную разработанность темы.

«Остаются открытыми вопросы...» — указывает на конкретные аспекты, которые еще не были полностью исследованы.

«Требуется дальнейшее исследование...» — непосредственно указывает на необходимость продолжения работы в данной области.

«Противоречивые данные предыдущих исследований требуют уточнения...» — подчеркивает необходимость новых исследований из-за наличия противоречий.

«В литературе отсутствуют данные о...» — явно указывает на пробелы в существующих исследованиях.

«Мало что известно о...» — используется для подчеркивания отсутствия достаточных знаний о каком-то аспекте.

«Неясно, как...» — выражает неопределенность и недостаток понимания механизмов или процессов.

«Тема требует более глубокого анализа...» — подчеркивает необходимость более детального рассмотрения вопроса.

«Важно дополнительно исследовать...» — указывает на специфические аспекты или области, где требуется дополнительная научная работа.

Использование таких фраз помогает четко очертить рамки текущего состояния знаний и определять направления для будущих исследований.

Этические аспекты выбора значимого пробела в существующем знании на тему

Выбор исследовательского пробела, воплощающий этические аспекты научной деятельности, является одним из ключевых моментов в процессе планирования и проведения исследований. Это решение должно быть обосновано не только стремлением к расширению научных границ и открытию новых знаний, но также учетом более широких социальных, экономических и экологических последствий (Raitskaya & Tikhonova, 2023).

Социальная значимость исследования подразумевает оценку потенциального вклада в решение актуальных проблем общества, таких как улучшение качества жизни, здоровья, образования или социальной справедливости. Исследователь должен задаться вопросом, как его работа может помочь в решении этих задач и какие этические дилеммы могут возникнуть в процессе её выполнения.

Экономическая значимость включает анализ потенциальной пользы или вреда, которые исследование может принести экономическим субъектам. Это особенно важно при исследованиях, способных повлиять на рыночные процессы, производственные технологии или экономическую политику.

Экологическая значимость исследования акцентирует внимание на его влиянии на окружающую среду. Важно анализировать, не приведёт ли исследование к деградации природных ресурсов, загрязнению окружающей среды или утрате биоразнообразия.

Исследователь обязан избегать искажения данных и предвзятости при интерпретации результатов. Научная честность — это фундаментальный принцип, который предполагает точность, прозрачность и объективность в сборе данных, их анализе и публикации результатов. Важно обеспечить, чтобы исследование не было направлено на получение заранее заданных ответов, которые могли бы быть выгодны финансирующим организациям или другим заинтересованным сторонам (Косычева & Тихонова, 2020).

Таким образом, этические аспекты выбора исследовательского пробела требуют глубокого и всестороннего подхода, который учитывает не только стремление к новизне и расширению научных границ, но и потенциальное воздействие исследования на общество, экономику и окружающую среду. Это необходимо для поддержания доверия к научному сообществу и для того, чтобы исследования приносили пользу на многих уровнях.

Заполнение выявленного пробела в знании

После идентификации пробела в существующей научной литературе по теме необходимо сообщить аудитории, как в рамках текущей статьи авторы планируют устранить этот недостаток знаний или понимания (пусть и частично). В научной статье эта информация должна подаваться максимально лаконично (1–2 предложения), например:

Следовательно, целью данного исследования было определение воздействия свинца на гепатобилиарную систему, особенно на печень и желчный пузырь с тем, чтобы....

Фразы, свидетельствующие об указании на «заполнении» пробела в знании:

«Мы проанализировали...»

«В данном исследовании мы изучили...»

«В этой статье мы сообщаем...»

Важно сохранять академический стиль изложения. Разговорных выражений, такие как *«мы посмотрели на ...»*, или *«мы проверили, что ...»*, *«мы попытались...»*, следует избегать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявление пробелов в исследуемой предметной области остаётся одним из самых значимых этапов научного исследования, задающим направление будущим усилиям учёных. Определение и осмысление этих пробелов не просто расширяет границы текущих знаний, но и способствует более глубокому пониманию сложных вопросов, которые остаются недостаточно изученными. Эффективное выявление исследовательских пробелов требует комплексного применения критического мышления, аналитических способностей и академической грамотности, а также умения синтезировать и интегрировать информацию из разнообразных источников.

Подход к выявлению пробелов в знаниях должен быть систематичным и организованным, включая тщательный обзор литературы, обсуждение с коллегами и экспертами, а также использование современных цифровых инструментов для анализа и сортировки информации. Это позволяет не только избежать дублирования усилий, но и значительно повышает вероятность того, что результаты исследования окажут значительное влияние на научное сообщество и общество в целом.

Стремление к выявлению и заполнению пробелов в знаниях поддерживает динамичное развитие научных дисциплин, стимулирует инновации и способствует формированию фундаментальных научных исследований, которые могут привести к кардинальным изменениям в технологиях, политике и практике. Именно поэтому каждый исследователь, стремящийся к достижению значимых результатов, должен уделять особое внимание процессу выявления и анализа пробелов в существующих знаниях, что станет залогом успешной научной деятельности и реального вклада в расширение границ человеческого знания.

ЛИТЕРАТУРА

- Кириллова, О.В., & Тихонова, Е.В. (2022). Критерии качества научного журнала: измерение и значимость. *Научный редактор и издатель*, 7(1), 12-27. <https://doi.org/10.24069/SEP-22-39>
- Kirillova, O.V., & Tikhonova, E.V. (2022). Journal quality criteria: Measurement and significance. *Science Editor and Publisher*, 7(1), 12-27. (In Russ.) <https://doi.org/10.24069/SEP-22-39>
- Косычева, М.А., & Тихонова, Е.В. (2020). Этика научной коммуникации как уважение к читателю. *Health, Food & Biotechnology*, 2(4), 7-11. <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i4.s101>
- Kosycheva, M.A., & Tikhonova, E.V. (2020). Ethics of scientific communication as a means of respect for readers. *Health, Food & Biotechnology*, 2(4), 7-11. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i4.s101>
- Bolisani E., & Bratianu, C. (2015). Knowledge strategy: An integrated approach for managing uncertainty. In A. Garlatti & M. Massaro (Eds.), *Proceedings of the 16th European Conference on Knowledge Management* (pp. 169-177). Academic Conferences Publishing International.
- Coker, P. R., & Macaulay, O. A. (2019). Understanding the concept of Knowledge gap and knowledge expansion: A theoretical perspective. *Researchjournal's Journal of Management*, 7(3), 1-13.
- Jacobs, R. L. (2011). Developing a research problem and purpose statement: In T. S. Rocco & T. Hatcher (Eds.), *The handbook of scholarly writing and publishing* (pp. 125-141). Jossey-Bass.
- Gaziano, C. (2016). Knowledge Gap: History and Development. In P. Rössler, C.A. Hoffner, & L. Zoonen (Eds.), *The International encyclopedia of media effects*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118783764.wbieme0041>
- Miles, J. (2017). A Taxonomy of research gaps: Identifying and defining the seven research gaps. *Research World*, 2017(62), 48-48. <https://doi.org/10.1002/rwm3.20477>
- Mueller-Bloch, Ch., & Kranz, J. (2015). A framework for rigorously identifying research gaps in qualitative literature reviews. In *Proceedings of the 36th International Conference on Information Systems*, Paper ID CIS-0072-2015.R1.ICIS.
- Raitskaya L., & Tikhonova E. (2023). Academic Integrity: Author-Related and Journal-Related Issues. *Journal of Language and Education*, 9(4), 5-10. <https://doi.org/10.17323/jle.2023.18489>
- Robert, C. P., & Augustine, M. O. (2020). Understanding the concept of knowledge gap and knowledge expansion: A theoretical perspective. *Researchjournal's Journal of Management*, 7(3), 1-13.
- Robinson, K. A., Saldanha, I. J., & McKoy, N. A. (2011). Development of a framework to identify research gaps from systematic reviews. *Journal of Clinical Epidemiology*, 64(12), 1325-1330.
- Tikhonova E., Kosycheva M., & Kasatkin P. (2023). Exploring academic culture: Unpacking its definition and structure (A systematic scoping review). *Journal of Language and Education*, 9(4), 151-162. <https://doi.org/10.17323/jle.2023.18491>
- Tikhonova, E., & Raitskaya, L. (2022). Academic development in research focus. *Journal of Language and Education*, 8(1), 5-10. <https://doi.org/10.17323/jle.2022.14122>
- Ule, P. A., & Idemudia, S. A. (2018). Knowledge gap: The magic behind knowledge expansion. *American Journal of Humanities and Social Sciences Research*, 2(11), 124-128.
- Ule, P. A., Opudu, D. O., & Nwanqkwo, A. C. (2020). Knowledge gap: A panacea for conducting research and theory building. *International Journal of Business Systems & Economics*, 13(1), 39-45.

Ферментативная активность *Acinetobacter radioresistens* при культивировании на вторичном растительном сырье

Всероссийский
научно-исследовательский институт
пищевых добавок — филиал
Федерального государственного
бюджетного научного учреждения
«Федеральный научный центр
пищевых систем им. В.М. Горбатова»
РАН, Санкт-Петербург, Российская
Федерация

Д. Д. Белова, А. А. Принцева, А. П. Непомнящий,
П. Н. Сорокоумов, Н. Ю. Шарова

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Белова Дарья Дмитриевна,
191014, Литейный проспект д. 55,
г. Санкт-Петербург, Россия
E-mail: info@vniipd.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Белова, Д.Д., Принцева, А.А., Непомнящий, А.П., Сорокоумов, П.Н., & Шарова, Н.Ю. (2024). Ферментативная активность *Acinetobacter Radioresistens* при культивировании на вторичном растительном сырье. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(1), 17-30. <https://doi.org/10.36107/spfrp.2024.1.551>

ПОСТУПИЛА: 13.12.2023

ПРИНЯТА: 15.06.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.06.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает 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.



АННОТАЦИЯ

Введение: В последние годы особое внимание уделяется снижению объема и переработке пищевых отходов. Богатый химический состав и доступность делают рапсовый жмых и соевый шрот перспективными источниками питательных веществ. Данное вторичное сырье может быть использовано для культивирования микроорганизмов с целью получения ценных биологически активных соединений и продуктов с высокой добавленной стоимостью.

Цель: Исследовать ферментативную активность бактериального изолята *Acinetobacter radioresistens* при культивировании на вторичном растительном сырье, а также проанализировать содержание сахаров и жирно-кислотный состав в процессе культивирования.

Материалы и методы: Объектами исследования являлись рапсовый жмых, соевый шрот и бактериальный изолят *Acinetobacter radioresistens*, выделенный из пшеничных отрубей. Культивирование *A. radioresistens* на вторичном растительном сырье проводили глубинным способом при гидромодуле 1:9, температуре $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$ и частотой вращения платформы шейкера 180 об/мин в течение 6 суток. Отбор проб проводили на 1, 2, 3 и 6 сут культивирования. В образцах растительно-микробной биомассы, состоящих из ферментированных образцов рапсового жмыха или соевого шрота и клеток *A. radioresistens*, определяли pH (потенциометрическим методом) и профиль жирных кислот (методом газовой хроматографии). Для определения концентрации белка (методом Лоури), протеолитической и фитазной активностей (фотоколориметрическим методом), содержания сахаров и глюкозамина (методом высокоэффективной жидкостной хроматографии) использовали супернатант, полученный после центрифугирования растительно-микробной биомассы при скорости вращения ротора 8000 об/мин в течение 20 мин.

Результаты: При культивировании *A. radioresistens* на рапсовом жмыхе в большей степени проявлялась активность щелочных протеаз. Максимальная протеолитическая активность составила $(133,71 \pm 6,69)$ ед/см³ на 1 сут культивирования. При культивировании *A. radioresistens* на соевом шроте преобладала активность нейтральных протеаз. Максимальная протеолитическая активность составила $(121,00 \pm 6,05)$ ед/см³ на 3 сут культивирования. Помимо протеолитической активности бактериальный изолят *A. radioresistens* на соевом шроте проявлял фитазную активность. В отобранных образцах культуральной жидкости содержание глюкозамина и других сахаров было выше при использовании соевого шрота в качестве субстрата. В результате анализа жирно-кислотного состава выявлены жирные кислоты с длиной алкильной цепи от C₈ до C₂₄ атомов углерода.

Выводы: Экспериментальные данные, полученные в результате культивирования *A. radioresistens* на вторичном растительном сырье, могут быть использованы для получения биологически активных соединений и кормовых продуктов для сельскохозяйственных животных, а также представляют интерес для перерабатывающей промышленности при разработке способов высокоэффективной переработки растительных отходов с помощью биотехнологических процессов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

вторичное растительное сырье, соевый шрот, рапсовый жмых, *Acinetobacter radioresistens*, ферменты, протеолитическая активность, фитазная активность

Enzymative activity of *Acinetobacter radioresistens* during cultivation on secondary plant raw materials

VNIIPK – Branch of V.M. Gorbатов
Federal Research Center for Food
Systems, Russian Federation

Daria D. Belova, Anastasia A. Printseva, Anatoly P. Nepomnyashiy,
Pavel N. Sorokoumov, Natalya Yu. Sharova

CORRESPONDENCE:

Daria Dmitrievna Belova

E-mail: info@vniipd.ru

DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

FOR CITATIONS:

Belova, D., Printseva, A., Nepomnyashiy, A., Sorokoumov, P., Sharova, N. (2024). Enzymative activity of *Acinetobacter radioresistens* during cultivation on secondary plant raw materials. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(1), 17-30.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.551>

RECEIVED: 13.12.2023

ACCEPTED: 15.03.2024

PUBLISHED: 30.03.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FUNDING

The research was conducted on the topic FGUS-2022-0003 within the framework of the state task No. 075-01190-22-00 of the VNIIP additives – a branch of the FGBNU «V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems» of the Russian Academy of Sciences.

ABSTRACT

Introduction: In recent years, there has been a strong focus on reducing and recycling food waste. The rich chemical composition and availability make rapeseed cake and soybean meal promising sources of nutrients. These secondary raw materials can be used for cultivating microorganisms to obtain valuable biologically active compounds and products with high added value.

Purpose: To study the enzymatic activity of the bacterial isolate *Acinetobacter radioresistens* when cultivated on secondary plant materials, and also to analyze the sugar content and fatty acid composition during the cultivation process.

Materials and Methods: The objects of the study were rapeseed cake, soybean meal and a bacterial isolate of *Acinetobacter radioresistens* isolated from wheat bran. Cultivation of *A. radioresistens* on secondary plant materials was carried out by deep method at a hydromodulus of 1:9, temperature (28 ± 1) °C and a shaker platform rotation speed of 180 rpm for 6 days. Sampling was carried out on days 1, 2, 3 and 6 of cultivation. In samples of plant-microbial biomass, consisting of fermented samples of rapeseed cake or soybean meal and *A. radioresistens* cells, the pH (potentiometric method) and fatty acid profile (gas chromatography method) were determined. To determine protein concentration (by the Lowry method), proteolytic and phytase activities (photocolorimetric method), sugar and glucosamine content (by high-performance liquid chromatography), we used the supernatant obtained after centrifugation of plant-microbial biomass at a rotor speed of 8000 rpm for 20 min.

Results: When *A. radioresistens* was cultivated on rapeseed cake, the activity of alkaline proteases was more pronounced. The maximum proteolytic activity was (133.71 ± 6.69) units/cm³ on day 1 of cultivation. When *A. radioresistens* was cultivated on soybean meal, the activity of neutral proteases predominated. The maximum proteolytic activity was (121.00 ± 6.05) units/cm³ on the 3rd day of cultivation. In addition to proteolytic activity, the bacterial isolate of *A. radioresistens* on soybean meal exhibited phytase activity. In the selected culture fluid samples, the content of glucosamine and other sugars was higher when soybean meal was used as a substrate. As a result of the analysis of fatty acid composition, fatty acids with an alkyl chain length from C₈ to C₂₄ carbon atoms were identified.

Conclusion: Experimental data obtained from the cultivation of *A. radioresistens* on secondary plant materials can be used to obtain biologically active compounds and feed products for farm animals, and are also of interest to the processing industry in developing methods for highly efficient processing of plant waste using biotechnological processes.

KEYWORDS

secondary plant raw materials; soybean meal; rapeseed cake; *Acinetobacter radioresistens*; enzymes; proteolytic activity; phytase activity



ВВЕДЕНИЕ

Рапсовый жмых и соевый шрот являются основными побочными продуктами маслопроизводства ежегодно образующиеся в больших количествах. Двумя традиционными методами извлечения масла из семян масличных культур являются использование шнекового пресса или растворителей. Термин «жмых» относится к побочному продукту, поступающему непосредственно из шнекового пресса, тогда как термин «шрот» используется, когда применяется дополнительный процесс обезжиривания, обычно на основе органических растворителей (Arrutia et al., 2020).

Рапсовый жмых и соевый шрот характеризуются высоким содержанием белка, клетчатки и являются природными источниками минералов, витаминов и фенольных соединений с высоким биологическим потенциалом. Помимо основного применения в качестве кормов для животных, удобрений и компоста, они представляют высокий потенциал для использования в биотехнологических процессах (Sousa et al., 2023; Soghandi et al., 2023; Sousa et al., 2023). Биотехнологическая переработка вторичного растительного сырья является одним из наиболее экономически эффективных способов переработки побочных продуктов для получения и восстановления ценных биологически активных соединений (белков, пептидов, ферментов, пигментов, фенольных соединений), представляющих экономический и промышленный интерес при одновременном получении продуктов с улучшенной питательной ценностью (Wongsirichot et al., 2022; Sadh et al., 2018; Sousa et al., 2023).

Ферменты, также известные как биокатализаторы, представляют собой биологические макромолекулы, играющие решающую роль в ускорении скорости и специфичности различных химических реакций и метаболических процессов. Промышленные ферменты имеют животное (химозин, пепсин, трипсин и панкреатин), растительное (фицин, папаин и бромелайн) и микробное происхождение (протеазы, липазы, пектиназы, амилазы, глюкоамилазы и др.). Микробные ферменты активно используются при производстве фармацевтических, косметических, моющих средств, кожи, текстиля, бумаги, биотоплива, продуктов питания, напитков и других потребительских товаров. Они обладают более высокой стабильностью и активностью

по сравнению с растительными и животными ферментами. Кроме того, микробные ферменты можно производить в большем количестве посредством процессов ферментации, они более стабильны в экстремальных условиях, экономически эффективны, легко масштабируются и оптимизируются (Thapa et al., 2019; Tatta et al., 2022). Данные свойства сделали применение микробных ферментов незаменимым биологическим инструментом в различных отраслях промышленности, а поиск новых штаммов-продуцентов ферментов актуальным направлением исследований.

Acinetobacter обширный род бактерий, состоящий из множества видов с различными характеристиками. Несмотря на то, что некоторые виды данного рода, вызывают внутрибольничные и внебольничные инфекции, особенно у людей с ослабленным иммунитетом, представители рода *Acinetobacter* обладают высоким биотехнологическим потенциалом. Он содержит множество экологически важных видов, которые обладают широким спектром метаболических возможностей, например, способны расщеплять загрязняющие вещества (углеводороды, производные аминокислот и нефть), используя их в качестве основного источника питания. Liu et al. (2020) идентифицировали и использовали для биоремедиации почв штамм *Acinetobacter radioresistens* ARH1, обладающий высокой активностью к разложению фенола. Представители рода способны к разложению фармацевтических отходов из окружающей среды (Wang et al., 2018). Применение видов *Acinetobacter* не ограничивается биodeградацией и биоремедиацией, они используются в качестве люминесцентных биорепортеров, производителей липазы, биосурфактантов, биополимеров, биодизельного топлива, участвуют при производстве лекарств, косметики и находят другое практическое применение (Dahal et al., 2023).

Переработка вторичного растительного сырья с помощью микроорганизмов является актуальным направлением исследования. Микроорганизмы оказывают влияние на углеводный и жирно-кислотный состав сырья, делая его более доступным в качестве кормового сырья, а также способствуют образованию ценных биологически активных соединений. Выделенный из пшеничных отрубей бактериальный изолят *A. radioresistens* представляет интерес как продуцент различных групп ферментов (Свердлова и соавт., 2022), не только липаз. Учи-

тывая разнообразие компонентного состава рапсового жмыха и соевого шрота, можно предположить, что они содержат, также как и пшеничные отруби, доступные для *A. radioresistens* субстраты-индукторы биосинтеза широко спектра гидролаз.

Целью данной статьи — исследование протеолитической и фитазной активности бактериального изолята *Acinetobacter radioresistens*, а также анализ содержания сахаров, в том числе аминокислотных, и жирно-кислотного состава вторичного растительного сырья в результате ферментации для установления закономерностей изменения содержания антипитательных веществ и выявления полезных соединений — потенциальных микроингредиентов пищевого и кормового назначения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования

Объектами исследования в ходе выполнения работы являлись рапсовый жмых (производитель «Рецепты Дедушки Никиты», г. Екатеринбург), соевый шрот (производитель ООО «Золотая Нива», г. Санкт-Петербург) и бактериальный изолят *Acinetobacter radioresistens*, выделенный сотрудниками ВНИИПД из пшеничных отрубей (Свердлова и соавт., 2022).

Оборудование

pH-метр pH-410 базовый (Аквилон НПҚ, Россия), спектрофотометр Shimadzu UF-1800 (Shimadzu, Япония), термостат Memmert IN75plus (Mettler, Германия), высокоэффективный жидкостной хроматограф Agilent 1260 Infinity II (Agilent, США), рефрактометрический детектор Agilent 1260 Infinity II (Agilent, США), термостат твердотельный с таймером ТТ-2 «Термит» (ДНК Технологии, Россия), газовый хроматограф Varian 450-GC (Varian, США), масс-спектрометрический детектор Varian 240-MS (Varian, США), автосэмплер Varian PAL (Varian, США), лабораторная центрифуга MPW-351 R (MPW Med. Instruments, Польша), ламинарный бокс II класса биологической безопасности ESCO Streamline®

SC2-6A1 (ESCO Streamline®, Сингапур), шейкер-инкубатор Multitron standard (INFORS HT, Швейцария), вакуумный концентратор Concentrator plus (Eppendorf, Германия).

Методы

Измерение pH

pH полученных в результате культивирования проб определяли с помощью pH-метра pH-410 базовый (Аквилон НПҚ, Россия) в комплекте с лабораторным стеклянным комбинированным электродом.

Определение концентрации белка

Для определения динамики изменения концентрации белка в процессе культивирования бактериального изолята *A. radioresistens* на рапсовом жмыхе и соевом шроте использовали метод Лоури. В основе данного метода лежит биуретовая реакция, которая позволяет выявить пептидную связь и реакция Фолина на ароматические аминокислоты. К 2 см³ полученных в результате культивирования проб на 1, 2, 3 и 6 сут добавляли 10 см³ свежеприготовленного реактива С. Полученную смесь энергично перемешивали и выдерживали 10 мин при комнатной температуре. После чего приливали 1 см³ реактива Фолина, предварительно разбавленного в два раза дистиллированной водой, тщательно перемешивали и выдерживали в темном месте в течение 30 мин для развития окраски. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре Shimadzu UF-1800 (Shimadzu, Япония) при длине волны 750 нм в кювете с толщиной проходящего слоя 10 мм. Концентрацию белка в исследуемых растворах определяли по калибровочному графику.

Определения протеолитической активности

Для определения протеолитической активности использовали модифицированный метод Ансона с применением казеината натрия по ГОСТ 20264.2-88¹. Метод основан на свойстве протеаз гидролизовать казеинат натрия до пептидов и аминокислот с последующим их определением. Казеинат натрия используется в качестве субстрата для

¹ ГОСТ 20264.2-88. (1988). *Препараты ферментные. Методы определения протеолитической активности*. М.: Государственный комитет СССР по стандартам.

протеаз и растворяется в универсальном буферном растворе с доведением pH до 5,5; 7,2 и 9,5.

Определение фитазной активности

Фитазную активность определяли фотоколориметрическим методом по ГОСТ 31487–2012². Метод основан на определении содержания неорганических фосфатов (PO_4), образующихся в результате действия фермента фитазы на субстрат — фитат натрия (натриевую соль фитиновой кислоты) — при определенных стандартных условиях, путем их связывания ванадиево-молибденовым реактивом с образованием фосфорнованадиево-молибденового комплекса желтого цвета.

Исследование на содержание сахаров и глюкозамина

Исследование на содержание сахаров и глюкозамина проводили на высокоэффективном жидкостном хроматографе Agilent 1260 Infinity II (Agilent, США) с рефрактометрическим детектором Agilent 1260 Infinity II (Agilent, США) и хроматографической колонкой Agilent Hi-Plex Ca 300×7.7 мм, размер частиц 8 мкм (Agilent, США). В качестве элюента использовалась деионизованная вода, скорость потока элюента 0,6 см³/мин, температура термостата колонки (80 ± 1) °С. Для построения градуировочной характеристики использовали стандарты сахаров и стандарт глюкозамина Sigma-Aldrich PHR1199–500MG (Sigma-Aldrich, США). Были приготовлены стандартные растворы с концентрацией сахаров и глюкозамина 10, 50, 100 и 500 мкг/см³. Для определения сахаров опытные образцы в количестве 0,500 г разбавляли в 100 раз деионизованной водой и в количестве 20 мкл вводили в хроматограф. Для определения глюкозамина опытные образцы в количестве 0,500 г упаривали досуха на вакуумном концентраторе Concentrator plus (Eppendorf, Германия). К высушенным образцам добавляли по 1 см³ 0,1 М серной кислоты. Полученную смесь нагревали в термостате ТТ-2 «Термит» (ДНК Технология, Россия) до температуры (60 ± 1) °С в течение 1,5 ч и оставляли при комнатной температуре (23 ± 2) °С на 15 часов. Полученные растворы разбавляли в 100 раз деионизованной водой и в количестве 20 мкл вводили в хроматограф.

Определение профиля жирных кислот

Определение профиля жирных кислот в образцах проводили на газовом хроматографе Varian 450-GC (Varian, США) с масс-спектрометрическим детектором Varian 240-MS (Varian, США) и капиллярной колонкой Varian WCOT fused silica 50M X 0.25MM ID Coating CP-WAX 58 (FFAP)-CB DF=0.2 (Varian, США). В качестве газа-носителя использовался гелий марки 6.0. Скорость потока газа-носителя 1 см³/мин, температура инжектора 250 °С, сплит 1:15, начало регистрации хроматограммы с 9 минуты. Температурная программа представлена в Таблице 1.

Таблица 1

Температурная программа анализа

Температура, °С	Скорость нагрева, °С/мин	Время при заданной температуре, мин	Общее время, мин
50	—	4	4
190	6	15	42,33
250	4	10	67,33

Полученные образцы в количестве 0,500 г упаривали досуха на вакуумном концентраторе Concentrator plus (Eppendorf, Германия). К упаренным образцам добавляли 600 мкл 15 % раствора серной кислоты в метаноле и 600 мкл хлороформа. Эппендорф тщательно герметизировали парафильмом и помещали в термостат ТТ-2 «Термит» (ДНК Технология, Россия) на 1 час при температуре (65 ± 1) °С. Далее пробу остужали до температуры (23 ± 2) °С, добавляли 200 мкл деионизованной воды и тщательно перемешивали. Органический слой отбирали для анализа и непосредственно вводили в хроматограф 1 мкл с помощью автосэмплера Varian PAL (Varian, США) и хроматографического шприца на 10 мкл (Hamilton, США).

Процедура исследования

Вторичное растительное сырье (рапсовый жмых или соевый шрот) смешивали с водой в соотношении 1:9 ((30 ± 1) г сырья и 270 см³ питьевой воды) в качалочных колбах Эрленмейера. Полученные растительные субстанции автоклавировали при (121 ± 1) °С в течение 30 мин для инактив-

² ГОСТ 31487–2012. (2012). *Препараты ферментные. Методы определения ферментативной активности фитазы*. М.: Стандартинформ.

вации исходной микрофлоры сырья и охлаждали до $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$.

Бактериальный изолят *A. radioresistens* предварительно выращивали в микробиологических пробирках на скошенной плотной агаризованной среде ГМФ-агар (ООО НИЦФ, Санкт-Петербург) в термостате Memmert IN75plus (Mempert, Германия) при температуре $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение 3 суток. Титр исходного инокулята составил $2,1 \times 10^7$ КОЕ/см³. Все манипуляции с бактериальным изолятом проводили в ламинарном боксе II класса биологической безопасности ESCO Streamline® SC2-6A1 (ESCO Streamline®, Сингапур).

Культивирование бактериального изолята *A. radioresistens* на вторичном растительном сырье проводили глубинным способом в шейкере-инкубаторе Multitron standard (INFORS HT, Швейцария) при температуре $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$ и частотой вращения платформы 180 об/мин в течение 6 суток. Отбор проб проводили на 1, 2, 3 и 6 сут культивирования.

В качестве контрольных образцов использовали автоклавированное вторичное растительное сырье (рапсовый жмых или соевый шрот) с водой без внесения бактериального изолята.

В образцах растительно-микробной биомассы, состоящих из ферментированных образцов рапсового жмыха или соевого шрота и клеток *A. radioresistens* определяли pH и профиль жирных кислот методом газовой хроматографии.

Для определения концентрации белка, протеолитической, фитазной активностей, содержания сахаров и глюкозамина использовали супернатант, полученный после центрифугирования растительно-микробной биомассы на лабораторной центрифуге MPW-351 R (MPW Med. Instruments, Польша) при скорости вращения ротора 8000 об/мин в течение 20 мин.

Анализ данных

Все измерения выполнены в трехкратной повторности. Математическую обработку экспериментальных данных проводили в программе Microsoft Excel 2013 и выражали в виде среднеарифметических значений $\pm$ абсолютная погрешность изме-

рения, указанная в методиках, при доверительной вероятности $P = 0,95$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

pH и концентрация белка

Богатый химический состав и доступность делают рапсовый жмых и соевый шрот перспективными источниками питательных веществ, которые могут быть использованы в качестве субстратов для культивирования микроорганизмов. Предварительная обработка растительного сырья с помощью автоклавирования, предотвращает культивирование нативной микрофлоры сырья и делает его более доступным субстратом для культивирования *A. radioresistens*. В Таблице 2 представлена динамика изменения значений pH в образцах растительно-микробной биомассы в процессе культивирования *A. radioresistens* на вторичном растительном сырье.

Таблица 2

Значения pH в образцах растительно-микробной биомассы в процессе культивирования *A. radioresistens* на вторичном растительном сырье

Продолжительность культивирования	pH, ед. pH
Рапсовый жмых	
Контроль	$5,99 \pm 0,10$
1 сут	$6,14 \pm 0,10$
2 сут	$5,98 \pm 0,10$
3 сут	$5,79 \pm 0,10$
6 сут	$5,68 \pm 0,10$
Соевый шрот	
Контроль	$6,60 \pm 0,10$
1 сут	$6,88 \pm 0,10$
2 сут	$6,81 \pm 0,10$
3 сут	$6,77 \pm 0,10$
6 сут	$6,78 \pm 0,10$

Значения кислотности растительно-микробной биомассы в процессе культивирования изменялись незначительно и характеризовались нейтральной или слабокислой средой. Максимальные значения pH зафиксированы на 1 сут культивирования и составили $(6,14 \pm 0,10)$ ед. pH для рапсового жмыха и $(6,88 \pm 0,10)$ ед. pH для соевого шрота.

Динамика изменения количества белка в культуральной жидкости в процессе культивирования бактериального изолята *A. radioresistens* на вторичном растительном сырье представлена в Таблице 3.

Таблица 3

Концентрации белка в культуральной жидкости в процессе культивирования *A. radioresistens* на вторичном растительном сырье

Продолжительность культивирования	Содержание белка, мг/см ³
<i>Рапсовый жмых</i>	
Контроль	7,08 ± 0,35
1 сут	7,62 ± 0,38
2 сут	8,78 ± 0,44
3 сут	8,93 ± 0,45
6 сут	9,46 ± 0,47
<i>Соевый шрот</i>	
Контроль	19,11 ± 0,96
1 сут	21,42 ± 1,07
2 сут	21,39 ± 1,07
3 сут	22,96 ± 1,15
6 сут	21,12 ± 1,06

В процессе культивирования *A. radioresistens* на рапсовом жмыхе концентрация белка в культуральной жидкости возрастала. При использовании в качестве субстрата соевого шрота концентрация белка возрастала до 3 сут культивирования, однако на 6 сут наблюдалось её снижение. На рапсовом жмыхе максимальная концентрация белка (9,46 ± 0,47) мг/см³ зафиксирована на 6 сут культивирования, на соевом шроте на 3 сут — (22,96 ± 1,15) мг/см³.

Для преобразования трудногидролизуемых биополимеров в доступные формы в процессе культивирования *A. radioresistens* на растительном сырье синтезируются различные виды гидролитических ферментов.

Протеолитическая и фитазная активность

Протеазы (КФ 3.4.21) представляют собой класс гидролаз, расщепляющих пептидные связи, соединяющие соседние аминокислотные остатки в молекуле белка, с образованием более коротких пептидов и аминокислот. Эти ферменты широко распростра-

нены в природе и могут быть растительного, животного и микробного происхождения. Микробные протеазы отличаются широким разнообразием и включают кислые, нейтральные и щелочные протеазы. Протеазы играют важную роль в физиологии и метаболизме всех живых организмов. Помимо очевидной роли в переваривании белков и пептидов, эти ферменты участвуют в регуляции широкого спектра физиологических процессов (Bond 2019, р. 1643–1651). Протеазы также активно используются в различных отраслях промышленности (пищевой, фармацевтической, кожевенной, биотехнологической, химической) (Song et al., 2023, 1236368; Solanki et al., 2021, 428). Более активный синтез протеолитических ферментов *A. radioresistens* зафиксирован при использовании рапсового жмыха в качестве субстрата (Таблица 4).

Таблица 4

Протеолитическая активность *A. radioresistens* в процессе культивирования на вторичном растительном сырье

Продолжительность культивирования	Протеолитическая активность, ед/см ³		
	Кислая среда, pH = 5,5	Нейтральная среда, pH = 7,2	Щелочная среда, pH = 9,5
<i>Рапсовый жмых</i>			
Контроль	17,71 ± 0,89	0	32,57 ± 1,63
1 сут	7,14 ± 0,36	4,05 ± 0,20	133,71 ± 6,69
2 сут	27,43 ± 1,37	28,62 ± 1,43	85,71 ± 4,29
3 сут	9,25 ± 0,46	120,08 ± 6,00	119,87 ± 5,99
6 сут	10,29 ± 0,51	27,43 ± 1,37	75,43 ± 3,77
<i>Соевый шрот</i>			
Контроль	0	0	18,57 ± 0,93
1 сут	3,43 ± 0,17	2,29 ± 0,11	10,29 ± 0,51
2 сут	10,29 ± 0,51	17,15 ± 0,86	5,71 ± 0,29
3 сут	17,18 ± 0,86	121,00 ± 6,05	4,27 ± 0,21
6 сут	9,26 ± 0,46	85,71 ± 4,29	20,57 ± 1,03

Максимальная протеолитическая активность (133,71 ± 6,69) ед/см³ определена на 1 сут культивирования на рапсовом жмыхе в щелочной среде, (120,08 ± 6,00) ед/см³ на 3 сут в нейтральной среде и (27,43 ± 1,37) ед/см³ на 2 сут в кислой среде. В большей степени проявлялась активность щелочных протеаз в процессе эксперимента.

При культивировании *A. radioresistens* на соевом шроте преобладала активность нейтральных протеаз. Максимальная протеолитическая активность

составила $(121,00 \pm 6,05)$ ед/см³ на 3 сут культивирования в нейтральной среде.

Полученные данные протеолитической активности находятся на уровне сопоставимом со значениями коммерческого микробного препарата «Протосубтилин» ГЗх — 70 ед/г (I группа), 120 ед/г (II группа), используемого в качестве кормовой добавки, а также превышают активность молочно-кислых кормовых добавок МКД-L (*Lactobacillus acidophilus*) — 1,0 ед/см³, МКД-S (*Streptococcus thermophilus*) — 2,5 ед/см³, МКД-B (*Bifidobacter bifidum longum*) — 2,0 ед/см³, МКД-P (*Propionobacterium acidi-propionicum*) — 7,5 ед/см³ (Ланцева и соавт., 2016) и микробного протеолитического препарата (*Bacillus subtilis*) — 26,1 ед/см³ (Анашкина и соавт., 2023).

Помимо протеолитической активности при культивировании на соевом шроте бактериальный изолят *A. radioresistens* проявлял фитазную активность (Рисунок 1).

de Oliveira Costa et al. (2018) указывают, что активность фитазы была обнаружена у эндофитных бактерий родов *Bacillus*, *Streptomyces*, *Acinetobacter* и *Rhizobium*, выделенных из семян и корней *Phaseolus vulgaris* (фасоль обыкновенная). Фитазы или мио-инозитол-гексакисфосфат-фосфогидролазы (КФ 3.1.3.8; 3.1.3.26; 3.1.3.72) могут быть животного, растительного и микробного происхождения. Особенностью данных ферментов является их способность гидролизовать фитиновую кислоту

(мио-инозитолгексакисфосфат) и фитаты (соли фитиновой кислоты), переводить в доступную форму неорганический фосфор и фосфорилированные мио-инозитолы (Gocheva et al., 2023). В связи с тем, что животные с однокамерным желудком, такие как свиньи и домашняя птица, не способны расщеплять фитиновую кислоту, содержащуюся в растительном сырье им необходимо вводить фитазу в качестве кормовых ферментов. Кроме того, фитиновая кислота действует как антипитательный фактор, хелатируя двухвалентные катионы (такие как Zn^{2+} , $Fe^{2+/3+}$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} и Cu^{2+}), белки, крахмал и липиды, тем самым предотвращая их всасывание в желудочно-кишечном тракте (Joudaki et al., 2023).

На 1 сут культивирования фитазная активность составила $(3,27 \pm 0,16)$ ед/см³, при дальнейшем культивировании данный показатель снижался до $(0,75 \pm 0,04)$ ед/см³ на 3 сут, однако, максимальная фитазная активность $(3,54 \pm 0,18)$ ед/см³ зафиксирована на 6 сут культивирования. В контрольном образце фитазная активность не наблюдалась.

Содержание сахаров и глюкозамина

В процессе культивирования бактериальной культуры происходят различные биохимические реакции для перевода высокомолекулярных соединений субстрата в более простую и доступную форму, чтобы они могли поступать в клетки для обеспечения их жизнедеятельности, роста биомассы и синтеза биологически активных соединений.

Многие виды *Acinetobacter*, в том числе *A. venetianus* RAG-1, *A. calcoaceticus* RAG-1, *A. calcoaceticus* BD4 RAG1, *A. radioresistens* KA53, *A. calcoaceticus* A2, способны продуцировать полимерные биоэмульгаторы (эмульсин, биодисперсан и аласан) моносахаридный состав углеводной части которых включает глюкозамин (Dahal et al., 2023; Pirog et al., 2021). Глюкозамин представляет собой природный аминосахарид, в котором гидроксильная группа глюкозы заменена аминогруппой. Он относится к функциональным аминосахарам и является важным компонентом гликопротеинов и протеогликанов. Глюкозамин широко используется в производстве пищевых добавок и продуктов здорового питания благодаря своим физиологическим свойствам. Он способствует снижению веса, участвует в регулиро-

Рисунок 1

Фитазная активность *A. radioresistens* в процессе культивирования на соевом шроте

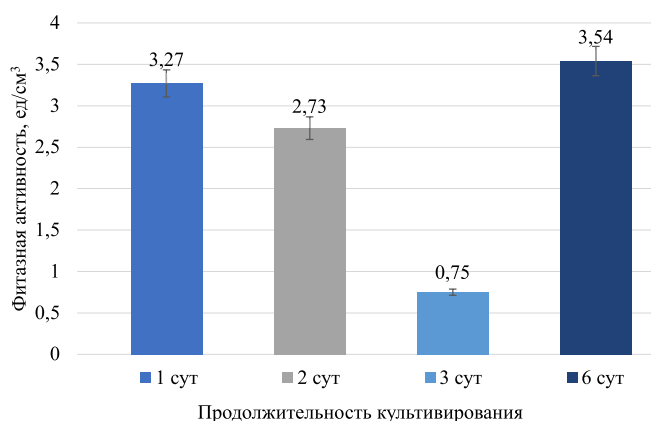


Таблица 5

Содержание сахаров и глюкозамина в культуральной жидкости в процессе культивирования *A. radioresistens* на вторичном растительном сырье

Продолжительность культивирования	Содержание, г/дм ³				
	Сахароза	Мальтоза	Глюкоза	Фруктоза	Глюкозамин
<i>Рапсовый жмых</i>					
Контроль	1,51 ± 0,08	0	2,79 ± 0,14	2,21 ± 0,11	3,30 ± 0,17
1 сут	1,77 ± 0,09	0	2,69 ± 0,13	2,77 ± 0,14	3,59 ± 0,18
2 сут	1,64 ± 0,08	0,20 ± 0,01	2,29 ± 0,11	2,52 ± 0,13	3,81 ± 0,19
3 сут	1,91 ± 0,10	0,48 ± 0,02	2,66 ± 0,13	2,79 ± 0,14	3,73 ± 0,19
6 сут	1,81 ± 0,09	0,48 ± 0,02	2,52 ± 0,13	2,66 ± 0,13	4,25 ± 0,21
<i>Соевый шрот</i>					
Контроль	2,96 ± 0,15	0,42 ± 0,02	4,13 ± 0,21	4,56 ± 0,23	10,53 ± 0,53
1 сут	2,89 ± 0,14	0,56 ± 0,03	4,02 ± 0,20	4,52 ± 0,23	11,62 ± 0,58
2 сут	2,72 ± 0,14	0,50 ± 0,03	3,79 ± 0,19	4,18 ± 0,21	10,66 ± 0,53
3 сут	2,77 ± 0,14	0,59 ± 0,03	3,86 ± 0,19	4,34 ± 0,22	11,27 ± 0,56
6 сут	2,63 ± 0,13	0,60 ± 0,03	3,66 ± 0,18	4,17 ± 0,21	10,56 ± 0,53

вание эндокринной системы человека и проявляет антиоксидантную, геропротекторную, антимикробную активности. Глюкозамин и его ацетилированное производное N-ацетилглюкозамин синтезируются во всех организмах, включая бактерии, дрожжи, нитчатые грибы, растения и животные, и активно используются в пищевой, косметической и фармацевтической промышленности. В медицине они применяются для детоксикации печени и почек, лечения остеоартрита, восстановления и поддержания хряща, уменьшения воспаления и защиты печени (Yang et al., 2023; Liu et al., 2013).

Изменение содержания сахаров и глюкозамина в культуральной жидкости в процессе культивирования *A. radioresistens* на вторичном растительном сырье представлено в Таблице 5.

Согласно полученным результатам, содержание глюкозамина и других сахаров выше при использовании соевого шрота в качестве субстрата. Максимальная концентрация глюкозамина составила (11,62 ± 0,58) г/дм³ на 1 сут культивирования, что на 10,35% выше по сравнению с контрольным образцом. При использовании рапсового жмыха максимальная концентрация глюкозамина (4,25 ± 0,21) г/дм³ зафиксирована на 6 сут культивирования, что на 28,73% выше по сравнению с контрольным образцом.

В процессе культивирования *A. radioresistens* на вторичном растительном сырье происходило накопление мальтозы. При использовании рапсового жмыха в качестве субстрата мальтоза определялась со 2 сут культивирования, на соевом шроте концентрация мальтозы увеличивалась на всех этапах культивирования по сравнению с контрольным образцом. Содержание глюкозы постепенно снижалось на обоих субстратах, с незначительным скачком на 3 сут культивирования. Содержание сахарозы и фруктозы снижалось в процессе культивирования на соевом шроте по сравнению с контрольным образцом. Обратная зависимость наблюдалась при использовании рапсового жмыха, концентрация данных сахаров возрастала по сравнению с контрольным образцом.

Профиль высших жирных кислот

В процессе работы оценивали влияние обработки бактериальным изолятом *A. radioresistens* на жирно-кислотный профиль вторичного растительного сырья. Были определены жирные кислоты с длиной алкильной цепи от C₈ до C₂₄ атомов углерода, также в процессе анализа выявлены две двухосновные предельные карбоновые кислоты — малоновая и янтарная (Таблица 6).

Таблица 6

Профиль высших жирных кислот в образцах растительно-микробной биомассы, в процессе культивирования *A. radioresistens* на вторичном растительном сырье

Наименование кислоты	Содержание жирной кислоты, %									
	Рапсовый жмых					Соевый шрот				
	контроль	1 сут	2 сут	3 сут	6 сут	контроль	1 сут	2 сут	3 сут	6 сут
Малоновая (двухосновная)	—	0,4	—	—	—	2,1	0,6	0,7	0,3	0,2
Янтарная (двухосновная)	—	1,1	—	—	—	3,5	—	1,3	0,4	0,1
<i>Насыщенные</i>										
Лауриновая (C12:0)	—	1,9	—	—	—	0,1	3,9	0,1	0,2	0,2
Миристиновая (C14:0)	0,1	—	0,4	0,5	0,5	0,6	1,7	0,7	0,8	0,7
Пентадекановая (C15:0)	—	0,3	—	—	—	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2
Пальмитиновая (C16:0)	4,3	3,9	5,6	5,7	5,3	7,9	5,1	10,7	9,2	10,8
Маргариновая (C17:0)	0,2	1,3	0,2	0,1	0,1	0,2	1,7	0,2	0,2	0,2
Стеариновая (C18:0)	3,5	12,2	2,6	2,5	2,6	8,6	14,5	9,7	10,0	13,0
Арахидоновая (C20:0)	0,4	3,4	0,8	0,7	0,7	0,5	1,2	0,5	0,5	0,6
Бегеновая (C22:0)	0,4	2,4	0,3	0,7	0,6	0,2	1,2	0,3	0,3	0,3
Трикозановая (C23:0)	—	0,4	—	—	—	0,2	0,6	0,3	0,1	0,3
Лигноцериновая (C24:0)	—	2,0	—	—	—	—	2,6	0,2	0,4	0,3
Сумма насыщенных	8,9	27,8	9,9	10,2	9,8	18,4	32,8	22,9	21,9	26,6
<i>Мононенасыщенные</i>										
Пальмитолеиновая (C16:1)	0,7	5,5	7,0	1,3	1,2	0,3	0,9	0,6	0,3	0,5
Цис-10-гептадеценовая (C17:1)	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	—	—	—	—	—
Элаидиновая (C18:1 ω 9t)	54,7	37,8	44,8	53,4	54,1	6,0	16,8	7,0	6,0	7,6
Цис-11-эйкозеновая (C20:1)	2,0	6,5	1,2	1,4	1,5	0,2	—	0,1	0,1	0,1
Эруковая (C22:1n9)	1,4	1,2	0,6	0,7	0,8	—	—	—	—	—
Ацетэруковая (C24:1)	—	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Полиненасыщенные</i>										
Гепта-2,4-диеновая (C8:2)	—	—	—	—	—	33,1	12,3	29,0	33,2	22,6
Линолеаидовая (C18:2 ω 6t)	22,1	7,7	26,4	23,5	23,5	26,8	23,3	27,7	29,5	34,3
Линоленовая (C18:3 ω 3)	10,1	10,2	10,0	9,4	9,0	9,6	13,3	10,7	8,3	8,0
Сумма ненасыщенных	91,1	70,7	90,1	89,8	90,2	76,0	66,6	75,1	77,4	73,1

Жирно-кислотный профиль исследуемого вторичного растительного сырья имеет ненасыщенный характер. Среди ненасыщенных жирных кислот максимальное содержание 54,7 % элаидиновой кислоты (C18:1 ω 9t) имеет контрольный образец рапсового жмыха. Элаидиновая кислота представляет собой транс-изомер олеиновой кислоты

и является основной трансжирной кислотой. Трансжирные кислоты оказывают негативное влияние на сердечно-сосудистые заболевания, повышают уровень холестерина липопротеинов низкой плотности, одновременно снижая уровни холестерина липопротеинов высокой плотности (Ohmori et al., 2017). Культивирование *A. radioresistens* на рапсо-

вом жмыхе способствует снижению содержания данной кислоты по сравнению с контрольным образцом. При использовании соевого шрота в качестве субстрата на 1 сут культивирования отмечено увеличение содержания элаидиновой кислоты по сравнению с контролем, однако при последующем культивировании её содержание снижалось. Также зафиксировано высокое содержание линолеиновой кислоты (C18:2 ω 6t) — 34,3 % на 6 сут и гепта-2,4-диеновой кислоты (C8:2) — 33,2 % на 3 сут культивирования *A. radioresistens* на соевом шроте.

Положительным эффектом культивирования *A. radioresistens* на рапсовом жмыхе является снижение содержания эруковой кислоты (C22:1n9). Эруковая кислота — это общее название цис-13-докозеновой жирной кислоты, которая в повышенных концентрациях содержится главным образом в растениях семейства *Brassicaceae*, включая семена рапса и горчицы (Ozdal et al., 2021). Высокое содержание эруковой кислоты ухудшает проводимость миокарда, вызывая липидоз у детей и повышение уровня холестерина в крови, может оказывать токсический эффект. Поэтому в некоторых странах действуют правила о максимальном уровне эруковой кислоты, который составляет от 2 до 5 % от общего количества жирных кислот из-за потенциального риска для здоровья населения при превышении этого уровня. Помимо этого, эруковая кислота является антипитательным веществом для сельскохозяйственных животных (Buck et al., 2022; Konuskan et al., 2019).

Линоленовая кислота (C18:3 ω 3) считается незаменимой жирной кислотой, поскольку не синтезируется организмом человека из-за отсутствия необходимых ферментов, поэтому её нужно получать из продуктов питания. Наличие более высокого содержания линоленовой кислоты (омега-3) в рационе увеличивает уровень холестерина липопротеинов высокой плотности и снижает уровень холестерина липопротеинов низкой плотности (Konuskan et al., 2019, p. 340–344). Данная кислота была обнаружена в обоих видах вторичного растительного сырья с максимальным содержанием на 1 сут культивирования *A. radioresistens*: 13,3 % на соевом шроте и 10,2 % на рапсовом жмыхе.

В обоих видах сырья было обнаружено наличие пальмитолеиновой кислоты (C16:1) и цис-11-эйкозеновой кислоты (C20:1). Пальмитолеиновая кис-

лота (пальмитолеат) представляет собой омега-7 мононенасыщенную жирную кислоту, которая вырабатывается путем липогенеза *de novo* и встречается в природных источниках. Природные источники пальмитолеата включают жирную рыбу, рыбий жир, некоторые орехи, семена и их масла. Пальмитолеат был предложен в качестве нового липокина, полученного из жировой ткани, который регулирует липогенез, действие инсулина и координирует гемостаз. Также несколько исследований показали положительное влияние пальмитолеата на факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний. Прием очищенного пальмитолеата в течение 30 дней способствует улучшению профиля липопротеинов сыворотки и уменьшению системного воспаления у взрослых с дислипидемией (Yang et al., 2019). Цис-11-эйкозеновая кислота (гондоевая кислота) мононенасыщенная омега-9 жирная кислота, которая содержится в различных растительных маслах и орехах, особенно в масле жожоба. У высших растений цис-11-эйкозеновая кислота является предшественником эруковой кислоты. Цис-11-эйкозеновая кислота имеет ряд преимуществ, например, она улучшает проникновение через кожу индометацина, который является противовоспалительным препаратом, и используется в качестве сырья для медицинского материала и увлажняющего ингредиента в косметических кремах (Barut et al., 2022).

Цис-10-гептадеценивая (C17:1) и ацетэруковая (C24:1) кислоты в количестве менее 1,5 % обнаружены при использовании рапсового жмыха в качестве субстрата.

Насыщенные жирные кислоты представлены в меньшем процентном соотношении. Максимальное значение принадлежит стеариновой кислоте (C18:0) на 1 сут культивирования *A. radioresistens* на соевом шроте (14,5 %) и на рапсовом жмыхе (12,2 %). Второе место по процентному содержанию занимает пальмитиновая кислота (C16:0). Пальмитиновая и стеариновая кислоты являются наиболее часто потребляемыми насыщенными жирными кислотами. Насыщенные жирные кислоты в целом и пальмитиновая кислота в частности вредны потому, что повышают уровень холестерина липопротеинов низкой плотности. По сравнению с пальмитиновой кислотой стеариновая кислота снижает уровень холестерина липопротеинов низкой плотности, который является хорошо известным фактором риска развития ишемической болезни сердца,

но ее влияние на другие кардиометаболические маркеры риска изучено менее подробно. Повышенный уровень циркулирующих липидов стеариновой кислоты связан со снижением артериального давления, улучшением функции сердца и снижением риска рака. Следовательно, в отличие от других насыщенных жирных кислот и вопреки общему мнению о том, что насыщенные жирные кислоты вредны, стеариновая кислота, вероятно, оказывает некоторое положительное влияние на здоровье человека. Однако, молекулярные механизмы этого процесса полностью не изучены (van Rooijen et al., 2020; Senyilmaz-Tiebe et al., 2018).

В обоих видах сырья от 0 до 4% были выявлены лауриновая (C12:0), миристиновая (C14:0), маргариновая (C17:0), арахидоновая (C20:0), бегеновая (C22:0) и лигноцериновая (C24:0) кислоты, менее 1% — пентадекановая (C15:0) и трикозановая (C23:0) кислоты.

В процессе анализа выявлены две двухосновные предельные карбоновые кислоты (малоновая и янтарная). Они содержались, в основном, в соевом шроте и их концентрация снижалась в процессе культивирования *A. radioresistens* по сравнению с контрольным образцом.

Под влиянием бактериального изолята *A. radioresistens* при использовании рапсового жмыха в качестве субстрата на 1 сут культивирования отмечен биосинтез *de novo* ряда предельных жирных кислот, таких как малоновая, янтарная, лауриновая, пентадекановая, трикозановая, лигноцериновая и одной непредельной — ацетэруковой кислоты. При использовании соевого шрота в качестве субстрата наблюдался биосинтез лигноцериновой кислоты на протяжении всего периода исследования с максимальным содержанием 2,6% на 1 сут культивирования.

По общему процентному содержанию насыщенные жирные кислоты преобладали в соевом шроте, а ненасыщенные в рапсовом жмыхе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследуемый бактериальный изолят из пшеничных отрубей *A. radioresistens* обладает способностью синтезировать гидролитические ферменты, такие как фитаза и протеиназы, специфичность действия

которых направлена на биокаталитическое расщепление соответственно фосфор- и азотсодержащих соединений. Положительным моментом является то, что выявленные уровни активностей протеаз сопоставимы с таковыми для ферментов, установленными другими исследователями, в том числе для гидролаз в составе коммерческих препаратов. Следует отметить, что представленные результаты исследований получены при культивировании изолята *A. radioresistens* на многокомпонентных субстратах, которыми являются рапсовый жмых и соевый шрот и в микробиоте которых бактерии данного вида не обнаружены. Полученные данные о фазовом характере изменения как протеолитической, так и фитазной активностей, в процессе ферментации, свидетельствуют, предположительно, об активизации окислительно-восстановительных процессов, обеспечивающих дыхание клетки и требующих синтеза оксидоредуктаз, что может тормозить накопление гидролаз для потребления субстратов. Другим возможным объяснением может быть конкурентное специфическое для изучаемых гидролаз субстратов и ингибиторов ферментативной активности за связывание с активными центрами и/или функциональными участками ферментов. Высказанные предположения требуют более детального исследования обменных процессов для установления режимов, обеспечивающих стабильное продуцирование протеиназ и фитаз изучаемым изолятом, как перспективным промышленным продуцентом востребованных гидролаз.

Интерес представляют результаты изучения состава сахаров в процессе ферментации вторичного сырья, а именно количество мальтозы и глюкозамина. Заметное количественное изменение мальтозы предполагает, что она является предпочтительным субстратом для исследуемого изолята *A. radioresistens*, как при ферментации рапсового жмыха, так и соевого шрота. Возможно, что ее ферментативная биотрансформация до глюкозы способствует в определенной мере накоплению глюкозамина, что более выражено при ферментации соевого шрота.

Жирно-кислотный состав, полученный в результате ферментации изолятом *A. radioresistens*, свидетельствует о возможности снижения содержания во вторичном сырье антипитательных веществ, в частности, эруковой кислоты, и повышения количества полезных жирных кислот. Установленные

закономерности изменения жирно-кислотного состава полезны для разработки в перспективе технологии переработки вторичного сырья в обогащенные полезными компонентами продукты, как кормового, так и пищевого назначения, при условии предварительной оценки их безопасности.

Экспериментальные данные, полученные в результате культивирования *A. radioresistens* на вторичном растительном сырье, могут быть использованы для получения биологически активных соединений и кормовых продуктов для сельскохозяйственных животных. Также данные исследования представляют интерес для перерабатывающей промышленности при разработке способов высокоэффективной переработки растительных отходов с помощью биотехнологических процессов.

Дальнейшая работа направлена на расширение способов использования вторичных растительных отходов в качестве субстратов для промышленных продуцентов биологически активных соединений

и подбор параметров обработки сырья для увеличения выхода целевого продукта.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Белова Дарья Дмитриевна: анализ литературных источников и подготовка статьи.

Принцева Анастасия Андреевна: проведение исследований.

Непомнящий Анатолий Павлович: проведение исследований.

Сорокоумов Павел Николаевич: проведение исследований.

Шарова Наталья Юрьевна: руководитель исследования, концептуализация, методология, редактирование статьи.

ЛИТЕРАТУРА

- Анашкина, И. И., Кравцова, Е. В., & Портнова, А. В. (2023). Получение микробных протеолитических препаратов для переработки отходов зернового производства. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. *Химическая технология и биотехнология*, (2), 64-80.
- Anashkina, I. I., Kravtsova, E. V., & Portnova, A. V. (2023). Obtaining microbial proteolytic preparations for processing grain production waste. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Chemical Technology and Biotechnology*, (2), 64-80. (In Russ.)
- Ланцева, Н. Н., Смирнов, П. Н., Швыдков, А. Н., Рябуха, Л. А., Усова, Т. В., & Мартыщенко, А. Е. (2016). Сравнительная биологическая характеристика МКД разных серий, приготовленных к использованию в бройлерном птицеводстве. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет), 4(41), 40-47.
- Lantseva, N. N., Smirnov, P. N., Shvydkov, A. N., Ryabukha, L. A., Usova, T. V., & Martyschenko, A. E. (2016). Comparative biological characteristics of mixed fodder granules of different series prepared for use in broiler farming. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 4(41), 40-47. (In Russ.)
- Свердлова, О. П., Шарова, Н. Ю., Причеп, А. О., Лоскутов, С. И., & Принцева, А. А. (2022). Идентификация аборигенной микрофлоры пшеничных отрубей: бактериальные изоляты — потенциальные промышленные продуценты. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 78-92. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.294>
- Sverdlova, O. P., Sharova, N. Yu., Prichepa, A. O., Loskutov, S. I., & Printseva, A. A. (2022). Identification of indigenous microflora of wheat bran: bacterial isolates — Potential industrial producers. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 78-92. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.294>
- Arrutia, F., Binner, E., Williams, P., & Waldron, K. W. (2020). Oilseeds beyond oil: Press cakes and meals supplying global protein requirements. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 88-102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.044>
- Barut, M., Tansi, L. S., Diraz-Yildirim, E., & Karaman, S. (2022). Seed and fruit fatty acid compositions of *Crambe orientalis* and *Crambe tataria* oils collected from three different provinces in Turkey. *Journal of Agriculture and Nature*, 25(Suppl 2), 452-461. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdogavi.1004020>
- Bond, J. S. (2019). Proteases: History, discovery, and roles in health and disease. *Journal of Biological Chemistry*, 294(5), 1643-1651. <https://doi.org/10.1074/jbc.TM118.004156>
- Buck, S. P., Pegg, R. B., & Tyl, C. (2022). Oxidative stability of oil obtained from a low-erucic acid pennycress (*Thlaspi arvense* L.) mutant with potential for food use. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 124(7), 2200053. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202200053>
- Dahal, U., Paul, K., & Gupta, S. (2023). The multifaceted genus *Acinetobacter*: From infection to bioremediation. *Journal of Applied Microbiology*, 134(8), 1-18. <https://doi.org/10.1093/jambio/lxad145>

- de Oliveira Costa, L. E., Ribeiro Corrêa, T. L., Teixeira, J. A., de Araújo, E. F., & de Queiroz, M. V. (2018). Endophytic bacteria isolated from *Phaseolus vulgaris* produce phytases with potential for biotechnology application. *Brazilian Journal of Biological Sciences*, 5(11), 657-671. <https://doi.org/10.21472/bjbs.051105>
- Gocheva, Y., Engibarov, S., Lazarkevich, I., & Eneva, R. (2023). Phytases — Types, sources, and factors affecting their activity. *Acta Microbiologica Bulgarica*, 39(3), 249-263. <https://doi.org/10.59393/amb23390305>
- Joudaki, H., Aria, N., Moravej, R., Yazdi, M. R., Emami-Karvani, Z., & Hamblin, M. R. (2023). Microbial phytases: Properties and applications in the food industry. *Current Microbiology*, 80, 374. <https://doi.org/10.1007/s00284-023-03471-1>
- Konuskan, D. B., Arslan, M., & Oksuz, A. (2019). Physicochemical properties of cold pressed sunflower, peanut, rapeseed, mustard and olive oils grown in the Eastern Mediterranean region. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(2), 340-344. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.04.005>
- Liu, L., Liu, Y., Shin, H.-d., Chen, R., Li, J., Du, G., & Chen, J. (2013). Microbial production of glucosamine and N-acetylglucosamine: Advances and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97, 6149-6158. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-4995-6>
- Liu, Y., Wang, W., Shah, S. B., Zanolli, G., Xu, P., & Tang H. (2020). Phenol biodegradation by *Acinetobacter radioresistens* APH1 and its application in soil bioremediation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(1), 427-437. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10271-w>
- Ohmori, H., Fujii, K., Kadochi, Y., Mori, S., Nishiguchi, Y., Fujiwara, R., Kishi, S., Sasaki, T., & Kuniyasu, H. (2017). Elaidic acid, a trans-fatty acid, enhances the metastasis of colorectal cancer cells. *Pathobiology*, 84(3), 144-151. <https://doi.org/10.1159/000449205>
- Ozdal, T., & Omeroglu, P. Y. (2021). Investigation of fatty acid composition including trans fatty acids and erucic acid in selected salty snack foods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(10), e15791. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15791>
- Pirog, T. P., Lutsai, D. A., & Muchnyk, F. V. (2021). Biotechnological potential of the *Acinetobacter* genus bacteria. *Mikrobiolohichnyi Zhurnal*, 83(3), 92-109. <https://doi.org/10.15407/microbiolj83.03.092>
- Sadh, P. K., Kumar, S., Chawla, P., & Duhan, J. S. (2018). Fermentation: A boon for production of bioactive compounds by processing of food industries wastes (by-products). *Molecules*, 23(10), 2560. <https://doi.org/10.3390/molecules23102560>
- Senyilmaz-Tiebe, D., Pfaff, D. H., Virtue, S., Schwarz, K. V., Fleming, T., Altamura, S., Muckenthaler, M. U., Okun, J. G., Vidal-Puig, A., Nawroth, P., & Teleanu, A. A. (2018). Dietary stearic acid regulates mitochondria in vivo in humans. *Nature Communications*, 9, 3129. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05614-6>
- Soghandi, B., & Salimi, F. (2023). Study on amendment of rapeseed meal, soybean meal, and NPK fertilizer as biostimulants in bioremediation of diesel-contaminated soil by autochthonous microorganisms. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 1-21. <https://doi.org/10.1080/15320383.2023.2211676>
- Solanki, P., Putatunda, C., Kumar, A., Bhatia, R., & Walia, A. (2021). Microbial proteases: Ubiquitous enzymes with innumerable uses. *Biotech*, 11, 428. <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02928-z>
- Song, P., Zhang, X., Wang, S., Xu, W., Wang, F., Fu, R., & Wei, F. (2023). Microbial proteases and their applications. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1236368. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1236368>
- Sousa, D., Salgado, J. M., Cambra-López, M., Dias, A., & Belo, I. (2023). Biotechnological valorization of oilseed cakes: Substrate optimization by simplex centroid mixture design and scale-up to tray bioreactor. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 17(1), 121-134. <https://doi.org/10.1002/bbb.2428>
- Sousa, D., Salgado, J. M., Cambra-López, M., Dias, A., & Belo, I. (2023). Bioprocessing of oilseed cakes by fungi consortia: Impact of enzymes produced on antioxidants release. *Journal of Biotechnology*, 364, 5-12. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2023.01.008>
- Sousa, D., Simões, L., Oliveira, R., Salgado, J. M., Cambra-López, M., Belo, I., & Dias, A. (2023). Evaluation of biotechnological processing through solid-state fermentation of oilseed cakes on extracts bioactive potential. *Biotechnology Letters*, 45, 1293-1307. <https://doi.org/10.1007/s10529-023-03417-4>
- Tatta, E. R., Imchen, M., Moopantakath, J., & Kumavath, R. (2022). Bioprospecting of microbial enzymes: current trends in industry and healthcare. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 106, 1813-1835. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11859-5>
- Thapa, S., Li, H., OHair, J., Bhatti, S., Chen, F.- C., Nasr, K. A., Johnson, T., & Zhou, S. (2019). Biochemical characteristics of microbial enzymes and their significance from industrial perspectives. *Molecular Biotechnology*, 61, 579-601. <https://doi.org/10.1007/s12033-019-00187-1>
- van Rooijen, M. A., & Mensink, R. P. (2020). Palmitic acid versus stearic acid: Effects of interesterification and intakes on cardiometabolic risk markers — A systematic review. *Nutrients*, 12(3), 615. <https://doi.org/10.3390/nu12030615>
- Wang, S., Hu, Y., & Wang, J. (2018). Biodegradation of typical pharmaceutical compounds by a novel strain *Acinetobacter* sp. *Journal of Environmental Management*, 217, 240-246. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.096>
- Wongsirichot, P., Gonzalez-Miquel, M., & Winterburn, J. (2022). Recent advances in rapeseed meal as alternative feedstock for industrial biotechnology. *Biochemical Engineering Journal*, 180, 108373. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2022.108373>
- Yang, Y., Wang, J., Yao, M., Li, X., Lu, X., He, J., Zhang, H., Tian, B., & Zhou, J. (2023). An update on the review of microbial synthesis of glucosamine and N-acetylglucosamine. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39, 93. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03531-5>
- Yang, Z. -H., Pryor, M., Noguchi, A., Sampson, M., Johnson, B., Pryor, M., Donkor, K., Amar, M., & Remaley, A. T. (2019). Dietary palmitoleic acid attenuates atherosclerosis progression and hyperlipidemia in low-density lipoprotein receptor-deficient mice. *Molecular Nutrition & Food Research*, 63(12), 1900120. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201900120>

Особенности производства и усвоения белков растительного и животного происхождения: обзор предметного поля

¹ Университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Российская
Федерация

² Институт химии твердого тела
и механохимии СО РАН,
г. Новосибирск, Российская
Федерация

³ Новосибирский государственный
технический университет,
г. Новосибирск, Российская
Федерация

Е. С. Бычкова¹, Е. М. Подгорбунских², П. В. Кудачева³,
Н. Б. Еремеева¹

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Бычкова Елена Сергеевна,
E-mail: esbychkova@itmo.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Бычкова, Е.С., Подгорбунских, Е.М.,
Кудачев, П.В., & Еремеева, Н.Б. (2024).
Особенности производства и усвоения
белков растительного и животного
происхождения: обзор предметного
поля. *Хранение и переработка сельхоз-
сырья*, 32(1), 31-52.
[https://doi.org/10.36107/
spfrp.2021.1.473](https://doi.org/10.36107/spfrp.2021.1.473)

ПОСТУПИЛА: 05.09.2023

ПРИНЯТА: 15.03.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии
конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Обзор литературы по особенностям
производства и усвоения белков
растительного происхождения
был выполнен при финансовой
поддержки Российского научного
фонда (проект № 23-26-00056).
Обзор литературы по особенностям
производства и усвоения белков
животного происхождения был
выполнен при финансовой поддержке
государственного задания Института
химии твердого тела и механохимии
СО РАН (проект № 121032500067-9).

АННОТАЦИЯ

Введение: Ключевым аспектом обеспечения качественного питания является оптимальное соотношение и количественное содержание нутриентов. Белок занимает центральное место в суточном рационе человека. Анализ текущего состояния и перспектив комплексной переработки высокобелкового растительного сырья с целью повышения его биологической ценности представляет собой важную научную и общественную задачу.

Цель: Критическое осмысление, систематизация и обобщение особенностей существующей переработки растительного белка для повышения его биологической ценности.

Материалы и методы: Для анализа текущего состояния производства сырья животного и растительного происхождения был проведен обзор научных публикаций и электронных ресурсов. Исследование охватывает период с 1996 по 2023 годы. Поиск релевантной литературы осуществлялся через научные базы данных, такие как Scopus, Web of Science и РИНЦ, а также с использованием системы Google Scholar. Исследование включало работы, опубликованные на русском и английском языках. Для систематизации обзора литературы использовался протокол PRISMA.

Результаты: Производство белка животного происхождения оказывает заметное экологическое воздействие из-за значительных негативных последствий для окружающей среды. Несмотря на высокие качественные характеристики животного белка, мировое сообщество стремится к минимизации его потребления путём частичной замены на растительные источники белка. Разработка пищевых продуктов на основе растительного белка связана с рядом проблем, в частности, с биосинтезом белка в организме и спецификой пищевых привычек населения. Растительный белок, в сравнении с животным, уступает по аминокислотному профилю и имеет более низкую биодоступность из-за содержания антипитательных веществ. Для улучшения его характеристик применяются различные методы обработки растительного сырья, направленные на нейтрализацию негативного влияния сопутствующих компонентов, включая химические и физические методы воздействия, концентрирование и изоляцию белков. Перед научным сообществом стоит задача разработки оптимальных методов переработки растительного сырья для повышения эффективности усвоения белков, с учетом особенностей пищевой базы и механизмов усвоения белка в организме человека.

Выводы: Применение различных способов обработки высокобелкового растительного сырья позволяют повысить доступность белковых компонентов в пищеварительной системе человека. Биологическую ценность растительного белка можно регулировать комбинированием сырья с разным аминокислотным составом. Многообразие факторов, влияющих на усвоения белковой пищи, диктуют мировому обществу использование комплексного подхода к производству новых высокобелковых продуктов питания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

растительный белок, растительное сырье, белок животного происхождения



Features of Production and Digestion of Plant- and Animal-Derived Proteins: A Scoping Review

¹ ITMO University, Saint Petersburg, Russian Federation

² Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

³ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

Elena S. Bychkova¹, Ekaterina M. Podgorbunskikh², Polina V. Kudacheva³, Natalya B. Ereemeeva¹

CORRESPONDENCE:

Elena Sergeyevna Bychkova
E-mail: esbychkova@itmo.ru

DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

FOR CITATIONS:

Bychkova, E., Podgorbunskikh, E., Kudacheva, P., & Ereemeeva, N. (2024). Features of production and digestion of plant- and animal-derived proteins: A scoping review. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(1), 31-52. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.1.473>

RECEIVED: 05.09.2023

ACCEPTED: 15.03.2024

PUBLISHED: 30.03.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FUNDING

A literature review on the features of production and assimilation of plant-based proteins was conducted with financial support from the Russian Science Foundation (project No. 23-26-00056). A literature review on the features of production and assimilation of animal-based proteins was conducted with financial support from the state assignment of the Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS (project No. 121032500067-9).

ABSTRACT

Background: A crucial aspect of ensuring quality nutrition is the optimal ratio and quantitative content of nutrients. Protein plays a central role in a person's daily diet. Analyzing the current state and prospects of comprehensive processing of high-protein plant materials to enhance their biological value represents a significant scientific and societal challenge.

Purpose: To critically understand, systematize, and summarize the characteristics of existing processing of plant protein to enhance its biological value.

Materials and Methods: An overview of scientific publications and electronic resources was conducted to analyze the current state of production of animal and plant-based raw materials. The research covers the period from 1996 to 2023. The search for relevant literature was carried out through scientific databases such as Scopus, Web of Science, and PИHЦ, as well as using the Google Scholar system. The study included works published in Russian and English. The PRISMA protocol was used to systematize the literature review.

Results: The production of animal-derived protein has a noticeable environmental impact due to significant negative consequences for the environment. Despite the high-quality characteristics of animal protein, the global community aims to minimize its consumption by partially replacing it with plant-based protein sources. The development of food products based on plant protein is associated with several challenges, particularly with protein biosynthesis in the body and the specifics of dietary culture among the population. Compared to animal protein, plant protein has an inferior amino acid profile and lower bioavailability due to the presence of antinutritional factors. Various methods of processing plant raw materials are applied to improve its characteristics, aimed at neutralizing the negative impact of accompanying substances, including chemical and physical methods of impact, concentration, and protein isolation. The scientific community faces the task of developing optimal methods for processing plant raw materials to enhance the efficiency of protein absorption, taking into account the specifics of the dietary base and protein absorption mechanisms in the human body.

Conclusion: The application of various methods of processing high-protein plant raw materials can enhance the availability of protein components in the human digestive system. The biological value of plant protein can be regulated by combining raw materials with different amino acid compositions. The variety of factors affecting the absorption of protein foods dictates a comprehensive approach to the production of new high-protein food products by the global community.

KEYWORDS

plant protein; plant raw materials; animal-derived protein



ВВЕДЕНИЕ

Качественное питание является фундаментальным фактором для поддержания жизнедеятельности человека. Здоровье организма определяется сбалансированным поступлением макро- и микронутриентов. Белок, как один из ключевых макронутриентов, играет важную роль в метаболических процессах. Эффективность усвоения белка зависит от множества факторов, включая происхождение сырья, характеристики пищевой основы, индивидуальные особенности организма и методы технологической обработки (Bai et al., 2016; Ding et al., 2022; Małeckı et al., 2021).

Производство белка животного происхождения связано с отрицательным воздействием на окружающую среду (Espinosa-Marrón et al., 2022). Тем не менее, его диетическая ценность высока благодаря содержанию всех необходимых аминокислот в оптимальных пропорциях и значительному вкладу в метаболизм (Ahmad et al., 2018; Juárez et al., 2022). В современных условиях все большее значение приобретает использование растительных источников белка (Антипова и соавт., 2015; Cellura et al., 2022), которые оказывают меньшее воздействие на окружающую среду и способствуют улучшению здоровья (Reijnders & Soret, 2003). Однако биодоступность аминокислот в растительных белках и их усвоение значительно ниже, чем в животных белках (Fernandes et al., 2010; Neji et al., 2022; Ohanenye et al., 2020).

Данный обзор был написан с целью изучения влияния производства растительного и животного белка на окружающую среду, а также анализа текущего состояния и перспектив комплексной переработки высокобелкового растительного сырья для обоснования дальнейших шагов по его эффективному использованию в пищевой промышленности.

Цель данного обзора состоит в комплексном анализе проблематики воспроизводства высокобелкового сырья и исследовании процессов переработки для получения легкоусвояемых пищевых компонентов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Базы данных и временные рамки

Обобщены и систематизированы данные по результатам исследований с 1996 по 2023 гг. Поиск источников осуществлялся в базах данных Scopus, Web of Science и РИНЦ, поисковой системе Google.

Критерии включения/исключения источников

Отбор источников для анализа реализовался по следующим ключевым словам: «растительный белок», «животный белок», «альтернативные источники белка», «антипитательные компоненты», «технологическая переработка растительного сырья», «экологические аспекты производства белка», «безопасность продуктов питания», «пищевая ценность», «plant protein», «animal protein», «alternative sources of protein», «anti-nutritional components», «technological processing of plant raw materials».

Критерии включения

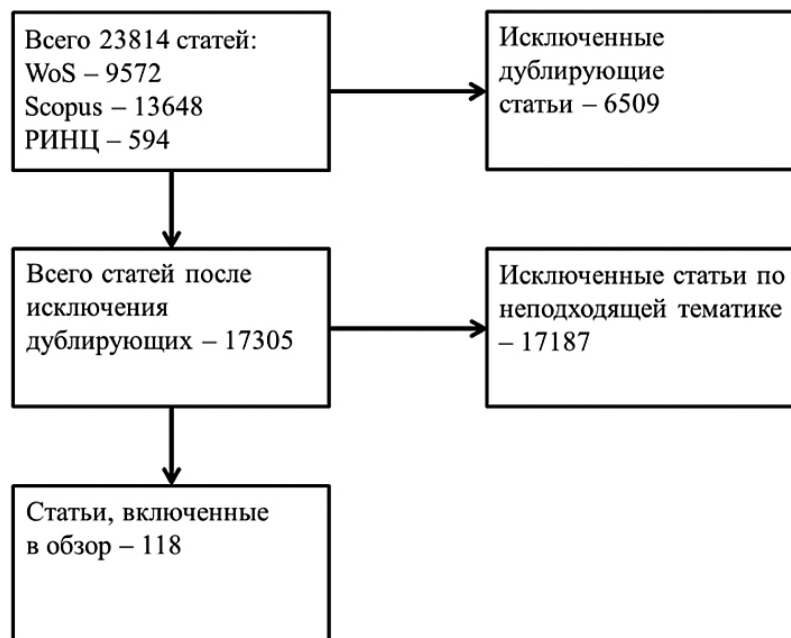
- (1) Источник датируется периодом с 1996 по 2023 гг.;
- (2) Статья соответствует теме выбранного исследования и затрагивает: области воздействия белка растительного и животного происхождения на здоровье человека; экологические проблемы производства белков растительного и животного происхождения; аспекты влияния сопутствующих факторов питания на усвоение белка животного и растительного происхождения; особенности физико-химических способов воздействия на растительный белок для повышения его биологической ценности;
- (3) Язык источника — русский или английский;
- (4) Жанр источника: оригинальная исследовательская статья, обзорная статья, книга, официальный сайт организации, нормативная документация.

Критерии исключения:

- (1) Источник не соответствует теме данного обзора;
- (2) Язык источника — не русский и английский;
- (3) Жанр источника — не соответствует указанным в критериях включения.

Рисунок 1

Блок-схема, описывающая процесс выбора материалов для исследования, в соответствии с протоколом PRISMA



Если из разных баз данных или разных электронных библиотечных систем были извлечены повторяющиеся источники, их классифицировали только один раз.

В результате отобраны 127 источника (оригинальных исследовательских статей — 61, обзорных статей — 57, книг — 5, интернет-источников — 4). Результаты анализа были представлены в виде таблиц и диаграмм для визуализации данных. Для обзора предметного поля проведенного исследования использовали протокол PRISMA (Рисунок 1).

Извлечение и анализ данных

В рамках поиска ответов на поставленные вопросы исследования были изучены 127 отобранных источников. Из них были извлечены данные (касающиеся таких тем, как воздействие белка растительного и животного происхождения на здоровье человека, экологические проблемы производства белков растительного и животного происхождения, аспекты влияния сопутствующих факторов питания на усвоение белка животного и растительного происхождения, особенности физико-химических способов воздействия на растительный белок для повышения его биологической ценности) и подвергнуты последующему анализу. Примеры извлечения данных из статей, включенных в обзор, представлены в Таблице 1.

Таблица 1
Примеры извлечения данных из статей, включенных в обзор

№	Заглавие	Автор и год	Экологические проблемы производства белков растительного и животного происхождения	Сведения о способах обработки высокобелкового растительного сырья для нивелирования антипитательных свойств	Усвояемость высокобелкового растительного и животного сырья	Влияние продуктов животного происхождения на состояние здоровья	Влияние производства растительного и животного сырья на экологическое состояние окружающей среды	Обеспокоенность мирового общества выбросами парниковых газов
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	The impacts of dietary change on greenhouse gas emissions, land use, water use, and health: a systematic review	Aleksandrowicz, L., Green, R., Joy, E.J., Smith, P., & Haines, A. (2016)	Efforts to reduce dietary-related environmental impacts should focus on reducing animal-based foods in high-consuming societies.	–	–	–	–	–
2	Impact of processing on nutritional and antinutritional factors of legumes: A review	Abbas, Y., & Ahmad, A. (2018)	–	Addition of salt in water-provide improved outcome as the legumes soaked in sodium bicarbonate solution reduced trypsin inhibitor and eliminates tannin contents in bean. These heat treatments improved the nutritional value and quality of legume grains so that the heat treatments are used to enhance the protein quality of legume grains by inactivating the antinutrients factors, mainly the trypsin inhibitor and hemagglutinins. Extrusion was the best method to eliminate trypsin, chymotrypsin, α-amylase inhibitors and hemagglutinin activity without modifying protein content. The germinated seeds found enhanced protein digestibility while reduced antinutritional factors such as trypsin inhibitors, phytic acid (Ahmed et al., 1995; Khalil and Mansour 1995) starch and raffinose (Mubarak 2005) that's why germinated legumes found better than un-germinated ones.	Phytate has negative impact on the bioavailability of minerals usually divalent and trivalent ions of minerals such as Zn, Mg, Ca, Cu and Mn.			

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Germination as a bioprocess for enhancing the quality and nutritional prospects of legume proteins	Ohanenye, I. C., Tsopmo, A., Ejike, C. E. C., & Udenigwe, C. C. (2020)	–	–	The digestibility of legume proteins is low relative to that of animal proteins. Major contributing factors to this feature are related to protein structure and functionality (e.g. relative solubility), compartmentalization (intracellular organization in discrete protein bodies), permeability of cell walls, and the protective seed coat. Legume seeds are rich sources of dietary proteins for meeting human protein needs. However, the bioaccessibility of these proteins is hampered by the interaction of the proteins with other components of the seed matrix. Thus, improvement of protein digestibility is dependent on the hydrolysis of the indigestible proteins, deactivation of protease inhibitors, and improvement of protein solubility. Germination, a natural phenomenon in seed regeneration improves the total protein content of seeds.	–	–	–
4	Nutritional composition of meat nutritional composition of meat	Ahmad, R.S., Imran, A., & Husain, M.B. (2018)	–	–	Although, few epidemiological studies have also pointed a possible relationship between its consumption and the elevated risks of having cardiovascular diseases, various forms of cancers and metabolic disorders but still its role in the human species evolution, specifically in its brain and intellectual development cannot be ignored. From the nutritional point of view, meat is considered as a rich essential amino acids source whereas, mineral contents to a lesser extent.	–	–	–

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	FAO (2017). The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome.					Excess consumption of processed meat and red meat are linked to increased risk of death from heart disease, diabetes or other illnesses. At the same time, meat provides high-quality protein and a variety of micronutrients, such as iron, vitamin A, iodine and zinc, many of which are difficult to obtain in adequate quantities from foods of plant origin. Vitamin B12 is only found in animal source foods. These nutrients are essential for a healthy immune system, which is needed to fight off infections. When addressing dietary patterns, the health risks and benefits of animal-source foods need to be balanced.	Increasing evidence suggests that dietary patterns that have low environmental impacts can be consistent with good health (FAO and Food Climate Research Network, 2016). National dietary guidelines recommending lower red meat consumption, particularly among heavy consumers, could help reduce GHG emissions significantly. Climate change is expected to also have direct impacts on food quality and nutrition. For example, the elevated levels of carbon dioxide in the atmosphere that are likely by 2050 are associated with substantial declines in the zinc, iron and protein content of wheat, rice, field peas and soybeans (FAO, 2016c). In addition, the higher temperatures and more extreme weather events associated with climate change create favourable environments for food- and water-borne pathogens.	–
6	https://www.ipcc.ch/sr15/					–	Overall, there is high agreement that farm strategies that integrate mixed crop–livestock systems can improve farm productivity and have positive sustainability outcomes (Havet et al., 2014; Thornton and Herrero, 2014; Herrero et al., 2015; Weindl et al., 2015). Shifting towards mixed crop–livestock systems is estimated to reduce agricultural adaptation costs to 0.3 % of total production costs while abating deforestation by 76 Mha globally.	–

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	https://sdgs.un- .org/2030agenda			–	–	–	–	We acknowledge that the UNFCCC is the primary international, intergovernmental forum for negotiating the global response to climate change. We are determined to address decisively the threat posed by climate change and environmental degradation. The global nature of climate change calls for the widest possible international cooperation aimed at accelerating the reduction of global greenhouse gas emissions and addressing adaptation to the adverse impacts of climate change. We note with grave concern the significant gap between the aggregate effect of Parties' mitigation pledges in terms of global annual emissions of greenhouse gases by 2020 and aggregate emission pathways consistent with having a likely chance of holding the increase in global average temperature below 2 °C or 1.5 °C above pre-industrial levels.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Экологические аспекты производства и безопасности продуктов растительного и животного происхождения

Проблема устойчивого развития с каждым годом все больше беспокоит мировое сообщество. Главными задачами в данном направлении является искоренение голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания при одновременном снижении воздействия на окружающую среду¹. Решение обозначенных проблем требует системного научного подхода специалистов разных направлений. Негативные экологические последствия производства продуктов животного происхождения становятся все более заметными и вызывают беспокойство. Наиболее ощутимые индикаторы² воздействия на окружающую среду сводятся к показателям, представленным на Рисунке 2.

В настоящее время на планете проживает более 7 миллиардов человек, и, согласно прогнозам, к 2050 году количество населяющих планету достигнет 9,6 миллиарда. Предполагается, что рост населения и рост дохода на душу населения в странах с низким уровнем дохода приведут к увеличению спроса на продовольствие³ на 48,6 %. В связи с необходимостью роста производительности продуктов питания пропорционально повышается нагрузка на окружающую среду. Необходимым является

принятие комплекса конструктивных мер, с одной стороны, оказывающих менее пагубное влияние на экологическую ситуацию и, с другой стороны, на ликвидацию прогрессирующего голода.

В современной практике реализуются многочисленные стратегии для усовершенствования производства белковых продуктов. В контексте изучения животноводства можно выделить несколько ключевых направлений:

- (1) Модификация диеты животных с целью повышения эффективности их питания (Айтимова, 2020; Kobylatsky et al., 2020).
- (2) Стимулирование повышения уровня продуктивности у животных (Parr et al., 2016; Thornton, 2019).
- (3) Сокращение использования в кормах компонентов, конкурирующих за ресурсы с продовольственными нуждами человека (Forte et al., 2023; Makkar, 2018).

18 % глобальных антропогенных выбросов парниковых газов приходится на животноводство (Capper & Cady, 2019). Снижение выделения парниковых газов можно достичь путем модификации рациона кормления животных. Например, перевод крупного рогатого скота на овес вместо ячменя может привести к снижению выброса метана на 7–9 % (Комлацкий, 2022). Кормовые добавки с эфирными маслами, травами и пряностями могут связывать белок, повышая эффективность его использования при одновременном снижении выбросов вредных газов. Продемонстрирован положительный эф-

Рисунок 2

Экологические последствия от производства продуктов животного происхождения



Примечание. Составлено с опорой на исследования Nelson et al. (2016); Theurl et al. (2020); Willett et al. (2019); Dasgupta (2021).

¹ United Nations (2015). *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. Retrieved from <https://sdgs.un.org/2030agenda>

² Global Warming of 1.5 °C. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

³ FAO (2017). *The future of food and agriculture — Trends and challenges*. Rome.

фект от введения в корм экстракта эвкалипта для выпаивания телят. Добавление в рацион крупного рогатого скота водорослей *Asparagopsis taxiformis* приводит к снижению выбросов метана на 82 % без изменения вкуса молока (Комлацкий, 2022).

В глобальном масштабе около 20 % животного белка утрачивается из-за болезней животных, что ставит перед аграрными производителями важную задачу по обеспечению их здоровья. Существует ряд эффективных профилактических и терапевтических мер против различных патологий, однако их широкое внедрение ограничено экономическими, инфраструктурными, регуляторными и политическими барьерами. Потенциал для повышения производительности в отраслях мясного и молочного скотоводства существует через адаптацию инновационных кормовых технологий. Это включает применение антибиотиков бактериального происхождения и гормональных добавок в рационы (Johnson et al., 2013). Такие подходы демонстрируют значительные преимущества как в экономическом аспекте, увеличивая доходность производителей, так и в плане экологической устойчивости, сокращая потребление природных ресурсов и эмиссию парниковых газов на единицу получаемого животного белка (Webb et al., 2017).

В современных аграрных практиках наблюдается тенденция к увеличению объемов земель, задействованных под выращивание кормовых культур, что ведет к значительному уменьшению площадей, доступных для производства продовольствия. Данные указывают, что 85 % от общего объема производства сои в размере 350 миллионов тонн в 2018 году были направлены на кормление животных (Sogari et al., 2023). В контексте поиска альтернативных источников корма выделяются насекомые как перспективное направление (Dawood & Koshio, 2020). Результаты пилотных исследований демонстрируют, что использование черной солдатской мухи в кормлении животных может представлять большую питательную ценность по сравнению с соевой мукой за счет отсутствия антипитательных факторов и более сбалансированного состава (Smetana et al., 2019). Тем не менее, промышленность производства кормов на основе насекомых находится на раннем этапе развития, и существует ряд нерешенных вопросов, касающихся экономической эффективности, влияния на рост мышечной массы животных, безопасности использования

и экологической устойчивости данного подхода (Smetana et al., 2019). Исследовательские проекты в различных странах, включая Польшу, Швейцарию, Канаду, Африку и Китай, активно изучают потенциал насекомых как компонентов кормов (Stamer, 2015). В Российской Федерации данная проблематика менее выражена благодаря достаточному количеству сельскохозяйственных угодий, но также ведутся исследования по выращиванию и использованию насекомых в качестве альтернативных кормов (Рудаков & Рудакова, 2019; Шайхиев и др., 2021).

Немаловажным аспектом употребления продуктов с высоким содержанием животного белка в пищу является безопасность для здоровья человека. Традиционное производство мяса является источником риска пандемий и устойчивости к антибиотикам (Jones et al., 2013). Патогенные микроорганизмы часто мутируют и передаются людям, а это означает, что контактирование с сырыми мясными продуктами и деятельность животноводческих ферм повышают вероятность возникновения зоонозных пандемий (Aiyar & Pingali, 2020). В свою очередь, для высокобелковых продуктов растительного происхождения значимым показателем безопасности является количество антипитательных веществ, которые могут обладать токсическими эффектами, а также остаточное количество внесенных удобрений при выращивании на полях (Das et al., 2022; Frick et al., 2017).

Сравнительная характеристика влияния на окружающую среду производства продуктов растительного и животного происхождения показывает, что:

- (1) Выращивание растительного сырья является в 120 раз более углеродоэффективным способом производства белковой пищи, чем продуктов животного происхождения (Saget et al., 2021; Bryant, 2022).
- (2) Из белка растительного происхождения можно производить от 2 до 20 раз больше продуктов, аналогичных по питательным свойствам, на единицу пахотных земель по сравнению с продуктами животного происхождения (Smetana et al., 2021; Espinosa-Marrón et al., 2022).
- (3) При производстве растительных пищевых продуктов необходимо в 3,3 раза меньше затрат воды, что снижает до 6 раз вероятность эвтрофикации (Davis et al., 2010).

Пагубное влияние на окружающую среду от производства сырья как растительного, так и животного происхождения является одним из главных сдерживающих факторов увеличения производства высокобелковых продуктов питания. Необходим постоянный контроль показателей качества воды, воздуха, занимаемых земель. При прогнозируемом увеличении количества населения сглаживающим фактором может стать частичная замена продуктов животного происхождения на высокобелковое растительное сырье.

Сравнительные особенности пищевой ценности белков растительного и животного происхождения

Животный белок содержит все незаменимые аминокислоты, а также является ценным источником витаминов А, В₁₂, фолиевой кислоты и железа (Wood et al., 2017; Ahmad et al., 2018; Juárez et al., 2022). Животный белок усваивается организмом человека на 98%. Технологические функции животного белка, такие как гелеобразование, эмульгирование и пенообразование, которые придают пище привлекательную текстуру и положительные органолептические свойства, превосходят растительный белок (Kim et al., 2020). При чрезмерном употреблении животного белка в организм человека поступают насыщенные жирные кислоты и избыточный холестерин. Международное агентство по изучению рака (International Agency for Research on Cancer, IARC) классифицировало переработанное мясо (соленье, консервирование, ферментация, копчение) как канцерогенное (Cellura et al., 2022).

С учетом пищевой ценности и эффекта на организм, растительные белки демонстрируют определенные преимущества перед животными белками по ряду критериев. Продукция растительного происхождения не содержит стерина, обогащена ненасыщенными жирными кислотами и служит источником витаминов, минералов и диетических волокон (Song et al., 2016; Aleksandrowicz et al., 2016; Westhoek et al., 2014; Petrusán et al., 2016; Richter et al., 2015). Однако, белковый компонент растительных продуктов может быть ограничен одной или несколькими аминокислотами, что наблюдается в случае злаков (дефицит лизина и треонина) и бобовых (дефицит метионина и цистеина). В то же время, содержание аргинина, цистеина,

глутамина и глицина в растительных продуктах превосходит их уровни в животном сырье (Mariotti, 2019; Mariotti, 2020). Для достижения оптимального аминокислотного баланса в пищевых системах применяется комбинирование растительных и животных белков. Исследование Dimina et al. (2022), в котором использовались методы линейного программирования для анализа способов сочетания изолятов животных и растительных белков, показало возможность создания продуктов с сбалансированным аминокислотным составом.

Усвоение белков растительного происхождения колеблется в диапазоне от 62% до 80%. Факторы, влияющие на эффективность усвоения, включают структурные характеристики белковой молекулы, ее растворимость, проницаемость клеточных мембран и семенной оболочки, среди прочего (Ohanenye et al., 2020). Препятствием для усвоения растительных белков часто служат антипитательные вещества. Растительные белки предоставляют важную альтернативу в качестве источника высокобелковой пищи. Продукты животного и растительного происхождения фундаментально различаются по химическому составу и органолептическим характеристикам. Решение о переходе к растительным белкам в любом обществе определяется множеством факторов, включая культурные традиции, климатические условия и здоровье населения. Ускорение этого перехода требует активного участия государства, медицинского сообщества и научных кругов.

Особенности влияния сопутствующих пищевых компонентов на усвоение белка

В связи с растущим интересом к растительным белковым источникам, ключевой задачей является систематизация существующих знаний и разработка новых подходов, раскрывающих характеристики и усвоение растительных белков человеком. Пищевая ценность определяется не только исходным составом нутриентов, но и эффективностью их метаболизма, что достигается за счет синергии различных процессов в пищеварительной системе. Различные пищевые нутриенты могут демонстрировать разнообразные метаболические эффекты в зависимости от состава пищи, методов приготовления, состояния здоровья, а также от свойств и происхождения белковой молекулы. Таким об-

разом, разработка новых пищевых продуктов требует комплексного подхода, включающего дизайн состава продукта, его технологическую обработку и учет особенностей пищеварительной системы человека для улучшения высвобождения и усвоения нутриентов (Ding et al., 2022; Thorning et al., 2017; Kaur et al., 2022; Timby et al., 2014; Adhikari et al., 2022).

Исследования на примере фасоли показали, что растворимые пищевые волокна могут значительно снижать усвоение белка за счет увеличения потерь азота, в то время как нерастворимые волокна не оказывают заметного влияния на метаболизм белков (Hughes et al., 1996). Аналогичные выводы были получены в исследованиях, демонстрирующих снижение коэффициента перевариваемости белка при употреблении растворимых волокон (Degen et al., 2007).

Содержание жиров в пище напрямую влияет на метаболизм белков. Исследования Ding и коллег показали, что при высоком содержании жиров уменьшается растворимость свиного, куриного и соевого белка, что связано с эмульгированием белков и масла при высокоскоростной гомогенизации. При увеличении жировой фракции часть белка адсорбируется на границе масло-вода, снижая уровень его дисперсии в воде (Ding et al., 2022). Также исследования показали, что наличие дубильных веществ в составе продуктов препятствует перевариванию белка, преобразуя его в нерастворимую фракцию и ингибируя пищеварительные ферменты (Afify Abd El-Moneim et al., 2012).

Важным аспектом является тип белка, его аминокислотный состав, растворимость и структура, влияющие на усвоение. Функциональные свойства белков зависят от их молекулярных характеристик, таких как размер, форма, денатурационная стабильность, аминокислотный состав и гидрофильность/гидрофобность, что влияет на их способность адаптироваться к условиям окружающей среды (Małecki et al., 2021). Среди функциональных свойств белков особого внимания заслуживает растворимость. Растворимость белков зависит от их строения, свойств растворителя, температуры, pH среды, концентрации и заряда ионов, а также характера взаимодействия с другими молекулами (Haque et al., 2011; Małecki et al., 2021). Высокая растворимость связана с более эффективным усвоением бел-

ка, что позволяет производителям создавать пищевые продукты с желаемыми, воспроизводимыми и предсказуемыми характеристиками (Kramer et al., 2012). Потеря растворимости из-за обработки пищевых продуктов в неблагоприятных условиях часто является индикатором денатурации и последующего сшивания белков до нерастворимой формы и снижения его усвоения (Haque, 2015). Скорость гидролиза растворимой белковой фракции в 3–9 раз выше, чем нерастворимой, что было доказано на примере рапсовой муки (Salazar-Villanea et al., 2017). Данный факт подтверждается в других исследованиях. Bai и др. изучали структуру и растворимость кормового белка в зависимости от его усвояемости у животных с однокамерным желудком и обнаружили, что усвояемость белка положительно коррелирует с его растворимостью (Tonheim et al., 2007; Bai et al., 2016).

При технологической обработке пищевого продукта происходит поэтапное воздействие различных внешних факторов (температура, контакт с кислородом воздуха и т.д.) на пищевую систему. Изменение физических и химических показателей качества пищи оказывает как положительное, так и отрицательное влияние на дальнейшую усвояемость нутриентов, в том числе белков. Термическая обработка оказывает влияние не только на структурные свойства белков, но и на биодоступность аминокислот. Окислительные условия воздействуют на межмолекулярные поперечные связи в белках, наблюдается их агрегация, что снижает восприимчивость белков к ферментам и их усвояемость в организме (Chang-Yu Zhou et al., 2019). Такой же эффект по снижению растворимости белка распространяется на гидротермическую обработку высокобелковых молочных продуктов (Carbonaro et al., 1998). На примере рапсовой муки было показано, что с увеличением времени обжаривания усиливаются молекулярные массы пептидов и снижается скорость гидролиза из-за образования дисульфидных связей и химически модифицированных аминокислотных остатков (Salazar-Villanea et al., 2017).

Усвоение белка — это многостадийный процесс, зависящий от целого комплекса сопутствующих показателей. Более эффективное усвоение белка возможно при системном подходе к учету свойств и состава пищевой системы, показателей качества белковой молекулы и особенностей организма.

Способы повышения пищевой ценности растительного сырья

Своевременным является детальное изучение растительного сырья и поиски научно обоснованных способов и методов повышения биологической ценности белка растительных источников. Главным препятствующим фактором в употреблении растительного белка является наличие сопутствующих компонентов, препятствующих усвоению эссенциальных компонентов пищи. Информация по составу и действию на организм основных веществ-ингибиторов растительного происхождения представлена на Рисунке 3.

Повысить пищевую ценность высокобелкового растительного сырья возможно, используя следующие способы воздействия на антипитательные вещества: выведение новых сортовых культур (Duraishwamy et al., 2023); физические и химические методы (замачивание, автоклавирование, давление, экструзия, варка, жарка, проращивание, ферментация и др.) (Samtiya et al., 2020; Diouf et al., 2019; Thakur et al., 2021; Llandes et al., 2019; Calcinaï et al., 2022; Bychkova et al., 2021); изолирование растительного белка (производство концентратов и изолятов) (Kumar et al., 2021).

В процессе агрокультурного выращивания возможно регулирование параметров, влияющих

на пищевую и биологическую ценность растительных культур. Объем антипитательных элементов может меняться в зависимости от составляющих почвы, применения удобрений и прочих эдафических факторов, таких как плодородие почвы, уровень pH, содержание солей и другое (Pramitha et al., 2021). Дополнительно, внедрение технологий РНК-интерференции и геномного редактирования, направленных на создание растительных культур с повышенной пищевой ценностью и сокращенным количеством антипитательных элементов, представляет собой перспективный метод улучшения качества агропродукции (Duraishwamy et al., 2023).

Учитывая, что множество антинутриентов являются водорастворимыми и чувствительными к температурным воздействиям, существует возможность управления их уровнем посредством различных технологических процессов. Вместе с тем, применение технологических приемов, хотя и позволяет уменьшить вредное воздействие антипитательных веществ, может одновременно снижать пищевую ценность некоторых компонентов, таких как витамин С, подверженный разрушению под воздействием технологических процедур. Поэтому актуальным является поиск оптимальных методик обработки растительного высокобелкового сырья, часть из которых демонстрируется на Рисунке 4.

Рисунок 3

Антипитательные вещества продуктов растительного происхождения



Примечание. Составлено с опорой на исследования Samtiya et al. (2020); Nath et al. (2022); Popova et al. (2019); Sharma et al. (2023); Afify Abd El-Moneim et al. (2012); Petroski & Minich (2020).

Рисунок 4

Способы снижения антипитательных свойств растительного сырья



Примечание. Составлено с опорой на исследования Fernandes et al. (2010); Munthali et al. (2022); Alsalman & Ramaswamy (2020); Samtiya et al. (2020); Das et al. (2022); Adeleke et al. (2017).

Доля разрушения антипитательных веществ зависит от ряда параметров. С одной стороны, оказывают влияние сортовые особенности сырья, в том числе морфологическое строение тканей, особенности химического состава культуры, и, с другой стороны, параметры технологической обработки (вид, время, продолжительность). Наиболее эффективными методами борьбы с антипитательными веществами является автоклавирование и варка. Также комбинирование различных видов обработки показывает положительное влияние. На примере чечевицы было показано, что замачивание зерна в течение 12 часов с последующим бланши-

рованием при 70 °C в течение 9 минут и приготовлением при 116 °C в течение 42 минут устраняло активность ингибитора трипсина (Abbas & Ahmad 2018; Deol & Bains 2010; Avilés-Gaxiola et al., 2017).

Результативным способом уменьшения антипитательных компонентов растительного происхождения является метод проращивания, обеспечивающий переход из состояния покоя к росту зародыша, при котором происходит модификация химической структуры веществ. Однако необходимо учитывать то, что в виду специфического строения каждой культуры, процесс проращивания будет

давать индивидуальный результат в зависимости от сортовых особенностей культуры и параметров проращивания (Atudorei et al., 2021). Набухание и запуск прорастания последовательно приводят к размыванию, распаду пептидных зон и синтезу новых, в результате чего повышается доступность аминокислот. Находящиеся в семенах ферменты активизируются, расщепляют сложные белки, жиры и углеводы на более простые вещества, которые необходимы для роста будущего растения (Ikram et al., 2021). Ohanenye и др. установили, что эффект увеличения белка связан либо с гидролитическими процессами белковых молекул в результате повышения активности ферментов, либо с высвобождением белка из комплекса с антипитательными компонентами (Ohanenye et al., 2020).

Процесс проращивания эффективно снижает активность ингибиторов трипсина и минимизирует ингибирование, вызванное фитатами, через механизм гидролиза. Этот процесс способствует повышению биодоступности таких элементов как натрий, магний, железо и цинк за счет активации фитазы, которая разлагает связи между белками, ферментами и их неорганическими компонентами (Atudorei et al., 2021). В результате потребление

пророщенных зерен позволяет организму усваивать предварительно обработанные вещества с сокращенным содержанием антипитательных элементов. Однако натуральное проращивание зерна является трудоемким и продолжительным процессом (Atudorei et al., 2021; Ikram et al., 2021). Более доступной альтернативой для повышения питательной ценности бобовых является использование искусственного ферментативного гидролиза.

Гидролизаты растительных белков представляют собой продукты взаимодействия растительного сырья с ферментами в контролируемых условиях, включая оптимальную температуру и время воздействия (Schaafsma, 2009). В результате гидролиза формируется микстура полипептидов различной молекулярной массы и свободных аминокислот (McCarthy et al., 2013). Разнообразие биологических эффектов пептидов, включая антиоксидантное, антимикробное, опиоидное, противоопухолевое, антигельминтное, иммуномодулирующее и противовоспалительное действие, расширяет перспективы их применения в различных сферах, таких как химическая промышленность, пищевая отрасль, медицина и др. (Таблица 2).

Таблица 2

Примеры применения пептидов из животного и растительного белка

Область применения	Функции	Литература
Пищевая промышленность	Подсластители, стабилизаторы цвета, загустители, антислеживающие агенты, эмульгаторы и усилители вкуса. Заменители искусственных антиоксидантов (антиокислители липидов). Компоненты функциональных продуктов питания.	Faustino et al., 2019; Zaky et al., 2022; Ye et al., 2022; Samaranayaka & Li-Chan 2011; Chakrabarti et al., 2014
Производство удобрений	Антимикробные и иммунные индукторы, регуляторы роста растений, инсектициды и гербициды для защиты растений от бактерий, вирусов, вредителей и сорняков. Высокая аффинность, низкая токсичность, экологическая безопасность	Zhang et al., 2023
Фармацевтическая промышленность	Лечение и профилактика заболеваний: сахарный диабет, сердечно-сосудистые заболевания, желудочно-кишечные заболевания, рак, инфекционные заболевания и разработка вакцин и др.	Wang et al., 2022; Muttenthaler et al., 2021
Препараты для животных	Антибактериальные препараты, успокоительные, препараты для улучшения аппетита	He et al., 2023; Saeed et al., 2022; Ferreira et al., 2020;
Парфюмерно-косметическая промышленность	Стимулирование выработки коллагена фибробластами, пролиферация эластина, фибронектина, ламинина и др.	Ferreira et al., 2020; Skibska & Perlikowska 2021
Матрицы для дизайна синтетических пептидов	Производство стволовых клеток, установление механизмов заболевания и разработка методов лечения, создание гидрогелиевых нанокомпозитов.	Serikova et al., 2015; Ligorio & Mata 2023

Примечание. Составлено с опорой на исследования Toldra et al. (2018); Aguilar-Toalá et al., (2020); Tyagi et al. (2020); Tripathi et al. (2020); Oh et al. (2020); Pavlicevic et al. (2022); Rivera-Jiménez et al. (2022).

В условиях стабильного качества сырья и зафиксированных параметров гидролитического процесса специалисты в области химии и пищевой промышленности способны производить продукцию со стандартизированным аминокислотным и пептидным профилем. Применение гидролизатов в разработке новых пищевых продуктов может способствовать решению проблемы пониженной ассимиляции растительного белка, обеспечивая поступление в организм белковых молекул, подвергшихся ферментативному расщеплению и готовых к усвоению (Lafarga & Hayes, 2016; Wu & Chen, 2022; Ashaolu, 2020). В современных исследованиях особое внимание уделяется гороху, в контексте работ по созданию повседневных пищевых продуктов с добавлением горохового гидролизата (García Arteaga et al., 2022; Lim et al., 2023). Работки показывают целесообразность интеграции растительного гидролизата в супы и хлебобулочные изделия, оценивая их биологическую и пищевую ценность (Бычкова и соавт., 2022; Самошкин и соавт., 2013). Использование механохимической обработки в комбинации с ферментативными препаратами позволило ученым получить гороховый гидролизат с увеличенным выходом водорастворимых веществ по сравнению с образцами без предварительной обработки.

Получение изолятов растительного белка осуществляется через многоэтапный процесс, включающий щелочную экстракцию белка и его последующее осаждение на изoeлектрической точке. Процессуальные параметры изоляции белка, включая температуру и продолжительность солюбилизации, адаптируются под требования к характеристикам конечного продукта (Derkach et al., 2022; Kusumah et al., 2020). Развитие рынка изолятов растительного белка стимулируется распространением вегетарианства и экологической безопасностью (Neji et al., 2022; Ruckmangathan et al., 2022; Gopan et al., 2019; Santos et al., 2022). Технологически, введение растительных белковых изолятов в продукты питания способствует улучшению их органолептических качеств благодаря свойствам желирования, эмульгирования и влагоудержания (Li et al., 2020). Постадийное изолирование белка позволяет достигать содержания белка в продукте до 89 %, при этом количество антипитательных веществ уменьшается на 75–96 % в зависимости от их типа (Amin, 2022; Saetae & Suntornsuk, 2011).

Таким образом, высокобелковое растительное сырье представляет собой значительный потенциал для пищевой промышленности. Активное научное изучение способствует разработке методик повышения пищевой ценности растительного белка за счет минимизации влияния антипитательных веществ. Мультидисциплинарный подход, объединяющий усилия в области химии, пищевой промышленности и медицины, открывает пути к оптимизации производства высококачественной растительной пищи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологии производства растительного и животного белка существенно различаются, что влияет на разный уровень их воздействия на окружающую среду. Производство растительного белка характеризуется меньшей ресурсоемкостью и большей экологической устойчивостью. Несмотря на это, биологическая ценность животного белка превосходит растительный. Сочетание сырья животного и растительного происхождения, а также различных растительных источников позволяет улучшить биологическую ценность пищевых продуктов.

Анализ научных исследований в области переработки растительного сырья показывает, что с помощью комплексного применения химических и физических методов можно достичь структурной модификации белка, что способствует улучшению его биологической ценности. Важно учитывать наличие других макро- и микронутриентов при разработке пищевых продуктов на основе растительных белков, так как они влияют на ассимиляцию белка. Данный обзор позволяет специалистам определить ключевые научно обоснованные показатели для разработки пищевых продуктов с высокой биологической ценностью.

Дальнейшие направления исследований открывают новый диапазон задач, связанных с научными подходами к комбинированию сырьевых компонентов для оптимизации усвоения белков и аминокислотного состава растительных пищевых продуктов. Существующая научная база ставит перед исследователями задачу продолжить изучение методов переработки сырья, чтобы максимально использовать потенциал растительных источников. Особый интерес в этой области представляет ком-

бинирование методов физического и химического воздействия на белковые компоненты растительного сырья.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Елена Сергеевна Бычкова: концептуализация; разработка методологии исследования; руководство исследованием; создание рукописи и её редактирование.

Екатерина Михайловна Подгорбунских: проведение исследования; создание рукописи и её редактирование; визуализация.

Еремеева Наталья Борисовна: разработка методологии исследования; проведение исследования; подготовка черновика рукописи; администрирование проекта.

Полина Владимировна Кудачева: визуализация; проведение исследования; подготовка черновика рукописи.

ЛИТИРАТУРА

- Нилова, Л.П. (2022) Каротиноиды в растительных пищевых системах. Часть 2. Фруктовые и овощные соки. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 10(2), 22-33. <https://doi.org/10.14529/food220203>
- Nilova, L. P. (2022). Carotenoids in plant food systems. Part 2. Fruit and vegetable juices. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 10(2), 22-33. (In Russ.) <https://doi.org/10.14529/food220203>
- Айтимова, У. Ж., & Шүкірбаев, Н. Д. (2020) Оптимизация кормления молочного скота с помощью нелинейного программирования. *American Scientific Journal*, 36-1(36), 29-37.
- Aitimova, U. Z., & Shukirbayev, N. D. (2020). Optimization of feeding dairy cattle using nonlinear programming. *American Scientific Journal*, 36-1(36), 29-37. (In Russ.)
- Антипова, Л. В., Толпыгина, И. Н., Успенская, М. Е., & Попов, В. И. (2015). Гигиенические аспекты и перспективы отечественного производства растительных белков. *Гигиена и санитария*, 94(9), 51-54.
- Antipova, L. V., Tolpygina, I. N., Uspenskaya, M. E., & Popov, V. I. (2015). Hygienic aspects and prospects of domestic production of plant proteins. *Hygiene and Sanitation*, 94(9), 51-54. (In Russ.)
- Бычкова, Е. С., Подгорбунских, Е. М., Рождественская, Л. Н., Бухтояров, В. А., & Кудачева, П. В. (2022). Разработка технологии хлебобулочных изделий с введением горохового гидролизата. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 3, 56-66. <https://dx.doi.org/10.36107/spfp.2022.371>
- Bychkova, E. S., Podgorbunskikh, E. M., Rozhdestvenskaya, L. N., Bukhtoyarov, V. A., & Kudacheva, P. V. (2022). Development of technology for bakery products with the introduction of pea hydrolyzate. *Storage and Processing of Farm Products*, 56-66. (In Russ.) <https://dx.doi.org/10.36107/spfp.2022.371>
- Комлацкий, Г. В., (2022). Технологические аспекты снижения выбросов парниковых газов в животноводстве. *Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета*, 181, 116-126.
- Komlatsky, G. V. (2022). Technological aspects of reducing greenhouse gas emissions in livestock farming. *Multithematic Network Electronic Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 181, 116-126. (In Russ.)
- Рудаков, О. Б., & Рудакова, Л. В. (2019). Съедобные насекомые — альтернатива животному белку. *Мясные Технологии*, 11(203), 16-19. <https://doi.org/10.33465/2308-2941-2019-11-18-21>
- Rudakov, O. B., & Rudakova, L. V. (2019). Edible insects — an alternative to animal protein. *Meat Technology*, 11(203), 16-19. (In Russ.) <https://doi.org/10.33465/2308-2941-2019-11-18-21>
- Самошкин, С. П., Бычкова, Е. С., Бычков, А. Л., Ломовский, О. И., Байзель, Н. Ф., & Черноносков, А. А. (2013). Супы-пюре лечебно-профилактического назначения с питательными веществами в легкоусвояемой форме. *Пищевая промышленность*, 8, 26-27.
- Samoshkin, S. P., Bychkova, E. S., Bychkov, A. L., Lomovsky, O. I., Bayzel, N. F., & Chernonosov, A. A. (2013). Therapeutic and prophylactic puree soups with nutrients in easily digestible form. *Food Industry*, 8, 26-27. (In Russ.)
- Шайхиев, И. Г., Свергузова, С. В., Сапронова, Ж. А., Святченко, А. В., & Ушакова Н. А. (2021). Использование биомассы насекомых для выращивания радужной форели в аквакультуре (краткий обзор зарубежной литературы). *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство*, (1), 69-81. <https://dx.doi.org/10.24143/2073-5529-2021-1-69-81>
- Shaykhiev, I. G., Sverguzova, S. V., Sapronova, Z. A., Svyatchenko, A. V., & Ushakova, N. A. (2021). Use of insect biomass for rainbow trout farming in aquaculture (brief review of foreign literature). *Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries*, (1), 69-81. (In Russ.) <https://dx.doi.org/10.24143/2073-5529-2021-1-69-81>
- Adhikari, S., Schop, M., de Boer, I. J. M., & Huppertz, T. (2022). Protein quality in perspective: A review of protein quality

- metrics and their applications. *Nutrients*, 14, Article 947. <https://dx.doi.org/10.3390/nu14050947>
- Adeleke, O. R., Adiamo, O. Q., Fawale, O. S., & Olamiti, G. (2017). Effect of soaking and boiling on anti-nutritional factors, oligosaccharide contents and protein digestibility of newly developed bambara groundnut cultivars. *Turkish Journal of Agriculture — Food Science and Technology*, 5(9), 1006–1014. <https://dx.doi.org/10.24925/turjaf.v5i9.1006–1014.949>
- Afify Abd El-Moneim, M. R., El-Beltagi, H. S., Abd El-Salam, S. M., & Omran, A. A. (2012). Protein solubility, digestibility and fractionation after germination of sorghum varieties. *PLoS One*, 7(2), Article 31154. <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0031154>
- Ahmad, R.S., Imran, A., & Hussain, M.B. (2018). Nutritional composition of meat nutritional composition of meat. In M.S. Arshad (Ed.), *Meat science and nutrition* (pp. 61–77). Pakistan.
- Aiyar, A., & Pingali, P. (2020). Pandemics and food systems—towards a proactive food safety approach to disease prevention & management. *Food Security*, 12(4), 749–756.
- Aguilar-Toalá, J. E., Deering, A. J., & Liceaga, A. M. (2020). New insights into the antimicrobial properties of hydrolysates and peptide fractions derived from chia seed (*Salvia hispanica* L.). *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 12, 1571–1581. <https://dx.doi.org/10.1007/s12602–020–09653–8>
- Aleksandrowicz, L., Green, R., Joy, E. J., Smith, P., & Haines, A. (2016). The impacts of dietary change on greenhouse gas emissions, land use, water use, and health: A systematic review. *PLoS One*, 11(11), Article 0165797. <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0165797>
- Alsaman, F. B., & Ramaswamy, H. (2020). Reduction in soaking time and anti-nutritional factors by high pressure processing of chickpeas. *Journal of Food Science and Technology*, 57(7), 2572–2585. <https://dx.doi.org/10.1007/s13197–020–04294–9>
- Amin, A., Petersen, I. L., Malmberg, C., Orlén, V. (2022). Perspective on the effect of protein extraction method on the Antinutritional Factor (ANF) content in seeds. *ACS Food Science & Technology*, 2, 604–612. <https://dx.doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00464>
- Ashaolu, T. J. (2020). Applications of soy protein hydrolysates in the emerging functional foods: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(2), 421–428. <https://dx.doi.org/10.1111/ijfs.14380>
- Atudorei, D., Stroe, S. G., & Codină, G. G. (2021). Impact of germination on the microstructural and physicochemical properties of different legume types. *Plants (Basel)*, 10(3), 592. <https://dx.doi.org/10.3390/plants10030592>
- Avilés-Gaxiola, S., Chuck-Hernández, C., Serna Saldívar, S. O. (2017). Inactivation methods of trypsin inhibitor in legumes: A review. *Concise Reviews & Hypotheses in Food Science*, 83(1), 17–29. <https://dx.doi.org/10.1111/1750–3841.13985>
- Bai, M. M., Qin, G. X., Sun, Z. W., & Long, G. H. (2016). Relationship between molecular structure characteristics of feed proteins and protein in vitro digestibility and solubility. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(8), 1159–1165. <https://dx.doi.org/10.5713/ajas.15.0701>
- Bryant, C.J. (2022). Plant-based animal product alternatives are healthier and more environmentally sustainable than animal products. *Future Foods*, 6, Article 100174. <https://dx.doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100174>
- Bychkova, E., Dome, K., Gosman, D., Beisel, N., & Chernonosov, A. (2021). Mechanically activated enzymatic hydrolysis of pea seeds and its effects on bakery products. *Applied Food Biotechnology*, 8(3), 213–223. <https://doi.org/10.22037/afb.v8i3.32756>
- Abbas, Y., & Ahmad, A. (2018). Impact of processing on nutritional and antinutritional factors of legumes: A review. *Annals Food Science and Technology*, 19(2), 199–215.
- Calcinai, L., Bonomini, M. G., Leni, G., Faccini, A., Puxeddu, I., Giannini, D., Petrelli, F., Prandi, B., Sforza, S., & Tedeschi, T. (2022). Effectiveness of enzymatic hydrolysis for reducing the allergenic potential of legume by-products. *Scientific Reports*, 12, 16902. <https://dx.doi.org/10.1038/s41598–022–21296–z>
- Capper, J. L., & Cady, R. A. (2019). The effects of improved performance in the U.S. dairy cattle industry on environmental impacts between 2007 and 2017. *Journal of Animal Science*, 98(1), 1–14. <https://dx.doi.org/10.1093/jas/skz291>
- Carbonaro, M., Bonomi, F., Iametti, S., Cappelloni, M., & Carnovale, E. (1998). Aggregation of proteins in whey from raw and heat-processed milk: formation of soluble macroaggregates and nutritional consequences. *LWT Food Science and Technology*, 31, 522–529. <https://dx.doi.org/10.1006/ftsl.1998.0408>
- Cellura, M., Cusenza, M. A., Longo, S., Luu, L.Q., & Skurk, T. (2022). Life cycle environmental impacts and health effects of protein-rich food as meat alternatives: A review. *Sustainability*, 14(2), Article 979. <https://dx.doi.org/10.3390/su14020979>
- Chakrabarti, S., Jahandideh, F., & Wu, J. (2014). Food-derived bioactive peptides on inflammation and oxidative stress. *BioMed Research International*, 2014, 608979. <https://dx.doi.org/10.1155/2014/608979>
- Chang-Yu, Z., Jin-Xuan, C., Xin-Bo, Z., Yun, B., Chun-Bao, L., & Xing-Lian, X. (2019). Evaluation of the secondary structure and digestibility of myofibrillar proteins in cooked ham. *CyTA — Journal of Food*, 17(1), 78–86. <https://dx.doi.org/10.1080/19476337.2018.1554704>
- Das, G., Sharma, A., & Sarkar, P. K. (2022). Conventional and emerging processing techniques for the post-harvest reduction of antinutrients in edible legumes. *Applied Food Research*, 2, 100–112. <https://dx.doi.org/10.1016/j.afres.2022.100112>
- Dasgupta, P. (2021). The economics of biodiversity: The Dasgupta review. In *HM Treasury* (pp. 1–604). London: HM Treasury.
- Davis, J., Sonesson, U., Baumgartner, D.U., & Nemecek, T. (2010). Environmental impact of four meals with different protein sources: case studies in Spain and Sweden. *Food Research International*, 43(7), 1874–1884. <https://dx.doi.org/10.3389/frs.2022.841106>
- Dawood, M. A. O., & Koshio, S. (2020). Application of fermentation strategy in aquafeed for sustainable

- aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12, 987–1002. <https://doi.org/10.1111/raq.12368>
- Degen, L., Halas, V., & Babinszky, L. (2007). Effect of dietary fibre on protein and fat digestibility and its consequences on diet formulation for growing and fattening pigs: A review. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science*, 57(1), 1–9. <https://dx.doi.org/10.1080/09064700701372038>
- Deol, J. K., & Bains, K. (2010). Effect of household cooking methods on nutritional and anti-nutritional factors in green cowpea (*Vigna unguiculata*) pods. *Journal of Food Science and Technology*, 47(5), 579–581. <https://dx.doi.org/10.1007/s13197-010-0112-3>
- Derkach, S. R., Kuchina, Y. A., Kolotova, D. S., Petrova, L. A., Volchenko, V. I., Glukharev, A. Y., & Grokhovsky, L. A. (2022). Properties of protein isolates from marine hydrobionts obtained by isoelectric solubilisation/precipitation: influence of temperature and processing time. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(22), 14221. <https://dx.doi.org/10.3390/ijms232214221>
- Dimina, L., Rémond, D., Huneau, J. F., & Mariotti, F. (2022). Combining plant proteins to achieve amino acid profiles adapted to various nutritional objectives—an exploratory analysis using linear programming. *Frontiers in Nutrition*, 8, 809685. <https://dx.doi.org/10.3389/fnut.2021.809685>
- Ding, M., Huang, Z., Jin, Z., Zhou, C., Wu, J., Zhao, D., Shan, K., Ke, W., Zhang, M., Nian, Y., & Li, C. (2022). The effect of fat content in a food matrix on the structure, rheological properties and digestive properties of protein. *Food Hydrocolloids*, 126, 107464. <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107464>
- Diouf, A., Sarr, F., Sene, B., Ndiaye, C., Fal, S. M., & Ayessou, N. C. (2019). Pathways for reducing anti-nutritional factors: prospects for vigna unguiculata. *Journal of Nutritional Health & Food Science*, 7(2), 1–10. <https://dx.doi.org/10.15226/jnhfs.2019.001157>
- Duraiswamy, A., Sneha A. M. N., Jebakani K. S., Selvaraj, S., Pramitha J. L., Selvaraj, R., Petchiammal K. I., Sheriff, S. K., Thinakaran, J., Rathinamoorthy. S., & Ramesh Kumar P. R. (2023). Genetic manipulation of anti-nutritional factors in major crops for a sustainable diet in future. *Frontiers in Plant Science*, 3, 1070398. <https://dx.doi.org/10.3389/fpls.2022.1070398>
- Espinosa-Marrón, A., Adams, K., Sinno, L., Cantu-Aldana, A., Tamez, M., Marrero, A., Bhupathiraju, S.N., & Mattei, J. (2022). Environmental impact of animal-based food production and the feasibility of a shift toward sustainable plant-based diets in the United States. *Frontiers in Sustainability*, 3, 1–9. <http://dx.doi.org/10.3389/frsus.2022.841106>
- Faustino, M., Veiga, M., Sousa, P., Costa, E. M., Silva, S., & Pintado, M. (2019). Agro-food byproducts as a new source of natural food additives. *Molecules*, 24(6), 1056. <https://dx.doi.org/10.3390/molecules24061056>
- Fernandes, A. C., Nishida, W., & Da Costa Proença, R. P. (2010). Influence of soaking on the nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cooked with or without the soaking water: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(11), 2209–2218. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02395.x>
- Ferreira, M. S., Magalhães, M. C., Sousa-Lobo, J. M., & Almeida, I. F. (2020). Trending anti-aging peptides. *Cosmetics*, 7(4), 91. <https://dx.doi.org/10.3390/cosmetics7040091>
- Forte C., Lo Fiego, D. P., Trbalza Marinucci, M., Pravettoni, D., & Natalello, A. (2023) Editorial: Efforts to reduce feed-food competition. *Front Vet Sci.*, 10, 1335007. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1335007>
- Frick, K. M., Kamphuis, L. G., Siddique, K. H., Singh, K. B., & Foley, R. C. (2017). Quinolizidine alkaloid biosynthesis in lupins and prospects for grain quality improvement. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 87. <https://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.00087>
- García Arteaga, V., Demand, V., Kern, K., Strube, A., Szardenings, M., Muranyi, I., Eisner, P., & Schweiggert-Weisz, U. (2022). Enzymatic hydrolysis and fermentation of pea protein isolate and its effects on antigenic proteins, functional properties, and sensory profile. *Foods*, 11(1), 118. <https://dx.10.3390/foods11010118>
- Gopan, A., Sahu, N. P., Varghese, T., Sardar, P., Gupta, S., Gupta, G., & Maiti, M. K. (2019). Preparation of protein isolate from neem seed: biochemical evaluation, antinutrients and in vitro digestibility study. *Animal Nutrition and Feed Technologyanim*, 19(2), 203–216. <https://dx.doi.org/10.5958/0974-181X.2019.00019.2>
- Haque, E., Bhandari, B. R., Gidley, M. J., Deeth, H. C., & Whittaker, A. K. (2011). Ageing-induced solubility loss in milk protein concentrate powder: Effect of protein conformational modifications and interactions with water. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91, 2576–2581. <https://dx.doi.org/10.1002/jsfa.4478>
- Haque, E. & Bhandari, B. R. (2015). Effects of protein conformational modifications, enthalpy relaxation, and interaction with water on the solubility of milk protein concentrate powder. In *11th Symposium on the Properties of Water (ISOPOW)* (pp. 437–450). New York: Springer.
- He, S., Yang, K., Wen, J., Kuang, T., Cao, Z., Zhang, L., Han, S., Jian, S., Chen, X., Zhang, L., Deng, J., & Deng, B. (2023). Antimicrobial peptides relieve transportation stress in ragdoll cats by regulating the gut microbiota. *Metabolites*, 13(3), 326. <https://dx.doi.org/10.3390/metabo13030326>
- Hughes, J. S., Acevedo, E., Bressani, R., & Swanson, B. G. (1996). Effects of dietary fiber and tannins on protein utilization in dry beans (*Phaseolus vulgaris*). *Food Research International*, 29(3–4), 331–338. [https://dx.doi.org/10.1016/0963-9969\(96\)00027-0](https://dx.doi.org/10.1016/0963-9969(96)00027-0)
- Ikram, A., Saeed, F., Afzaal, M., Imran, A., Niaz, B., Tufail, T., Hussain, M., & Anjum, F.M. (2021). Nutritional and end-use perspectives of sprouted grains: A comprehensive review. *Food Science & Nutrition*, 9(8), 4617–4628. <https://dx.doi.org/10.1002/fsn.3.2408>
- Johnson, B. J., Ribeiro, F. R. B., & Beckett, J. L. (2013). Application of growth technologies in enhancing food security and sustainability. *Animal Frontiers*, 3, 8–13. <https://doi.org/10.2527/af.2013-0018>
- Jones, B. A., Grace, D., Kock, R., Alonso, S., Rushton, J., Said, M. Y., McKeever, D., Mutua, F., Young, J., McDermott, J., & Pfeiffer, D. U. (2013). Zoonosis emergence is linked to agricultural intensification and environmental change.

- Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(21), 8399–8404. <https://dx.doi.org/10.1073/pnas.1208059110>
- Juárez, M., Lam, S., Bohrer, B. M., Dugan, M. E. R., Vahmani, P., Aalhus, J., Juárez, A., López-Campos, O., Prieto, N., & Segura, J. (2021). Enhancing the nutritional value of red meat through genetic and feeding strategies. *Foods*, 10(4), Article 872. <https://dx.10.3390/foods10040872>
- Kaur, L., Mao, B., Beniwal, A. S., Abhilasha, Kaur, R., Chian, F., M., Singh, J. (2022). Alternative proteins vs animal proteins: The influence of structure and processing on their gastro-smal intestinal digestion. *Trends in Food Science and Technology*, 122, 275–286. <https://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.021>
- Kim, W., Wang, Y., & Selomulya, C. (2020). Dairy and plant proteins as natural food emulsifiers. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 261–272. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.012>
- Kobylatsky, P. S., Shirokova, N. V., Karatunov, V. A., Slozhenkina, M. I., & Tsitsige (2020) Biological growth patterns to increase livestock meat productivity. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 548, 082094. <https://doi.org/10.1088/1755–1315/548/8/082094>
- Kramer, R. M., Shende, V. R., Motl, N., Pace, C. N., & Scholtz, J. M. (2012). Toward a molecular understanding of protein solubility: increased negative surface charge correlates with increased solubility. *Biophysical Journal*, 102(8), 07–15. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2012.01.060>
- Kumar, M., Tomar, M., Potkule, J., Verma, R., Punia, S., Mahapatra, A., Belwal, T., Dahuja, A., Joshi, S., Berwal, M. K., Satankar, V., Bhoite, A. G., Amarowicz, R., Kaur, C., & Kennedy, J.F. (2021). Advances in the plant protein extraction: Mechanism and recommendations. *Food Hydrocolloids*, 115(2), 106595. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106595>
- Kusumah, S. H., Andoyo1, R., & Rialita, T. (2020). Protein isolation techniques of beans using different methods: A review. *Environmental Earth Sciences*, 443, e012053. <https://dx.doi.org/10.1088/1755–1315/443/1/012053>
- Lafarga, T., & Hayes, M. (2016). Bioactive protein hydrolysates in the functional food ingredient industry: overcoming current challenges. *Food Reviews International*, 33(3), 217–246. <https://dx.doi.org/10.1080/87559129.2016.1175013>
- Ligorio, C., & Mata, A. (2023). Synthetic extracellular matrices with function-encoding peptides. *Nature Reviews Bioengineering*, 1, 518–536. <https://dx.doi.org/10.1038/s44222–023–00055–3>
- Lim, W.S., Kim, H.W., Lee, M.H., & Park, H.J. (2023). Improved printability of pea protein hydrolysates for protein-enriched 3D printed foods. *Journal of Food Engineering*, 350, 111502. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111502>
- Li, Y.-P., Sukmanov, V., Kang, Z. L., & Ma, H. (2020). Effect of soy protein isolate on the techno-functional properties and protein conformation of low-sodium pork meat batters treated by high pressure. *Journal of Food Process Engineering*, 43, e13343. <https://dx.doi.org/10.1111/jfpe.13343>
- Llandes, C.B.M., Guzmán-Ortiz, F.A., Mora-Escobedo, R., Castro-Rosas, J., Delia, R.G.A., López-Perea, P., & Vargas-Torres, A. (2019). Effect of germination on antinutritional compounds of grains and seeds. In: R.M. Escobedo, C. Martínez-Villaluenga, R. Reynoso-Camacho (Ed.), *Germination: Types, Process and Effects* (pp. 83–100). New York: Nova Science Publishers.
- Makkar, H. P. S. (2018) Review: Feed demand landscape and implications of food-not feed strategy for food security and climate change. *Animal*, 12, 1744–1754. <https://doi.org/10.1017/S175173111700324X>
- Małeck, J., Muszyński, S., & Sołowiej, B. G. (2021). Proteins in food systems—bionanomaterials, conventional and unconventional sources, functional properties, and development opportunities. *Polymers (Basel)*, 13(15), Article 2506. <https://dx.doi.org/10.3390/polym13152506>
- Mariotti, F. (2019). Animal and plant protein sources and cardiometabolic health. *Advances in Nutrition*, 10, 351–366. <https://dx.doi.org/10.1093/advances/nmy110>
- Mariotti, F. (2020). Arginine supplementation and cardiometabolic risk. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 23(1), 29–34. <https://dx.doi.org/10.1097/MCO.0000000000000612>
- McCarthy, A. L., O'Calaghan, Y. C., & O'Brien, N. M. (2013). Protein hydrolysates from agricultural crops — bioactivity and potential for functional food development. *Agriculture*, 3(1), 112–130. <https://dx.doi.org/10.3390/agriculture3010112>
- Munthali, J., Nkhata, S. G., Masamba, K., Mguntha, T., Fungo, R., & Chirwa, R. (2022). Soaking beans for 12 h reduces split percent and cooking time regardless of type of water used for cooking. *Heliyon*, 8(9), 10561. <https://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10561>
- Muttenthaler, M., King, G. F., Adams, D. J., & Alewood, P. F. (2021). Trends in peptide drug discovery. *Nature Reviews Drug Discovery*, 20, 309–325. <https://dx.doi.org/10.1038/s41573–020–00135–8>
- Nath, H., Samtiya, M., & Dhewa, T., (2022). Beneficial attributes and adverse effects of major plant-based foods anti-nutrients on health: A review. *Human Nutrition & Metabolism*, 28, 200–147. <https://dx.doi.org/10.1016/j.hnm.2022.200147>
- Neji, C., Semwal, J., Kamani, M. H., Máthé, E., Sipos, P. (2022). Legume protein extracts: The relevance of physical processing in the context of structural, techno-functional and nutritional aspects of food development. *Processes*, 10(12), 2586. <https://dx.doi.org/10.3390/pr10122586>
- Nelson, M. E., Hamm, M. W., Hu, F. B., Abrams, S. A., & Griffin, T. S. (2016). Alignment of healthy dietary patterns and environmental sustainability: A systematic review. *Advances in Nutrition*, 7(6), 1005–1025. <https://dx.doi.org/10.3945/an.116.012567>
- Ohanenye, I. C., Tsopmo, A., Ejike, C. E. C. C., & Udenigwe, C. C. (2020). Germination as a bioprocess for enhancing the quality and nutritional prospects of legume proteins. *Trends in Food Science and Technology*, 101, 213–222. <https://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.003>
- Oh, J. Y., Je, J. G., Lee, H. G., Kim, E. A., Kang, S. I., Lee, J. S., & Jeon, Y. J. (2020). Anti-hypertensive activity of novel peptides identified from olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) Surimi. *Foods*, 9(5), 647. <https://doi.org/10.3390/foods9050647>
- Parr, T., Mareko, M. H. D., Ryan, K. J. P., Hemmings, K. M., Brown, D. M., & Brameld, J. M. (2016) The impact of growth promoters on muscle growth and the potential

- consequences for meat quality. *Meat Science*, 120, 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.022>
- Pavlicevic, M., Marmiroli, N., & Maestri, E. (2022). Immunomodulatory peptides — A promising source for novel functional food production and drug discovery. *Peptides*, 148, 170696. <https://dx.doi.org/10.1016/j.peptides.2021.170696>
- Petroski, W., & Minich, D. M. (2020). Is there such a thing as “anti-nutrients”? A narrative review of perceived problematic plant compounds. *Nutrients*, 12(10), 2929. <https://dx.doi.org/10.3390/nu12102929>
- Petrusán, J.-I., Rawel, H., & Huschek, G. (2016). Protein-rich vegetable sources and trends in human nutrition. *Current Topics in Peptide & Protein Research*, 17, 1–19.
- Popova, A., & Mihaylova, D. (2019). Antinutrients in plant-based foods: A review. *The Open Biotechnology Journal*, 13(1), 68–76. <https://dx.doi.org/10.2174/1874070701913010068>
- Pramitha, J. L., Rana, S., Aggarwal, P. R., Ravikesavan, R., Joel, A. J., & Muthamilarasan, M. (2021). Diverse role of phytic acid in plants and approaches to develop low-phytate grains to enhance bioavailability of micronutrients. *Advances in Genetics*, 107, 89–120. <https://dx.doi.org/10.1016/bs.adgen.2020.11.003>
- Reijnders, L., & Soret, S. (2003). Quantification of the environmental impact of different dietary protein choices. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78(3), 664S–668S. <https://dx.doi.org/10.1093/ajcn/78.3.664S>
- Richter, C. K., Skulas-Ray, A. C., Champagne, C. M., & Kris-Etherton, P. M. (2015). Plant protein and animal proteins: do they differentially affect cardiovascular disease risk? *Advances in Nutrition*, 6(6), 712–728. <https://doi.org/10.3945/an.115.009654>
- Rivera-Jiménez, J., Berraquero-García, C., Pérez-Gálvez, R., García-Moreno, P. J., Espejo-Carpio, F. J., Guadix, A., & Guadix, E. M. (2022). Peptides and protein hydrolysates exhibiting anti-inflammatory activity: Sources, structural features and modulation mechanisms. *Food & Function*, 13, 12510–12540. <https://doi.org/10.1039/D2FO02223K>
- Ruckmangathan, S., Ganapathyswamy, H., Sundararajan, A., Thiyagamoorthy, U., Green, R., & Subramani, T. (2022). Physico-chemical, structural, and functional properties of protein concentrate from selected pulses: A comparative study. *Journal of Food Processing and Preservation*, 19(2), 203–216. <https://dx.doi.org/10.1111/jfpp.17169>
- Saeed, S. I., Mergani, A. E., Aklilu, E., & Kamaruzzaman, N. F. (2022). Antimicrobial peptides: bringing solution to the rising threats of antimicrobial resistance in livestock. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 851052. <https://dx.doi.org/10.3389/fvets.2022.851052>
- Saetae, D., & Suntornsuk, W. (2011). Toxic compound, anti-nutritional factors and functional properties of protein isolated from detoxified jatropha curcas seed cake. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(1), 66–77. <https://dx.doi.org/10.3390/ijms12010066>
- Saget, S., Costa, M., Santos, C. S., Vasconcelos, M. W., Gibbons, J., Styles, D., & Williams, M. (2021). Substitution of beef with pea protein reduces the environmental footprint of meat buns whilst supporting health and climate stabilisation goals. *Journal of Cleaner Production*, 297, Article 126447. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126447>
- Salazar-Villanea, S., Bruininx, E. M. A. M., Gruppen, H., Carré, P., Quinsac, A., & Van der Poel, A. F. B. (2017). Effects of toasting time on digestive hydrolysis of soluble and insoluble 00-rape seed meal proteins. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(4), 619–630. <https://dx.doi.org/10.1007/s11746-017-2960-8>
- Samaranayaka, A. G., & Li-Chan, E. C. (2011). Food-derived peptidic antioxidants: a review of their production, assessment, and potential applications. *Journal of Functional Foods*, 3, 229–254. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.05.006>
- Samtiya, M., Aluko, R. E., & Dhewa, T. (2020). Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview. *Food Production Processing and Nutrition*, 2, 6. <https://dx.doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>
- Santos, M. d., Rocha, D. A. V. F. d., Bernardinelli, O. D., Oliveira Júnior, F. D., de Sousa, D. G., Sabadini, E., da Cunha, R. L., Trindade, M. A., & Pollonio, M. A. R. (2022). Understanding the performance of plant protein concentrates as partial meat substitutes in hybrid meat emulsions. *Food*, 11, e3311. <https://dx.doi.org/10.3390/foods11213311>
- Schaafsma, G. (2009). Safety of protein hydrolysates, fractions thereof and bioactive peptides in human nutrition. *European Journal of Clinical Nutrition*, 63(10), 1161–1168. <https://dx.doi.org/10.1038/ejcn.2009.56>
- Serikova, Y., Bousmanne, M., Drugmand, J.-C., Fouassier, M., Jeannin, L., & Schneider, Y.-J., (2015). Synthetic peptide matrices as support for stem cells culture. *BMC Proceedings*, 9, P50. <https://dx.doi.org/10.1186/1753-6561-9-S9-P50>
- Sharma, K., Kaur, R., Kumar, S., Saini, R. K., Sharma, S., Pawde, S. V., & Kumar, V. (2023). Saponins: A concise review on food related aspects, applications and health implications. *Food Chemistry Advances*, 2, 100191. <https://dx.doi.org/10.1016/j.focha.2023.100191>
- Skibska, A., & Perlikowska, R. (2021). Signal peptides — promising ingredients in cosmetics. *Current Protein and Peptide Science*, 22(10), 716–728. <https://dx.doi.org/10.2174/1389203722666210812121129>
- Smetana, S., Schmitt, E., & Mathys, A. (2019). Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, 144, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.042>
- Smetana, S., Profeta, A., Voigt, R., Kircher, C., & Heinz, V. (2021). Meat substitution in burgers: nutritional scoring, sensorial testing, and life cycle assessment. *Future Foods*, 4, Article 100042. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100042>
- Sogari, G., Bellezza Oddon, S., Gasco, L., van Huis, A., Sprangers, T., & Mancini, S. (2023). Review: Recent advances in insect-based feeds: from animal farming to the acceptance of consumers and stakeholders. *Animal*, 17, Article 100904. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100904>
- Song, M., Fung, T. T., Hu, F. B., Willett, W. C., Longo, V., Chan, A. T., & Giovannucci, E. L. (2016). Animal and plant protein intake and all-cause and cause-specific mortality: results from two prospective US cohort

- studies. *JAMA Internal Medicine*, 176(10), 1453-1463. <https://dx.doi.org/10.1001/jamainternmed.2016.4182>
- Stamer, A. (2015). Insect proteins-a new source for animal feed: The use of insect larvae to recycle food waste in high-quality protein for livestock and aquaculture feeds is held back largely owing to regulatory hurdles. *EMBO reports*, 16(6), 676-680. <https://doi.org/10.15252/embr.201540528>
- Thakur, P., Kumar, K., Ahmed, N., Chauhan, D., Eain Hyder Rizvi, Q. U., Jan, S., Singh, T. P., & Dhaliwal, H. S. (2021). Effect of soaking and germination treatments on nutritional, anti-nutritional, and bioactive properties of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.), quinoa (*Chenopodium quinoa* L.), and buckwheat (*Fagopyrum esculentum* L.). *Current Research in Food Science*, 4, 917-925. <https://dx.doi.org/10.1016/j.crfs.2021.11.019>
- Theurl, M. C., Lauk, C., Kalt, G., Mayer, A., Kaltenegger, K., Morais, T. G., Teixeira, R. F. M., Domingos, T., Winiwarter, W., Karl-Heinz Erb, K.-H., & Haberl, H. (2020). Food systems in a zero-deforestation world: dietary change is more important than intensification for climate targets in 2050. *Science of the Total Environment*, 735, Article 139353. <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139353>
- Thorning, T. K., Bertram, H. C., Bonjour, J. P., de Groot, L., Dupont, D., Feeney, E., Ipsen, R., Lecerf, J. M., Mackie, A., McKinley, M. C., Michalski, M. C., Rémond, D., Risérus, U., Soedamah-Muthu, S. S., Tholstrup, T., Weaver, C., Astrup, A., & Givens, I. (2017). Whole dairy matrix or single nutrients in assessment of health effects: current evidence and knowledge gaps. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 105, 1033-1045. <https://dx.doi.org/10.3945/ajcn.116.151548>
- Thornton, K. J. (2019). Triennial growth symposium: the nutrition of muscle growth: Impacts of nutrition on the proliferation and differentiation of satellite cells in livestock species. *Journal of Animal Science*, 97, 2258-2269. <https://doi.org/10.1093/jas/skz081>
- Timby, N., Domellöf, E., Hernell, B., Lönnerdal, B. & Domellöf, M. (2014). Neurodevelopment, nutrition and growth until 12 mo of age in infants fed a low-energy, low-protein formula supplemented with bovine milk fat globule membranes: A randomized controlled trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, 99, 860-868. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.064295>
- Toldra, F., Reig, M., Aristoy, M. C., & Mora, L. (2018). Generation of bioactive peptides during food processing. *Food Chemistry*, 267, 395-404. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.119>
- Tonheim, S. K., Nordgreen, A., Høgøy, I., Hamre, K., & Rønnestad, I. (2007). In vitro digestibility of water-soluble and water-insoluble protein fractions of some common fish larval feeds and feed ingredients. *Aquaculture*, 262(2-4), 426-435. <https://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.10.030>
- Tripathi, A. K., & Vishwanatha, J. K. (2022). Role of anti-cancer peptides as immunomodulatory agents: potential and design strategy. *Pharmaceutics*, 14(12), 2686. <https://dx.doi.org/10.3390/pharmaceutics14122686>
- Tyagi, A., Daliri, E. B. M., Ofosu, F. K., Yeon, S. J., & Oh, D. H. (2020). Food-derived opioid peptides in human health: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(22), 8825. <https://dx.doi.org/10.3390/ijms21228825>
- Wang, L., Wang, N., Zhang, W., Cheng, X., Yan, Z., Shao, G., Wang, X., Wang, R., & Fu, C. (2022). Therapeutic peptides: Current applications and future directions. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 7(1), 48. <https://dx.doi.org/10.1038/s41392-022-00904-4>
- Webb, M. J., Pendell, D. L., Harty, A. A., Salverson, R. R., Rotz, C. A., Underwood, K. R., Olson, K. C., & Blair, A. D. (2017). Influence of growth promoting technologies on animal performance, production economics, environmental impacts and carcass characteristics of beef. *Meat and Muscle Biology*, 1, 23-24. <https://dx.doi.org/10.221751/rmc2017022>
- Westhoek, H., Lesschen, J. P., Rood, T., Wagner, S., De Marco, A., Murphy-Bokern, D., Leip, A., van Grinsven, H., Sutton, M. A., & Oenema, O. (2014). Food choices, health and environment: Effects of cutting Europe's meat and dairy intake. *Global Environmental Change*, 26, 196-205. <https://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.02.004>
- Willett, J. Rockström, B. Loken, M. Springmann, T. Lang, S. Vermeulen, et al. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet*, 393, 10170, 447-492. [https://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
- Wood, J. D. (2017). Meat composition and nutritional value. In F. Toldra (Ed.), *Lawrie's meat science* (pp. 635-659). Duxford: Woodhead Publishing Limited.
- Wu, Y.-H. S., & Chen, Y.-C. (2022). Trends and applications of food protein-origin hydrolysates and bioactive peptides. *Journal of Food and Drug Analysis*, 30(2), 172-184. <https://dx.doi.org/10.38212/2224-6614.3408>
- Ye, H., Tao, X., Zhang, W., Chen, Y., Yu, Q., & Xie, J. (2022). Food-derived bioactive peptides: production, biological activities, opportunities and challenges. *Journal of Future Foods*, 2(4), 294-306. <https://dx.doi.org/10.3390/ijms21228825>
- Zaky, A. A., Simal-Gandara, J., Eun, J. B., Shim, J. H., El-Aty, A. M. A. (2022). Bioactivities, applications, safety, and health benefits of bioactive peptides from food and by-products: A review. *Frontiers in Nutrition*, 8, 815640. <https://dx.doi.org/10.3389/fnut.2021.815640>
- Zhang, Y. M., Ye, D. X., Liu, Y., Zhang, X. Y., Zhou, Y. L., Zhang, L., & Xin-Ling Yang, X. L. (2023). Peptides, new tools for plant protection in eco-agriculture. *Advanced Agrochem*, 2(1), 58-78. <https://dx.doi.org/10.1016/j.aac.2023.01.003>

Разработка мясорастительных продуктов из говядины с биологически активными добавками

Российский биотехнологический
университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва,
Российская Федерация

А. Т. Васюкова, Р. А. Эдварс, К. В. Любимова

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Васюкова Анна Тимофеевна,
E-mail: vasyukova-at@yandex.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Васюкова, А.Т., Эдварс, Р.А., & Любимова, К.В. (2024). Разработка мясорастительных продуктов из говядины с биологически активными добавками. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(1), 53-70. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.373>

ПОСТУПИЛА: 14.10.2023

ПРИНЯТА: 15.06.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.06.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии
конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение: Важным условием продовольственной безопасности является производство качественных белковых продуктов, сбалансированных по пищевым веществам, удовлетворяющим потребности организма. Обогащение мясного сырья растительными компонентами позволит частично решить скорейшее насыщение товарного рынка России новыми, высококачественными, безопасными функциональными продуктами, способными сбалансировать и упорядочить структуру питания.

Цель: разработка рецептов мясорастительных продуктов с использованием биологически активных веществ на основе клетчатки, семян чиа и овощей. Объекты исследования: сырье, мясорастительный фарш, котлеты.

Материалы и методы: В работе использованы стандартные методы: влагосвязывающая способность определялась планиметрическим методом прессования по Грау-Хамму в модификации Воловинской-Кельман (1960), структурно-механические свойства фарша — на ротационном вискозиметре «Брукфильда DV-II + Pro», органолептическая оценка — по ГОСТ 9959-2015. Мясо и мясные продукты. Квалиметрическая оценка выполнена по рекомендациям Бражникова и Хлебникова (1983). В качестве растительного сырья использован лук, кабачок, укроп и морковь, а биологически активными веществами выбрана клетчатка с семенами чиа, CO₂-экстракты пряностей.

Результаты: Разработаны технологические режимы обработки изделий в пароконвектомате с подачей 30% пара в течение 8 минут при температуре 170 °С, затем на режиме «жар-конвекция» в течение 4 минут при 190 °С до 80 °С внутри. Установлено, что котлеты «Пикантные» и биточки паровые содержат 3,25 % суточной потребности в β-каротине и 20 % в витамине А, 112–125 % витамина Е.

Выводы: полученные результаты могут быть использованы при производстве мясных рубленых изделий в предприятиях общественного питания, а также на предприятиях пищевой промышленности индустриальным способом на линии «Бегарат».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

модельные пищевые системы; мясорастительные продукты; реологические показатели, пищевая ценность; квалиметрическая оценка

Development of Meat and Vegetable Products from Beef with Biologically Active Additives

Anna T. Vasyukova, Rostislav A. Edvars, Kristina V. Lyubimova

Russian Biotechnological University,
Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Vasyukova A.T.
E-mail: vasyukova-at@yandex.ru

DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

FOR CITATIONS:

Vasyukova, A.T., Edvars, R.A., & Lyubimova, K.V. (2024). Development of meat and vegetable products from beef with biologically active additives. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(1), 53-70. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.373>

RECEIVED: 14.10.2023

ACCEPTED: 15.06.2024

PUBLISHED: 30.06.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background: A crucial aspect of contemporary food production is the development of high-quality protein products that are balanced in nutrients to meet bodily requirements. Integrating plant components into raw meat addresses the challenge of rapidly introducing new, high-quality, safe functional products into the Russian market. These products aim to enhance and regulate nutritional structure.

Purpose: To develop recipes for meat and plant-based products incorporating biologically active substances derived from fiber, chia seeds, and vegetables.

Materials and Methods: The study employed standard techniques: moisture-binding capacity was measured using the planimetric pressing method according to Grau-Hamm as modified by Volovinskaya-Kelman (1960). Structural and mechanical properties of ground meat were analyzed using a Brookfield DV-II+ Pro rotational viscometer. Organoleptic evaluation followed GOST 9959-2015 standards for meat and meat products. Qualimetric assessment was performed based on the recommendations by Brazhnikov and Khlebnikov (1983). Onions, zucchini, dill, and carrots were utilized as vegetable ingredients, while fiber with chia seeds and CO₂ spice extracts served as biologically active substances.

Results: Technological processes were developed for cooking in a combi oven using 30 % steam for 8 minutes at 170 °C, followed by a «heat-convection» mode for 4 minutes at 190 °C until the internal temperature reached 80 °C. It was determined that the «Spicy» patties and steamed meatballs provide 3.25 % of the daily requirement for β-carotene and 20 % for vitamin A, as well as 112–125 % for vitamin E.

Conclusion: The findings can be applied in the production of ground meat products in food service establishments and by food industry enterprises using industrial methods on the Begarat line.

KEYWORDS

dietary supplements; model food systems; meat and vegetable products; cooking; nutritional value

ВВЕДЕНИЕ

Основной особенностью рационального и здорового питания (Seine, 2020) является создание сбалансированных рационов (Garcia, 2024) для различных контингентов питающихся (Song, 2023; Berendsen, 2017), которые отвечали бы потребностям организма человека (Shahriarpour, 2020), были не только полезными: обладали набором витаминов, незаменимых аминокислот, полиненасыщенных жирных кислот, макро- и микроэлементов, но и вкусными, ароматными, формировали продовольственную грамотность населения (Daker, 2024). Существуют множество биологически активных добавок (БАД), как искусственных (химические, синтетические), так и натуральных (произведенные из натуральных фруктов и овощей). Все большей тенденцией в современном мире становится отказ от продуктов ГМО, от химических добавок¹ (подсластители E 900–999, усилители вкуса и запаха E 600–699 и т.д.) (Павлова и др., 2007; Алексеев, 2013).

Пряно-ароматические растения широко используются в технологии пищевых продуктов (Богодист-Тимофеева и соавт., 2016). Это различные виды луков, чеснок, горчица белая, горчица черная, петрушка, укроп, перец чёрный, бадьян и другие (Филонова, 2015). Невозможно представить ни одно кулинарное блюдо без пряностей. Приправы и пряности содержат эфирные масла, гликозиды, танины и вкусовые вещества улучшают кулинарные качества продуктов, возбуждают деятельность пищеварительных органов, вызывают аппетит, усиливают усвояемость питательных веществ, благоприятно влияют на деятельность нервной и сердечнососудистой систем, а также на общее психическое состояние человека (Чимонина, 2016; Qing-Yi Lu et al., 2017; Valverde-Queralt et al., 2014).

Отмечается потенциальное использование специй в консервировании пищевых продуктов и увеличении срока их хранения в качестве природного биоингредиента (Gottardi, 2016), применение в инновационных технологиях инкапсулирования противомикробных агентов (Suleiman, 2023). Природные противомикробные препараты безопасны, поскольку они могут ограничить устойчивость микробов и удовлетворить потребности человека в более здоровых продуктах питания (Teshome, 2022).

Экстракты черного и кайенского перца, корицы, имбиря, розмарина, куркумы и средиземноморского орегано, имея высокую антиоксидантную способность, которая коррелирует с общим количеством основных химических веществ, проявляют пребиотическую активность, способствуя росту полезных бактерий и подавляя рост патогенных бактерий, что позволяет предположить их потенциальную роль в регуляции кишечной микробиоты и улучшении здоровья желудочно-кишечного тракта (Qing-Yi Lu et al., 2017). Используя антиоксидантные свойства специй в качестве натуральных пищевых консервантов при кулинарной обработке продуктов, можно регулировать длительность технологического процесса или производить кулинарные изделия с пролонгированными сроками годности (Gottardi et al., 2017). Фактически, многие соединения, выделенные из специй (эфирные масла, танины, гликозиды), продемонстрировали противомикробную активность в отношении некоторых наиболее распространенных микроорганизмов, которые влияют на качество пищевых продуктов и срок их хранения (Tajkarimi et al., 2010). Использование специй в качестве консервантов оценивалось в различных пищевых продуктах: мясе, рыбе, молочных продуктах, овощах, рисе, фруктах и продуктах животного происхождения (Tajkarimi et al., 2010; Jayasena & Jo, 2013). Hernandez-Ochoa, et al. (2014) зафиксировали, что эфирные масла тмина и гвоздики ингибировали рост общего количества бактерий на 3,78 log КОЕ/г при использовании на образцах мяса в течение 15 дней при температуре 2 °C. Также была изучена антимикробная активность экстрактов различных пряностей в сыром курином мясе при хранении в течение 15 суток при температуре 4 °C. Было обнаружено, что обработка сырого куриного мяса экстрактами гвоздики, орегано, корицы и черной горчицы эффективна против роста микробов (Radha et al., 2014; Prakash & Singh, 2012). Эфирные масла майорана и кориандра показали более 50 % защиту семян нута от заражения *Aspergillus flavus* (Prakash et al., 2012).

Экстракт листьев мушмулы, богатый тритерпеноидами, вызывает ингибирование роста и апоптоз раковых клеток поджелудочной железы путем изменения ключевых соотношений метаболизма глюкозы. Однако точный метаболический механизм этого эффекта ингибирования роста неизвестен (Lu, 2017).

¹ Алексеев, В. С., Корнева, М. В., Шишкина, М. А., & Шнайдер, Д. Д. (2013). Справочник БАДов. Москва: Научная книга.

Овощные и фруктовые соки содержат полифенолы, олигосахариды, клетчатку и нитраты (например, свекольный сок), которые могут вызывать эффект, подобный пребиотикам. Диеты на основе соков становятся популярными (Henning, 2017). Однако научных доказательств их пользы для здоровья недостаточно, чтобы определить явный эффект воздействия на микробиоту кишечника.

Кроме овощей и фруктов, являющихся богатыми источниками природных биологически активных соединений, альтернативой могут выступать морские водоросли, которые считаются потенциально функциональной пищей, позволяющей снизить риск многих заболеваний, поскольку они содержат различные биологически активные соединения (Choudhary, 2021). Данные эпидемиологических исследований показывают, что регулярное употребление диеты на основе морских водорослей может повысить иммунитет против ряда заболеваний, включая новый вирус COVID-19, за счет ингибирования ангиотензин-I-превращающего фермента (АПФ).

Антимикробная, антиоксидантная активность некоторых растительных экстрактов и их эфирных масел обусловлена главным образом наличием некоторых основных биологически активных соединений, включая фенольные кислоты, терпены, альдегиды и флавоноиды (Aziz, 2018). Исследования по включению натуральных консервантов в продукты из мяса и птицы, а также фрукты и овощи показывают положительную динамику в продлении срока их хранения. Однако показаны только предполагаемые механизмы действия этих природных консервантов.

Проведенные исследования (Tajkarimi et al., 2010; Jayasena & Jo, 2013; Hernandez-Ochoa et al., 2014) способствовали изменениям качества и количества пищи и ее полноценности (Васюкова и соавт. 2020). Проблемы со здоровьем человека растут. Существенную роль среди причин недостаточного потребления биологически активных веществ современным человеком играют также такие факторы, как монотонизация рациона, утрата им разнообразия, сведение к узкому стандартному набору нескольких основных групп продуктов и готовых блюд (Васюкова и соавт., 2020).

Изменения произошли и в продолжительности времени нахождения в пути до рабочего места лю-

дей, энергозатратах, эмоциональных нагрузках. Возникла необходимость регулирования порции пищи, ее насыщенности питательными веществами и калорийностью (Васюкова, 2019). Гомеостатический контроль потребления пищи находится под сильным влиянием гедонизма, системы вознаграждения и пищевого опыта (Hernández Ruiz de Eguilas, 2018). Необходимо, чтобы в этом небольшом объеме содержалось как можно больше полезных веществ, чтобы дневной рацион содержал все незаменимые компоненты. Это влечет к изменению рациона питания различных контингентов, особенно детей (Величковский, 2009). Поэтому рацион питания населения постоянно корректируется. Появилось много функциональных продуктов, которые разрабатываются на основе мясного или рыбного сырья с введением в рецептуры различных добавок, содержащих биологически активные вещества, а также выполняющих сорбирующие, структурирующие, гелеобразующие (Соловьева, 2013). Использование порошка морских водорослей в ряде рецептов способствовало частично устранить дефицит йода в рационе питания людей (Пьянкова, 2016). Введение натуральных добавок растительного происхождения, в том числе порошка красного лука (Сафронова и соавт., 2015), дало возможность повысить пищевую ценность рубленых мясных продуктов. Обогащение мясopодуков макро- и микронутриентами за счет использования грибного порошка в рецептуре (Петровой, 2014). Введение комплексной добавки «моби-люкс» в мясные и рыбные фарши (Васюкова и соавт., 2020) позволило обогатить кулинарные изделия биоорганическим кальцием и железом. Использование мышечной ткани макруруса малоглазого и овощей позволило повысить пищевую ценность полуфабрикатов из мяса птицы (Буракова, 2022).

Для поддержания здоровья и работоспособности человека, увеличения периода его жизни необходимо соблюдение принципов рационального питания, которое гарантирует поступление в организм необходимого количества эссенциальных питательных веществ, в том числе и микронутриентов, абсолютно необходимых для нормального осуществления обмена веществ, надежного обеспечения всех жизненных функций. Однако получение продуктов, в том числе длительного срока хранения, максимально удовлетворяющих потребностям человека еще создано недостаточ-

но. Не учтен уровень потребления микроэлементов в комплексе со сбалансированным составом аминокислот или ПНЖК.

Растущий интерес потребителей к здоровью расширил рынок для широкого спектра продуктов: многочисленных пищевых добавок, которые сейчас представлены на рынке. Добавки популярны, но безопасны ли они? Многие пищевые добавки, вероятно, безопасны при использовании в соответствии с рекомендациями. Однако с 1994 года, когда Конгресс США решил, что их следует регулировать, как если бы они были пищевыми продуктами, а также доказать, что они представляют значительный риск для потребителя².

Рост болезней «цивилизации» (повышенная масса тела, диабет второго типа, сердечно-сосудистые, онкологические и другие неинфекционные) требует оперативного решения создания функциональных продуктов, целенаправленно обеспечивающих возникающие дефициты. Кроме того, важную роль играют эпигенетические изменения, связанные с питанием, и программирование плода (Aziz, 2018). Также известную, но до конца не изученную тесную связь ожирения с широким спектром сопутствующих заболеваний, таких как сахарный диабет 2 типа, сердечно-сосудистые заболевания и др., как заболеваний одной этиопатологии (Корр, 2019), необходимо всесторонне исследовать. Выявить динамику воздействия факторов питания, обогащенных, функциональных продуктов на развивающиеся заболевания. Одно из этих направлений — создание функциональных мясoproductов. Причем введение в мясорастительные системы биологически активных добавок — относительно новая тенденция, и в нашей стране еще не нашла достаточно широкого применения.

В перспективе в производстве мясных продуктов могут появиться нетрадиционные биотехнологии, основанные на изучении полезных свойств микроорганизмов, используемых в качестве стартовых культур (Соловьева, 2013). Биомодификация коллагенсодержащего сырья заквасками бактерий BB-12 и PS-4 с последующей выдержкой способствует улучшению его характеристик и позволяет

использовать данное сырье в качестве частичной замены мясного сырья в рецептурах полуфабрикатов (Тарасова, 2013). Использование бананового пюре, рисовой муки, морковного и тыквенного порошка в качестве БАД и пластифицирующей добавки (использовано сливочное масло) позволяет стабилизировать функционально-технологические свойства сырья (Васюкова, 2008, 2013, 2020). Исследования показали, что функциональные продукты на основе мяса рассматриваются как возможность улучшить пищевой профиль мясных продуктов за счет добавления биологически ценных компонентов и удовлетворить конкретные потребности потребителей (Espinales, 2024, Marques, 2010). Предложенные способы переработки и включения в рецептуры БАД позволили сделать заключение о возможности использования в технологии мясных продуктов не только отдельных биологически активных добавок, но также CO₂-экстрактов пряностей, объектов морского происхождения, содержащих ряд физиологически ценных компонентов.

Цель текущего исследования — разработка рецептур мясорастительных продуктов с использованием биологически активных веществ на основе клетчатки, семян чиа и овощей. Исследовательские вопросы: (1) обосновать целесообразность использования добавок — клетчатки с семенами чиа, CO₂-экстрактов пряно-ароматического сырья, структурирующих ингредиентов из сырых овощей; (2) подобрать режимы введения добавок и структурообразователей в комбинированные системы и определить компонентный и количественный их состав; (3) методом математического моделирования получить варианты рецептур мясорастительных продуктов с биологически активными добавками.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

При разработке рецептуры и технологии мясорастительных полуфабрикатов с биологически активными добавками использовалось сырье растительного и животного происхождения в соот-

² National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2005). *Dietary supplements: A framework for evaluating safety*. Washington: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/10882>

ветствии с действующими нормативными документами³: соевая клетчатка «Протоцель», семена чиа (изготовитель — компания «Агроимпэкс»), овощи (ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», Московской области), говядина I категории упитанности (производитель — компания «Мираторг»).

Объектами исследования служило сырье, входящее в рецептуру фарша, клетчатка и семена чиа, модельный мясорастительный фарш, котлеты и бигочки мясорастительные.

Методы и дизайн исследования

В работе использованы стандартные методы определения качества сырья и готовой продукции: органолептические, физико-химические и реологические. Общий химический состав разработанных полуфабрикатов и их калорийность определены с использованием общепринятых методик, комплексная квалитетическая оценка качества полуфабрикатов и готовых блюд выполнена в соответствии с рекомендациями А.М. Бражникова и В.И. Хлебникова (1983). Влагосвязывающая способность определялась методом Грау и Хамма в модификации Воловинской (1960). Влагоудерживающую способность (ВУС) фарша определяли по разности между массовой долей влаги в фарше и количеством влаги, выделившейся в процессе термической обработки. Кислотность мясного фарша и готовой продукции определяли потенциометрическим методом с помощью иономера ЭВ-74; структурно-механические свойства фарша — на ротационном вискозиметре «Брукфильда DV-II + Pro».

Среднюю плотность продукта, кг/м³, для сравнительно небольшого объема определяли по формуле:

$$\rho = m/V, \text{ кг/м}^3 \quad (1)$$

где m — масса продукта, кг; V — объем продукта, м³.

Разработаны отдельные рецептуры полуфабрикатов, позволяющие разнообразить ассортимент продукции из рубленого мяса.

Все исследования проводились не менее чем в трех повторностях. Продукты при исследовании соответствовали существующим требованиям стандартов.

Выбор сырья и пищевых добавок, был основан на работах Пьянкова (2016) об использовании порошка из морской капусты в фаршевых композициях; Нечепорук (2016) об овощных порошках как функциональных ингредиентах продуктов питания; Сафронова (2015) по повышению пищевой ценности мясных рубленых изделий путем введения в них натуральных добавок растительного происхождения и собственных производственных разработках (с 2012 по 2024 годы), результаты которых опубликованы в открытой печати.

Обоснование выбора продуктов:

- (1) Соевая клетчатка «Протоцель» обладает высокой влагосвязывающей способностью (1:8–10) и жир-эмульгирующей способностью, является комбинацией ингредиентов с высокими показателями ВСС и ВУС в соотношении 1:15 и 1:9. Клетчатка с семенами чиа имеют большой объем нерастворимой клетчатки, которая быстро насыщает организм, остается неизменной при прохождении через пищеварительный тракт. Поскольку она абсолютно не усваивается, нерастворимая клетчатка не является источником калорий. Клетчатка облегчает работу кишечника, очищает вредные вещества, формирует здоровую микрофлору. Благодаря данному свойству продукта метаболизм ускоряется, пищеварение улучшается.
- (2) Семена чиа содержат альфа-линолевую кислоту (АЛК) — это ненасыщенная незаменимая жирная кислота, которая относится к омега-3 жирным кислотам с короткой цепью. Семена чиа — это семена растения «испанский шалфей» или «белая чиа». Обнаружено, что чиа увеличивает маркеры АЛК в крови. Химический состав чиа содержит жир — 30,74 г, углеводы — 42,12 г, белки — 16,54 г и 18 из 20 незаменимых аминокислот^{3,4}.
- (3) Лук репчатый богат фитонцидами и витаминами группы В, витамином С, РР, Е, D, К, включает биотин, каротиноиды, лимонную и яблочную кислоты, эфирное масло, моно-

³ ГОСТ Р 51705.1–2001. Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП.

- и олигосахариды, флавоноиды. В репчатом луке девятнадцать макро- и микроэлементов. Растение обладает фитонцидной активностью^{4,5}.
- (4) Морковь помимо витамина А и бета-каротина, содержит клетчатку, витамины В₁, В₂, В₅, В₆, В₉, С, Е, К, РР, калий, магний, марганец, медь, хром, а еще четыре типа сахаров: сахарозу, глюкозу, ксилозу, фруктозу и немного крахмала⁴. Является источником антиоксидантов, помогающих защитить клетки организма от окислительного повреждения⁶.
- (5) Кабачок — исключительно хороший источник витамина С, а также представляет собой кладезь других антиоксидантных фитохимических веществ, включая витамин А, супероксиддисмутаза и глутатион. Он богат клетчаткой, витаминами группы В, С и РР, а также микроэлементами: калием, фолиевой кислотой, кальцием и магнием. Благодаря этому, кабачки способствуют легкому очищению организма от токсинов, укрепляют иммунную систему, нормализуют обмен веществ и снижают уровень мочевой кислоты в организме (Елисеева & Ямпольский, 2019).
- (6) В состав куриных яиц входит более 40 витаминов, в том числе: В₁, В₂, В₄, В₅, В₆, В₉, В₁₂, С, D, Е, К, Н и РР, а также множество микро- и макроэлементов — калий, кальций, магний, цинк, селен, медь, марганец, железо, хлор, сера, йод, хром, фтор, молибден, бор, ванадий, олово, титан, кремний, кобальт, никель, алюминий, фосфор и натрий. Калорийность яиц достаточно неравномерна. Общая калорийность равна порядка 157 ккал на 100 грамм. Основная часть калорийности приходится на желток (он приблизительно в 8 раз калорийнее белковой части). При оценке состава нутриентов можно увидеть, что большая часть калорий приходится на белки (12–17 грамм в 100 граммах продукта) и жиры (11–12 грамм). Говядина богата магнием, кальцием, калием, натрием, фосфором, железом, аминокислотами. Есть много водорастворимых витаминов: В₁, В₂, В₄, В₅, В₆, В₉, В₁₂, С, а также К. А эластин и коллаген помогают сохранить здоровье суставов (Таблица 1).

Таблица 1

Химический состав исследуемых объектов³

Химический состав	Фарш говяжий	Клетчатка ⁷ с семенами чиа ⁸ (90/10)	Лук репчатый	Яйцо куриное
Калорийность, кКал	143	98	41	157
Белки, г	17.4	8	1.4	12,7
Жиры, г	8.2	2.2	0.2	11,5
Углеводы, г	0	9	8.2	71,1
<i>Витамины</i>				
Витамин А, РЭ, мкг	—	—	—	2.5
бета Каротин, мг	—	—	0.001	0.25
Витамин В ₁ , тиамин, мг	0.6	0.6	0.05	0.07
Витамин В ₂ , рибофлавин, мг	0.15	0.2	0.02	0.44
Витамин В ₄ , холин, мг	70	—	6.1	25.1
Витамин В ₅ , пантотеновая, мг	0.5	—	0.1	1.3
Витамин В ₆ , пиридоксин, мг	0.37	—	0.12	0.14
Витамин В ₉ , фолаты, мкг	8.4	—	9	7

⁴ Микронутриенты в питании здорового и больного человека. Учебник. М.: Колос. 2002

⁵ Скурихин, И.М. (Ред.). Химический состав российских пищевых продуктов. ДеЛи принт, 2002.

⁶ Чимонина И.В., & Кочарян, С.А. (2014). Биотехнологические особенности использования моркови и ее влияние на состояние организма человека. *Мир науки, культуры, образования*, (3), 419–422.

⁷ Соевая клетчатка протопектинового типа. Справочник. Протоцель — натуральная соевая клетчатка. Партнер-М.

⁸ Химический состав и пищевая ценность семян чиа — современное состояние знаний. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31159190/>

Продолжение Таблицы 1

Химический состав	Фарш говяжий	Клетчатка ⁷ с семенами чиа ⁸ (90/10)	Лук репчатый	Яйцо куриное
Витамин В ₁₂ , кобаламин, мкг	2.6	—	—	0.52
Витамин С, аскорбиновая, мг	—	1.6	10	—
Витамин D, кальциферол, мкг	—	—	—	2.2
Витамин Е, альфа токоферол, мг	0.4	0.5	0.2	0.6
гамма Токоферол, мг	—	—	—	—
Витамин Н, биотин, мкг	3.04	—	0.9	20.2
Витамин РР, НЭ, мг	8.2	—	0.5	3.6
Ниацин, мг	—	—	0.2	0.19
<i>Макроэлементы</i>				
Калий, К, мг	326	407.0	175	140
Кальций, Са, мг	9	631.0	31	55
Кремний, Si, мг	—	—	5	12
Магний, Mg, мг	22	335.0	14	137
Натрий, Na, мг	65	16.0	4	134
Сера, S, мг	230	—	65	176
Фосфор, Ph, мг	188	860.0	58	192
Хлор, Cl, мг	59	—	25	156
<i>Микроэлементы</i>				
Алюминий, Al, мкг	—	—	400	—
Бор, В, мкг	—	—	200	—
Ванадий, V, мкг	—	—	—	—
Железо, Fe, мг	2.7	7.7	0.8	2.5
Йод, I, мкг	7.2	—	3	20
Кобальт, Co, мкг	7	—	5	10
Литий, Li, мкг	—	—	—	—
Марганец, Mn, мг	0.04	1.3	0.23	0.029
Медь, Cu, мкг	180	0.9	—	83
Никель, Ni, мкг	7.04	—	3	—
Рубидий, Rb, мкг	99.5	—	476	—
Селен, Se, мкг	0.10	—	0.5	30.7
Стронций, Sr, мкг	—	—	—	—
Титан, Ti, мкг	—	—	—	—
Молибден, Mo, мг	0.6	—	—	6
Фтор, F, мг	0.15	—	31	55
Хром, Cr, мкг	70	—	2	4
Цинк, Zn, мг	0.5	4.6	0.85	1.11
<i>Усвояемые углеводы</i>				
Моно- и дисахариды (сахара), г	1.7	—	8.1	0.7
Крахмал и декстрины, г	0.02	—	0.1	—
Галактоза, г	—	—	—	—
Глюкоза (декстроза), г	0.27	—	1.3	—
Сахароза, г	1.35	—	6.5	—
Фруктоза, г	0.25	—	1.2	—
<i>Незаменимые аминокислоты</i>				

Окончание Таблицы 1

Химический состав	Фарш говяжий	Клетчатка ⁷ с семенами чиа ⁸ (90/10)	Лук репчатый	Яйцо куриное
Аргинин, г	0.81	—	—	0,79
Валин, г	0.77	—	0,025	0,77
Гистидин, г	0.53	—	0,014	0,34
Изолейцин, г	0.59	—	0,04	0,6
Лейцин, г	1.12	—	0,05	1,08
Лизин, г	1.2	—	0,06	0,9
Метионин, г	0.34	—	0,01	0,42
Треонин, г	0.60	—	0,04	0,61
Триптофан, г	0.16	—	0,02	0,2
Фенилаланин, г	—	—	0,041	0,65
<i>Заменяемые аминокислоты</i>				
Аланин, г	0.83	—	—	0,71
Аргинин, г	—	—	0,16	—
Аспарагиновая кислота, г	1.34	—	—	1.23
Гидроксипролин, г	0.22	—	—	—
Глицин, г	0.71	—	0,041	0.42
Глутаминовая кислота, г	2.34	—	0,22	1.77
Пролин, г	0.52	—	0,03	0.4
Серин, г	0.59	—	0,027	0,93
Тирозин, г	0.5	—	0,03	0,48
Цистеин, г	0.2	—	0,013	0,29
<i>Стиролы (стерины)</i>				
Холестерин, мг	63.06	—	—	570
Фитостеролы, мг	—	—	—	—
<i>Насыщенные жирные кислоты</i>				
Насыщенные жирные кислоты, г	6.8	—	0.042	3
14:0 Миристиновая, г	0.41	—	—	0.04
16:0 Пальмитиновая, г	3.12	—	—	2.05
15:0 Пентадекановая, г	0.08	—	—	0.01
17:0 Маргаритиновая, г	0.19	—	—	0.03
18:0 Стеариновая, г	1.52	—	—	0.88
20:0 Арахидиновая, г	—	—	—	0.04
22:0 Бегеновая, г	—	—	—	—
<i>Моно ненасыщенные жирные кислоты</i>				
18:1 Олеиновая (омега-9), г	4.67	—	—	4.09
14:1 Миристинолевая, г	0.19	—	—	—
16:1 Пальмитолеиновая, г	0.68	—	—	0.39
<i>Поли ненасыщенные жирные кислоты</i>				
Омега-3 жирные кислоты, г	0.1	—	—	0.101
Омега-6 жирные кислоты, г	0.3	—	0.004	1.784
18:2 Линолевая, г	0.3	—	0.013	1.1
18:3 Линоленовая, г	0.1	—	—	0.06

Разрабатываемые полуфабрикаты и кулинарные изделия пролонгированных сроков годности станут отправной точкой для распространения этой технологии в системе общественного питания и пищевой промышленности. Предполагается, что разработанный ассортимент по физико-химическим, реологическим и органолептическим свойствам будет превосходить аналоги.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным Таблицы 1 видно, что растительное сырье дополняет мясо жизненно важными нутриентами. Например, витамин А отсутствует в говядине, в свою очередь он имеется в курином яйце; кремний, отсутствующий в говядине, компенсируется содержанием также в курином яйце; клетчатка с семенами чиа дополняет продукт повышенным содержанием калия, репчатый лук в свою очередь обогащает мясное сырье витамином С. При добавлении измельченного мелким кубиком лука в рецептуру мясного фарша полученный комбинированный состав обладает более выраженными реологическими характеристиками (сочность, пластичность), по сравнению с контролем. Подобные результаты получены и при введении кабачков (Васюкова и др., 2016; Васюкова и др., 2020).

После введения кабачков в рецептуру фарша последний начинает разжижаться, поэтому требуется незамедлительно проводить порционирование, панирование и замораживание или тепловую обработку. Введение измельченной моркови в рецептуру мясного фарша полученный комбинированный состав менее сочный по сравнению с предыдущими (лук и кабачок), и полуфабрикаты хорошо формуруются, панируются, форма устойчивая, не крошась. Добавка CO_2 -экстракта позволяет регулиро-

вать вкус мясорастительных изделий, придавая им пикантное послевкусие и приятный аромат (Васюкова и др., 2022).

Для оптимизации технологического процесса изготовления мясных рубленых изделий анализировали существующие технологии, имеющиеся в нормативных документах^{9,10,11}, а также организации процесса производства на стадии изготовления полуфабрикатов и кулинарных изделий^{12,13}.

Для определения дозирования растительных ингредиентов на основе контрольного образца — рецептура № 608 «Котлеты, биточки, шницели», разработаны 4 варианта мясорастительного фарша. Методом математического моделирования определены оптимальные концентрации основного и дополнительного сырья (Таблица 2).

В результате математической обработки получено четыре варианта модельных фаршей, максимально отвечающих поставленной цели — конструированию рецептур мясорастительных продуктов с использованием биологически активных веществ на основе клетчатки, семян чиа и овощей.

Отличительной особенностью разработанной технологии и выбранного контроля явилось использование CO_2 -экстракта перца черного молотого, по сравнению с классическими технологиями, приведенными в нормативной документации (действующем сборнике рецептур⁷ и ГОСТ 32951–2014 Полуфабрикаты мясные и мясосодержащие. Общие технические условия.

Изготовление контрольных образцов котлет и опытных с добавлением овощей (лук репчатый, или морковь, или кабачок), клетчатки с семенами чиа, перца черного молотого (CO_2 -экстракт) осуществляли в пароконвектомате (Abat ПКА 10–1/1 ВМ2). Время тепловой обработки 12–15 минут.

⁹ Голунова, Л. Е. (2003). *Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания*. Санкт-Петербург: Профикс.

¹⁰ Васюкова, А. Т. (2013). *Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий кухонь народов России для предприятий общественного питания*. Москва: Дашков и Ко.

¹¹ *Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания*. М.: Экономика, 1982.

¹² Васюкова, А. Т., Жилина, Т. С. (2016). *Организация процесса и приготовление сложных хлебобулочных, мучных кондитерских изделий. Лабораторный практикум*. Москва: КноРус.

¹³ Васюкова, А. Т., & Любечкая, Т. Р. (2017). *Организация производства и обслуживания на предприятиях общественного питания*. Москва: Дашков и К.

Таблица 2

Рецептура мясорастительного фарша (нетто, г)

Наименование ингредиента	Контрольный образец №608	Исследуемые образцы			
		1	2	3	4
Котлетное мясо (говядина)	37	38,25	34,5	32,5	29,5
Хлеб пшеничный	9	—	—	—	—
Клетчатка с семенами чиа	—	2	4	6	8
Молоко	12	7	8	9	10
Сухари панировочные	5	5	5	5	5
Соль	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Перец чёрный молотый (СО ₂ -экстракт)	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Лук репчатый (Л), или морковь (М), или кабачок (К)	—	4М	4Л	3Л	4К
Укроп свежий зелень	—	—	—	1	—
Яйцо	—	4	4	4	4
Масса полуфабриката	63,75	63,75	63,75	63,75	63,75
Масса готового изделия	56,1	55,9	56,3	55,7	56,2

Как видно из Таблицы 2, основным отличием опытной рецептуры от контроля являлась замена хлеба в количестве 9 г (контроль) на клетчатку с семенами чиа (от 2 до 8 г). Кроме того в контроль не входили овощи (лук, морковь, кабачок от 3 до 4 г) (образцы 1–4), а также дополнительно яйцо в количестве 4 г (контроль — отсутствует) и в одном образце — укроп.

Хлеб с молоком, приготовленный по контрольной рецептуре, имеет большую массу и массовую долю влаги, чем клетчатка с семенами чиа. При замене в рецептуре хлеба указанными выше компонентами массовый выход готового изделия уменьшился в образце №3 и №1 на 0,36 % и 0,71 % соответственно, а во втором и четвертом образцах наблюдалось увеличение на 0,36 % и 0,18 % соответственно.

Оценку комплексных органолептических показателей контрольных и опытных образцов готовых изделий проводили по 5 балльной шкале. При органолептической оценке контрольных и опытных образцов обращали внимание на их внешний вид (форма, состояние поверхности, цвет), консистенцию (сочность, пластичность), вкусо-ароматическую гамму.

Оптимальным образцом фарша выбран №2, так как органолептическая оценка показала, что в данном образце лучше вкусовая гамма, компоненты прекрасно дополняют друг друга.

Для дегустации изделий из модельного фарша целевого использования была выбрана возрастная категория питающихся 20–30 лет.

Технология приготовления образцов котлет включала измельчение говядины, овощных компонентов (репчатый лук, морковь, кабачок, укроп), введение БАД (клетчатка с семенами чиа в соотношении 90:10), соединение с яйцом, солью, перцем и перемешивание. Из полученного фарша готовили котлеты и биточки. Технологический процесс включал порционирование, формование и панирование полуфабрикатов в панировочных сухарях. Разработанные технологические режимы, обеспечили сокращение потерь питательных веществ. Тепловая обработка опытных и контрольных образцов осуществлялась в пароконвектомате с подачей 30 % пара в течение 8 минут при температуре 170 °С, затем приготовление выполнялось на режиме «жар-конвекция» в течение 4 минут при температуре 190 °С до достижения температуры 80 °С внутри мясорастительного изделия.

Обоснование потерь массы готового изделия

С повышением температуры образца потери массы увеличиваются. При этом следует отметить, что увеличение потерь зависит от способа нагрева (традиционный, СВЧ и пр.). При температуре 70 °C происходит свертывание белка. Они теряют способность удерживать воду, т. е. становятся гидрофобными из гидрофильных, при этом уменьшается масса готового продукта. Общие потери белка при термообработке колеблются от 2 до 7 %. Отличием предлагаемой технологии от классических способов приготовления изделий из мясной котлетной массы является использование клетчатки в смеси с семенами чиа, которые не подвергаются предварительной тепловой обработке. При введении клетчатки в фарш влага не удаляется в окружающую среду, а удерживается за счет адсорбции. При этом формируется развитая пористая структура, состоящую из мезо- и микропор. Данные свойства клетчатки, как натурального сорбента, подтверждены исследованиями, основными преимуществами которых является возможность их длительного применения (Нұралы, 2017).

Установлено, что потери массы полуфабрикатов при обработке в пароконвектомате составили 8,8 %. Наименьшие потери характерны для панированных изделий из котлетной массы, так как выдавленная белками влага удерживается наполнителем (хлебом), о чем имеются данные в традиционных технологиях (Тарасова, 2013; Васюкова & Жилина, 2016). Но в нормативных документах и научных публикациях потери массы при тепловой обработке составляют 20 %. Кроме того, панировочный слой также препятствует испарению влаги с обжаренной поверхности. Поэтому при приготовлении полуфабрикатов помимо введения клетчатки в рецептуру использовались панировочные сухари. В результате потери массы сократились до 8,8 % по сравнению с 20 % при традиционных способах обработки изделий котлетной массы. Снижению потерь массы и растворимых питательных веществ способствовал и комбинированный способ обработки. В рабочую камеру пароконвектомата вначале подавался пар, а затем переключался на режим «жар-конвекция», т.е. применялся комбинированный нагрев продукта.

Жир при нагревании из продуктов вытапливается. Пищевая ценность его снижается. Так, потери не-

которых жирных кислот составляют 20–40 %. Если температура греющей поверхности длительное время превышает 180 °C, то жир подвергается термическому разрушению с образованием промежуточных продуктов пиролиза и дыма, а вкус готовой продукции резко ухудшается, что подтверждается исследованиями ряда ученых. Однако, как предлагает Нугманова Х.М (2015), внесение в рецептуру колбасы 5–7 % морковного порошка обогащает продукт природными витаминами, а также дает возможность частично снизить в рецептуре количество нитрита натрия за счет содержания красящего пигмента β -каротина. Но сухой морковный порошок дороже свежей моркови и полученные изделия с экономической точки зрения будет повышать себестоимость продукции. Кроме того, в предприятиях общественного питания нитрита натрия не используется.

При создании рецептуры мясных фаршевых изделий Нечепорук (2016) также рекомендует включение порошков сельдерея — в количестве 2,5; 5 и 7,5 % от массы фарша, а также моркови — в количестве 5; 7,5 и 10 %. Но при максимальных концентрациях сельдерея и моркови в рецептуре появится опасность нивелирования мясного вкуса, что вместе с высокой себестоимостью будет отрицательно сказываться на покупательской способности населения.

Чтобы избежать значительные потери питательных веществ тепловую обработку опытных и контрольных образцов производили в пароконвектомате с подачей 30 % пара в течение 8 минут при температуре 170 °C, затем приготовление на режиме «жар-конвекция» в течение 4 минут при температуре 190 °C до достижения температуры внутри продуктов 80 °C (Васюкова & Тихонов, 2020, Васюкова & Любецкая, 2017).

Разработанные полуфабрикаты из мясорастительного фарша имели оптимальные структурно-механические показатели, позволяющие производить их на индустриальной линии (Таблицы 3–4).

Все разработанные образцы мясорастительных полуфабрикатов (пищевые системы содержат говядина-морковь, говядина-лук, говядина-лук-укроп, говядина-кабачок) и кулинарных изделий с БАД (3–12 %) превосходят контроль. Лучшими из приведенных экспериментальных данных имел образец №2 при концентрации добавки клетчат-

Таблица 3
Содержание сухих веществ и реологических показателей разработанных изделий

Показатель	Контроль	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4
Определение сухих веществ					
Масса сухих веществ полуфабриката, г	28,9 ± 0,01	30,9 ± 0,02	31,2 ± 0,01	31,8 ± 0,03	31,3 ± 0,01
Масса сухих веществ готового изделия, г	29,8 ± 0,03	32,8 ± 0,04	32,9 ± 0,03	32,2 ± 0,06	33,4 ± 0,04
Ph-среды					
Ph полуфабриката	6 ± 0,08	6 ± 0,06	6 ± 0,07	5,5 ± 0,09	6 ± 0,04
Ph готового изделия	6 ± 0,01	6 ± 0,02	6,5 ± 0,09	5,5 ± 0,03	6 ± 0,08
Влагосвязывающая способность					
ВСС полуфабриката,%	80,0 ± 0,09	84,2 ± 0,07	86,0 ± 0,05	85,0 ± 0,09	86,3 ± 0,03
ВСС готового изделия,%	46,2 ± 0,04	49,1 ± 0,06	50,9 ± 0,09	50,0 ± 0,02	51,4 ± 0,04
Плотность					
Плотность полуфабриката, г/см ³	1,12 ± 0,01	1,24 ± 0,02	1,15 ± 0,01	1,28 ± 0,03	1,22 ± 0,04
Плотность готового изделия, г/см ³	0,50 ± 0,03	0,55 ± 0,02	0,59 ± 0,04	0,63 ± 0,01	0,75 ± 0,03

Таблица 4
Определение выхода полуфабрикатов и готовых изделий

Показатель	Контроль	Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	Опыт №4
Масса полуфабриката, г	63,75 ± 0,02	63,75 ± 0,04	63,75 ± 0,03	63,75 ± 0,04	63,75 ± 0,02
Масса жареных котлет, г	56,1 ± 0,01	55,9 ± 0,03	56,3 ± 0,06	55,7 ± 0,03	56,2 ± 0,01

ки с семенами чиа равной 6 % и лука репчатого 6 %. Образец №4 был более плотным, особенно при хранении в течение трех часов, предусмотренных СанПин 2.3/2.4.3590–20. Мясорастительные полуфабрикаты, и готовые кулинарные изделия были сочные, хорошо сохраняли форму, имели выраженный вкус и аромат.

Сравнительный анализ результатов исследования показывает, что котлеты «Пикантные» наиболее близки к традиционной технологии по показателям Ph-среды, ВСС и влажности. Полученные графики имеют полиномиальную зависимость при величине достоверности аппроксимации $R^2=1$. Реологические и органолептические показатели качества очень важны для изготовления продукции индустриальным способом (Васюкова & Эдварс, 2020). Выход полуфабрикатов и готовых кулинарных изделий показан в Таблице 4.

Значительные изменения исследуемых показателей от контроля также является неприемлемыми, так как приводят к ухудшению качественных показателей объектов исследования. Полученные в Таблице 4 данные незначительно отличаются от контроля. Поэтому, можно утверждать, что введенные добавки и овощи не оказывают дополнительного влияния на потери массы при кулинарной обработке.

На основании проведенных исследований выполнена комплексная квалиметрическая оценка качества кулинарных изделий из мясорастительных фаршей (Таблица 5). Данные Таблицы 5 свидетельствуют о том, что готовые кулинарные изделия котлеты «Пикантные» и биточки паровые содержат 3,25 % суточной потребности в β -каротине и 20 % в витамине А, 112–125 % витамина Е, за счет введения в рецептуру моркови, укропа, яиц, семян чиа, лука, кабачка.

Таблица 5

Результаты комплексной квалитетической оценки качества кулинарных изделий из мясорастительных фаршей

Показатель качества	K _r	P	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
1. Органолептические показатели	0,25	—	—	—	—	—
внешний вид, балл	0,3	5	3	3	4	3
вкус, балл	0,2	5	3	4	4	4
запах, балл	0,3	5	4	4	5	4
консистенция, балл	0,2	5	2	3	4	2
Итого по группе			0,475	0,35	0,175	0,375
2. Физико-химические и реологические показатели	0,2	—	—	—	—	—
сочность (ВСС), п/ф %	0,3	92	86,3	86	85	84,2
сочность (ВСС), г/и %	0,2	91,6	51,4	50,9	50	49,1
вязкость, Па·с	—	—	—	—	—	—
плотность, г/см ³	0,4	1,14	1,24	1,15	1,28	1,22
поваренная соль, %	0,1	0,3	1	1,36	1,3	1,23
Итого по группе			0,198	0,201	0,212	0,219
3. Пищевая и биологическая ценность	0,3	—	—	—	—	—
3.1. Белки	0,4	—	—	—	—	—
содержание белков, г	0,5	4,11	4,8	4,6	4,58	4,45
коэффициент утилизации АС	0,5	0,65	—	—	—	—
Итого по подгруппе			0,046	0,05	0,052	0,053
3.2. Минеральные в-ва	0,3	—	—	—	—	—
кальций, мг/100 г	0,3	21,27	27,8	31,64	35,64	39,54
фосфор, мг/100 г	0,4	91,92	101,05	94,45	91,35	86,25
магний, мг/100 г	0,15	13,49	13,73	12,94	12,58	11,94
железо, мг/100 г	0,15	1,338	1,49	1,38	1,32	1,24
Итого по подгруппе			−0,2	−0,03	−0,1	−0,1
3.3. Витамины	0,2	—	—	—	—	—
витамин А, мг/100 г	0,2	0,0035	0,0114	0,011	0,011	0,012
витамин В ₁ , мг/100 г	0,2	0,0479	0,096	0,1	0,12	0,138
витамин В ₂ , мг/100 г	0,15	0,0795	0,013	0,015	0,016	0,018
витамин С, мг/100 г	0,15	0,1804	0,12	0,2	0,27	0,36
витамин Е, мг/100 г	0,3	0,398	0,13	0,123	0,119	0,113
Итого по подгруппе			−0,008	0,015	0,016	0,01
Итого по группе			0,25	0,1	0,11	0,16
4. Эстетические свойства, баллы	0,2	5	2	3	4	2
Итого по группе			0,04	0,006	0,008	0,04

Выявлен технический результат заявляемой технологии, заключающийся в создании сбалансированных по составу продуктов, содержащих жизненно необходимые нутриенты: говядина-морковь, говядина-лук, говядина-лук-укроп, говядина-кабачок с предпочтительным соотношением в диапазоне 1,3–1,6, которые будут дополнительно за счет овощей содержать витамины (мг на 100 г): β -каротин (0,001–1,1), B_1 (0,04), B_2 (0,02), С (5,0–60,0), пищевые волокна от 0,8 до 3,0 % и крахмал от 0,1 до 0,3 % с сохранением общих концентраций белка в рационе питающихся (Васюкова, 2019). Органолептическая оценка изготовленных мясных комбинированных изделий, приготовленных из говядины и растительного сырья с биологически активными добавками, проведенная в лаборатории университета, показала высокие баллы. Изделия не уступают традиционным рубленным полуфабрикатам, изготовленным из говяжьего фарша. Все образцы, представленные на дегустации, были сочными, имели приятный аромат и хорошо сохраняли форму при тепловой обработке.

Органолептическая оценка качества разработанных мясных фаршевых продуктов на основе говядины с добавлением растительного сырья с БАД показала, что все продукты по разработанной системе дескрипторов имели гладкую поверхность, сочную консистенцию, характерный для котлет внешний вид, вкус и цвет соответствовали жареным мясным котлетам. Полученные результаты согласуются с данными других авторов, проводимых исследования в этой области (Васюкова & Алексеев, 2020; Васюкова & Мошкин, 2020; Васюкова & Макаров, 2020; Васюкова & Мушин, 2016). Вкусо-ароматическая гамма котлет также более сформирована за счет введения в рецептуру CO_2 -экстракта черного перца (Богодист-Тимофеева и соавт., 2016).

На основании проведенных исследований было установлено, что потери массы всех разработанных образцов меньше, чем у контрольных, приготовленных по традиционной рецептуре № 608 «Котлеты, биточки, шницели». Применимый способ тепловой обработки — в пароконвектомате, позволяет лучше сохранять питательные свойства сырья. Качество выпускаемой продукции выше, чем с использованием традиционных способов обработки, так как применены более мягкие температурные режимы: «пар» и «жар-конвекция».

С точки зрения потребительских свойств продукции, необходимо отметить оригинальный вкус и запах всех разработанных образцов (Васюкова и соавт., 2020).

Предложенный авторами вариант способов получения котлет, обогащенных биологически активными добавками, показывает, что применение овощей и клетчатки с семенами чиа позволяет получить продукт с повышенной биологической ценностью и улучшенными органолептическими свойствами.

На основании полученных результатов исследований разработана индустриальная технология производства котлет «Пикантные», биточков паровых. Подготовлены нормативные документы ТУ10.86.10–011-02068634–2023 и ТИ «Мясные полуфабрикаты с биологически активными добавками для школьного питания», отвечающие требованиям ТРТС 021; ТРТС 034/2013. Апробированы технологические режимы в производственных условиях ООО «Альтернатива» на механизированной линии «Бегарат», обеспечивающие сокращение потерь питательных веществ за счет тепловой обработки в пароконвектомате. Полуфабрикаты включены в ассортиментный перечень предприятия ООО «А-групп» и меню операторов питания ООО «Альтернатива» Ульяновской области и МАУ «Центр Здорового Детского Питания» республики Марий-Эл.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования подтвердили гипотезу о возможности вовлечения клетчатки с семенами чиа, CO_2 -экстрактов пряно-ароматического сырья, структурирующих ингредиентов из сырых овощей в процесс производства мясных функциональных изделий: котлет «Пикантные» и биточков паровых.

Подобраны режимы введения добавок и структурообразователей в комбинированные системы и определен компонентный и количественный их состав. Замена в рецептуре хлеба в количестве 9 г (контроль) на клетчатку с семенами чиа (от 2 до 8 г), введение овощей (лук, морковь, кабачок от 3 до 4 г), а также дополнительно яиц в количестве 4 г, укропа и CO_2 -экстрактов пряно-ароматического сырья,

при разработке котлет и биточков, обогащенных биологически активными добавками, показывает, что применение овощей и клетчатки с семенами чиа позволяет получить продукт с повышенной биологической ценностью и улучшенными органолептическими свойствами.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Васюкова Анна Тимофеевна: концептуализация; методология, ресурсы, создание рукописи и ее редактирование.

Эдварс Ростислав Анатольевич: верификация данных, создание рукописи и ее редактирование.

Любимова Кристина Владимировна: анализ, разработка и получение исследуемого материала, проведение исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- Антипова, Л. В., & Воронкова, Ю. В. (2014). Пищевые волокна отечественного производства для мясopерерабатывающей промышленности. *Вестник Воронежского университета инженерных технологий*, (2), 95-99. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2014-2-95-98>
- Богодист-Тимофеева, Е. Ю., Ножко, Е. С., Брановицкая, Т. Ю., & Каневская, А. А. (2016). Определение качественных и потребительских характеристик масляных экстрактов пряно-ароматических растений. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*, 2(68), 75-81.
- Васюкова, А. Т., Славянский, А. А., Бражников, М. Е., & Макаров, М. Г. (2019). Современные подходы к организации питания рабочих промышленных предприятий. В *Научно-практическая конференция "Перспективы развития пищевой и химической промышленности в современных условиях"* Оренбургский государственный университет (с. 35-39). Оренбург.
- Васюкова, А. Т., Тихонов, Д. А., Стукалов, М. А., & Шагаров С. Н. (2020). Влияние пищевой добавки на функциональные свойства мясных кулинарных изделий. *Товаровед продовольственных товаров*, (6), 15-18.
- Васюкова, А. Т., Бражников, М. Е., Макаров, М. Г., & Эдварс, Р. А., Махмадалиев, Э. Ш. (2020). Разработка технологии и рецептур мясных фаршевых изделий с БАД. *Вестник ВГУИТ*, (1), 123-128. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-1-124-128>
- Величковский, Б. Т. Тутельян, В. А., Кучма, В. Р., & Баранов, А. А. (2009) Новые возможности профилактической медицины в решении проблем здоровья детей и подростков России. *ГЭОТАР-Медиа*.
- Елисеева, Т., & Ямпольский, А. (2019). Кабачок (лат. *Cucúrbita réro*). *Журнал здорового питания и диетологии*, (4), 26-37.
- Наумова, Н. Л., Ребезов, М. Б., & Варганова, Е. Я. (2012). Функциональные продукты. *Спрос и предложение*. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ.
- Нечепорук, А. Г., Третьякова, Е. Н., Стрыгина, О. О. (2016) Овощные порошки как функциональный ингредиент продуктов питания. *Агротехнологические процессы в рамках импортозамещения* (с.196-199). Мичуринск.
- Нугманова, Х. М., Асенова, Б. К., Нургазезова, А. Н., & Касымов С. К. (2015). Использование морковного порошка в качестве пребиотика в технологии производства функциональных колбасных изделий. *Молодой ученый*, 10(3), 28-31.
- Павлова, О. Н., Грибанова, Е. А., Желонкин, Н. Н., Боронец, Т. Ю., Первушкин, С. В., & Пурыгин, П. П. (2007). Современные подходы к классификации биологически активных добавок к пище. *Вестник Самарского государственного университета*, (9/1), 256-270.
- Пьянкова, Д. М. (2016) Использование порошка из морской капусты в производстве блюд изделий общественного питания. В *Сборнике научных трудов "Продовольственная безопасность"* (с. 28-32). Екатеринбург: УГЭУ.
- Соловьева, А. А., Ребезов, М. Б., Зинина, О. В., Лакеева, М. Л., & Гаврилова, Е. В. (2013). Актуальные биотехнологические решения в мясной промышленности. *Молодой ученый*, (5), 105-107.
- Тарасова, И. В., Ребезов, М. Б., Зинина, О. В., & Ребезов, Я. М. (2013). Использование коллагенсодержащего сырья животного происхождения при производстве мясного биопродукта. *SWorld*, 4(1), 46-50.
- Васюкова, А. Т., & Абесадзе, Л. Т. (2008) Влияние компонентов рецептуры на качество хлебобулочных изделий при хранении. *Хлебопродукты*, (8), 50-53.
- Васюкова, А. Т., Васюков, М. В., & Мушин, П. (2016). Структурно-механические показатели качества рубленой и котлетной мясной массы с биологически активными добавками. *Агропромышленные технологии Центральной России*, 2(2), 15-20.
- Васюкова, А. Т., Славянский, А. А., Хайруллин, М. Ф., Алексеев, А. Е., Мошкин, А. В., & Махмадалиев, Э. Ш. (2019). Продукты с растительными добавками для здорового питания. *Пищевая промышленность*, (12), 72-75. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10193>

- Васюкова, А. Т., Кусова, И. У., Кривошонок, К. В., Эдвардс, Р. А., Талби, М. (2022) Влияние БАД на потребительские свойства функционального фарша. *Товаровед продовольственных товаров*, (3), 174-179. <https://doi.org/10.33920/igt-01-2203-03>
- Филонова, Г. Л., Ковалева, И. Л., Комракова, Н. А., & Никифорова, Е. В. (2015). Пряно-ароматическое сырье для создания позитивной безалкогольной продукции. *Пиво и напитки*, (5), 58-62.
- Чимонина, И. В., & Перевошикова К. Н. (2016). Биохимический анализ пряностей и их роль в питании человека. *Вестник науки и творчества*, 2(2), 124-131.
- Ayala Garcia, A., Soldevila-Domenech, N., Yi S.Y., de la Torre R., & Steffen, L.M. (2024). Dietary patterns associated with cognitive decline: Methods for harmonizing data from cohort studies in Europe and the United States. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1379531. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1379531>
- Aziz, M., & Karbun, S. (2018) Natural antimicrobial and antioxidant substances in meat and poultry products and fruits and vegetables: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(3), 486-511. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1194256>
- Berendsen, A. A. M., Kang, J. H., van de Rest, O., Falkensee, J. M., de Groot LCPGM, & Grodstein, F. (2017). *Journal of the American Medical Directors Association*, 18(5), 427-432.
- Choudhary, B., Chauhan, O. P., & Mishra, A. (2021). Edible seaweed: A potential new source of bioactive metabolites and nutraceuticals beneficial to human health. Section Marine Biotechnology and Bioproducts. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.740054>
- Daker, R., Challamel, J., Hanson, S., & Uprichard J. (2024). Creating Healthier Habits: The Impact of Workplace Teaching Kitchens on Employee Food Literacy. *Nutrients*, 16(6), 865. <https://doi.org/10.3390/nu16060865>
- Espinales, C., Baldeon, M., Bravo, C., Toledo, J., Carballo, J., Romero-Pena, M., Caceres, P. H. (2024) Strategies for healthier meat-based eating: A review. *Food Science & Nutrition*, 29(1), 18-30. <https://doi.org/10.3746/pnf.2024.29.1.18>
- Gottardi, D., Bukvitsky, D., Prasad, S., & Tyagi, A. K. (2016) Beneficial effects of spices on food preservation and safety. *Food Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01394>
- Hernandez-Ochoa, L., Aguirre-Prieto, Y. B., Nevarez-Murillon, G. V., Gutierrez-Mendez, N., & Salas-Mu-oz, E. (2014). Using essential oils and spice extracts to protect meat. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 957-963. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0598-3>
- Hernández Ruiz de Eguilaz, M., Martínez de Morentin Aldabe, B., Almiron-Roig, E., Pérez-Diez, S., San Cristóbal Blanco, R., Navas-Carretero, S., & Martínez, J. A. (2018) Multisensory influences on eating behavior: Hedonic consumption. *Endocrinología, Diabetes y Nutrición*, 65(2), 114-125. <https://doi.org/10.1016/j.endien.2018.03.003>
- Henning, S. M., Yang, J., Shao, P., Lee, R. P., Huang, J., Ly, A., Hsu, M., Lu, Q.-Y., Thames, G., Heber, D., Li, Z. (2017) Health benefit of vegetable/fruit juice-based diet: Role of microbiome. *Scientific Reports*, 7(1), 2167. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02200-6>
- Jayasena D.D. & Joe, K. (2013). Essential oils as potential antimicrobial agents in meat and meat products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 34, 96-108. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.09.002>
- Kopp, W. (2019). How western diet and lifestyle drive the pandemic of obesity and civilization diseases. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity*, 12, 2221-2236. <https://doi.org/10.2147/DMSO.S216791>
- Lu, Q.-Y., Summanen, P.H., Lee, R.-P., Huang, J., Henning, S.M., Heber, D., Finegold, S.M., & Li, Z. (2017). Prebiotic potential and chemical composition of seven culinary spice extracts. *Journal of Food Science*, 82, 1807-1813. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13792>
- Lu, Q.-Y., Zhang, X., Yang, J., Wei-Liang, W. Guo, & Wai-Nang, Li (2017) Triterpenoid-rich loquat leaf extract induces growth inhibition and apoptosis of pancreatic cancer cells through altering key flux ratios of glucose metabolism. *Metabolomics*, 13, 39. <https://doi.org/10.1007/s11306-017-1176-0>
- Marques, A., Marques, C., Marostica, M.R., & Pastore, G.M. (2010). Some nutritional, technological and environmental advances in the use of enzymes in meat products. *Enzyme Research*, Article ID 480923. <https://doi.org/10.4061/2010/480923>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2005). *Dietary supplements: A framework for evaluating safety*. Washington: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/10882>
- Nuraly, A. M., Bekseitova, K. S., Biysenbaev, M. A., Nuraliev, M. A., & Panov, S.A. (2017). Comparison of the adsorption properties of dietary fiber obtained from plant materials. *West Kazakhstan Medical Journal*, 4(56), 35-41.
- Prakash, B., Shukla, R., Singh, P.K., Kumar, A, Mishra, P. K. & Dubey, N. K. (2010) Efficacy of chemically characterized Piper betle L. essential oil against fungal and aflatoxin contamination of certain foods and its antioxidant activity. *International Journal of Food Microbiology*, 15, 114-119. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.06.011>
- Prakash, B., Singh, P., Kedia, A., & Dubey, N. K. (2012). Evaluation of selected essential oils as food preservatives based on antifungal, antiaflatoxin, antioxidant activity and in vivo effectiveness in the food system. *International Journal of Food Microbiology*. 49, 201-208. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.08.020>
- Radha Krishnan, K., Babuskin, S., Azhagu Saravana Babu, P., Sasikala, K.M., Archana, Sabina, G., Sivarajan, M., & Sukumar, M. (2014) Antimicrobial and antioxidant effects of spice extracts on extending the shelf life of raw chicken meat. *International Journal of Food Microbiology*, 171, 32-40. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.11.011>
- Sena, H., & Calder, P. (2020) Defining healthy eating: Evidence for the role of modern dietary patterns in health and disease. *Nutrients, National Center for Biotechnology Information*, 12(2), 334. <https://doi.org/10.3390/nu12020334>
- Shahriarpour, Z., Nasrabadi, B., Shariati-Bafghi, S. E., Karamati, M., & Rashidhani, B. (2020). Adherence to Dietary Approaches to Stop Hypertension (DASH) and

- the risk of osteoporosis in Iranian postmenopausal women. *Osteoporosis International*, 31(11), 2179-2188. <https://doi.org/10.1007/s00198-020-05450-9>
- Song, Yu., Wu, F., Sharma, S., Clendenen, T. V., India-Aldana, S., Afanasyeva, Y., Gu, Y., Koenig, K. L., Zeleniukh-Jacotte, A., & Chen, Y. (2024) Adherence to the Dietary Approaches to Stop Hypertension (DASH) diet in midlife and subjective cognitive complaints in late life in women. *Nutrients*, 20(2), 1076-1088. <https://doi.org/10.1002/alz.13468>
- Suleiman, A. M. E., Abdallah, E. M., Alanazi, N. A., Ed-Dra, A., Jamal, A., Idriss, H., Alshammari, A. S., & Shommo, S. A. M. (2023). Spices as sustainable food preservatives: a comprehensive review of their antimicrobial potential. *Pharmaceuticals*, 16(10), 1451. <https://doi.org/10.3390/ph16101451>
- Tajkarimi, M. M., Ibrahim, S. A., & Cleaver, D. O. (2010) Antimicrobial compounds of herbs and spices in foods. *Food Control*, 21, 1199-1218. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.02.003>
- Teshome, E., Forsido, S. F., Rupasinghe, H. P. V., & Olika Keata, E. (2022) Potential of natural preservatives to improve food safety and shelf life: A review. *The Scientific World Journal*, 9901018. <https://doi.org/10.1155/2022/9901018>
- Valverde-Queralt, A., Regueiro, J., Martinez-Huelamo, M., Rinaldi Alvarenga, J.F., Leal, L. N., & Lamuela-Raventos, R.M. (2014). A comprehensive study of the phenolic profile of commonly used culinary herbs and spices: Rosemary, thyme, oregano, cinnamon, cumin and bay. *Food Chemical*, 154, 299-307. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.106>

Применение растительных эмульсионных гелей в технологии безглютенового сдобного печенья

¹ Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, г. Могилев, Республика Беларусь

² Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация

В. А. Васькина¹, Е. С. Новожилова¹, Г. Н. Дубцова²,
Е. Н. Молчанова², Я. К. Кузнецов²

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Дубцова Галина Николаевна,

E-mail: dubcovagn@mgupp.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Васькина, В.А., Новожилова, Е.С., Дубцова, Г.Н., Рогозкин, Е.Н., Молчанова, Е.Н., & Кузнецов, Я.К. (2024). Применение растительных эмульсионных гелей в технологии безглютенового сдобного печенья. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(1), 71-84. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.487>

ПОСТУПИЛА: 10.01.2024

ПРИНЯТА: 15.03.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение: Исследование адресует проблему негативного влияния трансизомеров жирных кислот и глютена, содержащихся в традиционных сдобных видах печенья. Актуализация данной проблемы обусловлена потребностью в разработке рецептур с заменой твердого животного жира и пшеничной муки на более здоровые альтернативы.

Цель: Создание технологии производства безглютенового сдобного печенья с использованием эмульсионного геля из масла грецкого ореха, капсулированного в белково-полисахаридные оболочки, и альтернативного сырья на снижение рисков для здоровья.

Материалы и методы: Опытные образцы сдобного печенья готовили с заменой пшеничной муки на безглютеновую смесь из амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов и животного жира — маслом грецкого ореха. Необходимое структурирование в тесте достигалось за счет введения белково-полисахаридной смеси, в которой использовали изолят белка сои и смесь полисахаридов (гуммиарабик, натрий-карбоксиметилцеллюлоза и пектин) для создания стабильных капсул, содержащих масло грецкого ореха. В процессе выпечки печенья изучали изменение температуры с помощью термопар, уставленные как в пекарной камере, так и на верхней и нижней поверхностях тестовых заготовок. Для замера толщины (высоты) печенья рядом с заготовкой теста ставили вертикальный эталон высотой 20 мм. Сигналы от термопар и показания толщины (высоты) тестовых заготовок во время выпечки подавались на дисплеи цифровых вторичных приборов, числовые значения с которых записывались на общую видеокамеру. Проведены исследования физико-химических и органолептических свойств печенья, в зависимости от технологии и рецептуры приготовления.

Результаты: Разработана технология безглютенового печенья, которая включает применение эмульсионных гелей на основе инкапсулированного масла грецкого ореха. Использование амарантовой муки и крахмалов позволило снизить плотность и увеличить влагопоглощение готовых изделий. Замена животного жира на растительное масло уменьшает продолжительность выпечки на 14,3%, повышая тем самым производительность.

Выводы: В результате замены жира и применения эмульсионных гелей создано сдобное печенье с улучшенными органолептическими характеристиками и более сбалансированным жирнокислотным составом. Разработанное печенье может быть рекомендовано как функциональный продукт питания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

белково-полисахаридная смесь, гидроколлоиды, изолят соевого белка, инкапсуляция, качество печенья, безглютеновый продукт

Application of Plant Emulsion Gels in the Technology of Gluten-Free Book Cookies

¹ Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Belarus

² Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation

Valentina A. Vaskina¹, Alena S. Navazhylava¹, Galina N. Dubtsova², Evgeniy N. Rogozkin², Elena N. Molchanova², Yaroslav K. Kuznetsov²

CORRESPONDENCE:

Galina N. Dubtsova

E-mail: dubcovagn@mgupp.ru

DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

FOR CITATIONS:

Vaskina, V., Navazhylava, A., Dubtsova, G., Rogozkin, E., Molchanova, E., & Kuznetsov, Ya. (2024). Application of plant emulsion gels in the technology of gluten-free book cookies. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(1), 71-84. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.487>

RECEIVED: 10.01.2024

ACCEPTED: 15.03.2024

PUBLISHED: 30.03.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background: This study addresses the adverse effects of trans fatty acid isomers and gluten present in traditional types of enriched cookies. The urgency of this issue is driven by the need to develop recipes that replace solid animal fats and wheat flour with healthier alternatives.

Purpose: To develop a technology for producing gluten-free enriched cookies using an emulsion gel of walnut oil encapsulated in protein-polysaccharide shells, and alternative raw materials to reduce health risks.

Materials and Methods: Experimental cookie samples were prepared by substituting wheat flour with a gluten-free mix of amaranth flour, corn and potato starches, and replacing animal fat with walnut oil. The necessary structure in the dough was achieved through the introduction of a protein-polysaccharide mix, utilizing soy protein isolate and a blend of polysaccharides (gum arabic, sodium carboxymethyl cellulose, and pectin) to create stable capsules containing walnut oil. During the baking process, temperature changes were monitored using thermocouples installed both in the baking chamber and on the upper and lower surfaces of the dough samples. A vertical standard of 20 mm was placed next to the dough sample to measure the thickness (height) of the cookies. Signals from the thermocouples and the thickness readings were displayed on digital secondary devices, with numerical values recorded by a general video camera. Physicochemical and organoleptic properties of the cookies were studied, depending on the technology and recipe used.

Results: A technology for gluten-free cookies has been developed that incorporates the use of emulsion gels based on encapsulated walnut oil. The use of amaranth flour and starches has reduced the density and increased the moisture absorption of the finished products. Replacing animal fat with vegetable oil decreases the baking time by 14.3%, thereby enhancing productivity.

Conclusion: As a result of replacing fat and using emulsion gels, enriched cookies with improved organoleptic characteristics and a more balanced fatty acid composition have been created. The developed cookies can be recommended as a functional food product.

KEYWORDS

protein-polysaccharide blend; hydrocolloids; soy protein isolate; encapsulation; cookie quality; gluten-free product

ВВЕДЕНИЕ

На мучные изделия приходится половина объема продаж кондитерской продукции (в среднем 50,9%)¹. Наибольшим спросом пользуется сдобное печенье, отличающееся хрустящей, рассыпчатой структурой, приятным вкусом и ароматом. Сдобное песочно-выемное печенье изготавливается из пластичного теста, основными компонентами которого является: мука пшеничная высшего сорта, сахарная пудра, мед или инвертный сироп, молочные продукты (сливочное масло, сгущенное молоко с сахаром, молоко коровье пастеризованное, молоко коровье цельное сухое, сливки сухие) меланж или яйцо, химические разрыхлители (сода, углекислый натрий), ароматические вещества.

Сливочное масло как один из важнейших компонентов рецептуры обеспечивает тесту пластичные свойства, а готовым изделиям — текстуру, вкус и аромат (Васькина, 2008; Atkinson, 2011; Mert & Demirkesen, 2016; Ekin, 2021; Kouhsari, 2022). Кроме того, сливочное масло добавляется в печенье с такими компонентами, как сгущенное молоко с сахаром (жирность 8,5%), молоко коровье пастеризованное (жирность 3,2%), молоко коровье цельное сухое (жирность 25%), сливки сухие (жирность 42%). При смешивании рецептурных компонентов жиры действуют как смазка, конкурируя с водой за покрытие поверхности частиц муки, а также стабилизируют воздушные пузырьки, образующиеся при замесе теста и выпечке печенья (Ekin, 2021). На процесс выпечки тестовых заготовок печенья оказывает заметное влияние количество жира в рецептуре, его природа, тип и консистенция (Srivastava & Mishra, 2021). В рецептурах сдобного печенья доля сливочного масла составляет до 25–27%. Затем на стадиях получения эмульсии и теста сливочное масло находится в диспергированном состоянии в виде мелких капель, где проявляется дефицит поверхностно-активных веществ (ПАВ), роль которых выполняется белками молока. Так, в сливочном масле, сгущенном молоке с сахаром и молоке коровьем пастеризованном белки молока находятся в активном состоянии, а в сухом молоке коровьем цельном и сухих сливках — в обезвоженном и не способные выполнять функции ПАВ.

Внесение жирового сырья в печенье оснащает изделие насыщенными и транс-изомерами жирных кислот, которые образуются естественным образом в процессе биогидрирования в организме жвачных животных (молоко, сливочное масло). Присутствие насыщенных и транс-изомеров жирных кислот в сдобном печенье оказывает негативное влияние на организм человека (Зайцева, 2012; Мажидова, 2016; Почичкая, 2016). На этом основании ученые и производители кондитерской продукции стремятся заменить жировой компонент и ликвидировать дефицит поверхностно-активных веществ в рецептурах и ведут поиск альтернативных подходов к решению проблемы.

Одним из способов замены твердых жиров в мучных изделиях является структурирование растительного масла с помощью олеогелляторов, способных придавать им механическую прочность, необходимую текстуру и термическое поведение (Patel, 2016, 2017; Yilmaz & Ögütçü, 2014; Martins, 2018; Martins, 2022; Silva, 2023; Pert, 2023; Chowdhury, 2023). Другим способом замены твердых жиров является инкапсуляция или эмульгирование жидкого растительного масла в виде коллоидных капсул или эмульсионного геля (Turasan, 2015; Li, 2020; Lai, 2021; Yiu, 2023). Важным этапом для процесса инкапсуляции масел является выбор стенового материала (оболочки или стенки капсулы), способного создавать защитный барьер. Типичными инкапсулирующими (стеновыми) материалами для пищевых продуктов являются белки, полисахариды, а также их комбинации. Чаще всего используется животный белок из молока, а также растительные протеины из риса, сои, гороха (Oliveira, 2020; Srivastava & Mishra, 2021). В качестве полисахаридов находят применение альгинаты, агар, гуммиарабик, метилцеллюлоза, гуаровая и ксантановая камеди, пектин, каррагинан, инулин, полидекстроза, мальтодекстрины и др.

Жидкие растительные масла с помощью способов олеогелирования или эмульгирования применяются в производстве печенья (Hadnadev, 2015; Mert & Demirkesen, 2016; Gharaie, 2019; Paciulli, 2020; Ekin, 2021; Tan, 2021; Barragán, 2022). Приводятся сведения об использовании в рецептурах печенья таких растительных масел как подсолнечное (Srivastava & Mishra, 2021), оливковое (Gharaie, 2019; Ekin, 2021)

¹ Анализ рынка кондитерских изделий в странах СНГ. <https://bcmagazine.by/novosti/analiz-rynka-konditerskikh-izdelij-v-stranakh-sng>

кофейное (Sharma, 2021), масло черного тмина и виноградных косточек (Ekin, 2021), бразильского ореха (Oliveira, 2020) масло канола и лесного ореха (Barragán-Martínez, 2022; Kouhsari, 2022) и др. Жидкие масла позволяют улучшить качество изделий, снизить потребление шортенинга и содержание насыщенных жиров. Однако, дегустаторы печенья обнаруживают различия в характеристиках текстуры и вкуса контрольных и опытных образцов. Аналогичные попытки использования жидкого растительного масла в печенье предпринимались и в России. В частности, представлена технология, где предусматривается введение жидкого масла в матрицу заварного теста, приготовленного из смеси муки (рисовой, кукурузной, льняной полуобезжиренной) и стабилизирующих добавок (Рензеева, 2022).

В ряде исследований показано влияние жидких растительных масел на процесс выпечки мучных изделий, что связывается с теплофизическими свойствами жировых продуктов (Rojas, 2013; Sahasrabudhe, 2017). В отдельных работах показано воздействие на термические свойства тестовых заготовок печенья гидроколлоидов, обусловленное их природой, концентрацией, молекулярной массой. (Perry & Donald, 2002; Sanz, 2005; Lokesh, 2022). Кроме того, возрастает интерес к применению новых видов муки и крахмалов в рецептуре мучных изделий, а также изучается их влияние на изменение процесса термообработки (Zhou, 2008; Torres, 2013; Kai, 2021).

Помимо жира в рецептурах сдобного печенья значительная часть приходится на пшеничную муку, которая содержит глютен, являющийся аллергеном для больных целиакией. Известны различные способы получения безглютенового печенья на основе таких видов муки (рисовая, кукурузная, гречневая, овсяная, амарантовая) с применением растительных жмыхов, фруктовых и овощных порошков, полисахаридов (агар, альгинат натрия, натрий-карбоксиметилцеллюлозы), белков (сухая молочная сыворотка, изолят белка сои и др.) (Xu, 2020). В предложенных способах имеются недостатки: использование твердых жиров с высоким содержанием насыщенных жирных кислот и холестерина; применение молочных и яичных продуктов, для которых требуются специальные условия хранения и подготовки перед пуском в производство; усложнение технологии, связанные с многочисленными

компонентами и этапами их введения в технологический процесс; небольшое количество вводимого жидкого масла в пределах 2–4 %.

Основой теста для приготовления сдобного печенья является эмульсия, которая образуется при смешивании всех компонентов рецептуры, кроме муки. Замена сливочного масла, а также содержащих его молочных продуктов, приведет к полному разрушению структуры эмульсии и теста. Поэтому введение в эмульсию жидкого растительного масла взамен сливочного масла обуславливает поиск новых эмульгаторов для стабилизации системы. Полученная эмульсия проходит оценку на последующих стадиях, как приготовление теста, формование тестовых заготовок печенья, их выпечка и дегустация готовых изделий.

Нами использованы значимые работы применения инкапсулированных жидких растительных масел (6–15 %) в технологии мармелада, конфет и начинок (Васькина, 2016, 2017; Бутин, 2022) для выполнения текущего исследования. Целью данного исследования явилась разработка технологии сдобного безглютенового печенья на основе использования эмульсионных гелей из масла грецкого ореха и белково-полисахаридных смесей, а также смеси из амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов. В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- (1) Определить оптимальный состав белково-полисахаридной смеси для капсулирования масла грецкого ореха и создания эмульсионного геля;
- (2) Изучить процесс термообработки тестовых заготовок сдобного печенья, приготовленных по новой и традиционной технологии;
- (3) Сравнить физико-химические и органолептические показатели качества сдобного печенья, приготовленных по новой и традиционной технологии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты и материалы

Объектами исследования были образцы сдобного печенья, для приготовления которых использовали следующие виды сырья и ингредиентов: мука пшеничная высшего сорта, амарантовая мука, крахмал

картофельный, крахмал кукурузный, сахар белый, масло сливочное, масло растительное из плодов грецкого ореха, меланж, изолят соевого белка (ИСБ), лимонная эссенция, альгинат натрия (А), гуммиарабик (G), натрий карбоксиметилцеллюлозы (К), яблочный пектин (Р), натрий двууглекислый (сода). Качество используемого сырья соответствовало требованиям действующей нормативно-технической документации.

Процедура исследования

Образцы печенья готовили по рецептуре № 187² в лабораторных условиях по традиционной технологии (контроль), которая включала следующие стадии: приготовление эмульсии, замес теста, формование тестовых заготовок и их выпечка. Вначале в емкость взбивальной машины загружали сахарную пудру, инвертный сироп, сливочное масло, сгущенное молоко и меланж, далее смесь сбивали в течение 10–15 мин для получения однородной массы кремообразной структуры. Затем в сбитую массу добавляли раствор из смеси химических разрыхлителей, эссенции и воды (2,2–4,6 % от массы муки) и продолжали перемешивание в течение 1–2 мин. В готовую сбитую массу вносили пшеничную муку и замешивали тесто с влажностью 15–17 % и температурой 19–22 °С. Общая продолжительность сбивания сырья и замеса теста 16–21 мин. Формование тестовых заготовок печенья осуществляли вручную, раскаткой теста до толщины 5 мм и штамповкой металлической выемкой. Выпечку печенья проводили при температуре 220 °С в течение $7,5 \pm 1,5$ минут.

Образцы сдобного печенья по новой технологии готовили следующим образом. В белково-полисахаридную смесь, состоящую из изолята соевого белка и тройной смеси полисахаридов, добавляли воду, смесь ставили в термостат и выдерживали при температуре $90,0 \pm 2,0$ °С в течение 45–60 минут для набухания биополимеров. Набухшую смесь БПС загружали в сбивальную машину и сбивали в течение 7–10 минут до получения пенной массы, в которую вливали тонкой струйкой ореховое масло для получения эмульсии, при соотношении на 2 части раствора БПС вводили 1 часть орехового масла. Затем в полученную эмульсию добавляли сахар и смесь

уваривали до содержания сухих веществ 83–85 %. Далее эмульсию с сахаром сбивали течение 5–7 минут для охлаждения массы до комнатной температуры и, не прерывая сбивание, вводили остальные компоненты (химические разрыхлители, эссенцию). Для получения теста в охлажденную эмульсию с сахаром вводили смесь из амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов (образец 2) и замешивали тесто с влажностью 15–17 % и температурой 19–22 °С. Формование тестовых заготовок печенья и их выпечку проводили аналогично контрольному образцу.

Образцы сдобного печенья по совмещенной технологии готовили следующим образом: в эмульсионный гель, приготовленный по новой технологии, добавляли муку пшеничную высшего сорта (из традиционной технологии) для получения теста с влажностью 15–17 % и температурой 19–22 °С (Образец 1).

Формование тестовых заготовок печенья и их выпечку проводили аналогично контрольному образцу.

Методы

В работе применяли общепринятые лабораторные методы исследования свойств сырья, полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий. Для определения пенообразующей способности БПС в емкость загружали ИБС и полисахаридный комплекс, затем добавляли воду, закрывали плотной крышкой, ставили в термостат, предварительно разогретый до температуры 90 ± 2 °С на 45–60 минут для набухания гидроколлоидов. Набухшую смесь биополимеров сбивали с помощью миксера в течение 30 минут, поддерживая температуру 90 ± 2 °С. Контролем служил раствор ИБС без полисахаридов.

Для определения эмульгирующей способности растворы БПС после набухания биополимеров сбивали в течение 7–10 мин для получения пенной массы, в которую тонкой струйкой вливали ореховое масло при соотношении на 2 части раствора БПС добавляли 1 часть орехового масла. Полученную эмульсию центрифугировали в пробирках в течение

² Рецептуры на печенье (1988). М.: ВНИИ кондитерской промышленности

ние 5 мин (3000 мин^{-1}) и оценивали по степени рас-
слоения массы.

В процессе выпечки печенья изучали изменение температуры с помощью термопар (датчиков температуры), уставленные как в пекарной камере, так и на верхней и нижней поверхностях тестовых заготовок. Для замера толщины (высоты) печенья рядом с заготовкой теста ставили вертикальный эталон высотой 20 мм. Сигналы от термопар и показания толщины (высоты) тестовых заготовок во время выпечки подавались на дисплеи цифровых вторичных приборов, числовые значения с которых записывались на общую видеокамеру.

Качество печенья оценивали в соответствии с требованиями ГОСТ 24901–2014. Органолептические свойства готовых изделий (вкус и запах, поверхность, цвет, форма, вид изломе) анализировали по ГОСТ 5897–90, массовую долю влаги — термogrавиметрическим методом по ГОСТ 5900–2014, намокаемость — по ГОСТ 10114–80. Плотность печенья определяли объемно-весовым методом, взвешивая готовые изделия на технических весах и измеряя объем, вытесненный изделиями из тарированной емкости, заполненной сыпучим наполнителем. Органолептическую оценку проводили по тридцатибалльной шкале с участием 10 дегустаторов.

Анализ данных

При обработке экспериментальных данных применялись статистические методы определения средних значений искомой величины из 3-х кратной повторности, среднеквадратического отклонения и доверительного интервала при помощи программного пакета Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Влияние полисахаридных комплексов в составе бпс на выбор стенового материала

При создании безглютенового печенья использовали эмульсионный гель, при формировании которого изучали поверхностно-активные свойства белково-полисахаридных смесей (БПС) (пенообразующую способность, стойкость пены и эмульгирующую способность). В БПС в качестве белкового

компонента вносили изолят соевого белка (ИСБ), а также полисахариды — альгинат натрия (А), гуммиарабик (G), натрий карбоксиметилцеллюлозу (K) и яблочный пектин (P). Из этих полисахаридов были созданы четыре трехкомпонентные полисахаридные комплексы: 1 — (A+G+K); 2 — (A+G+P); 3 — (A+K+P) и 4 — (G+K+P). В качестве контроля использовали раствор ИСБ. Экспериментальные данные о влиянии полисахаридных комплексов на пенообразующую способность и эмульгирующие свойства БПС, представлены на Рисунках 1 и 2.

Согласно данным Рисунка 1, полисахаридные комплексы, входящие в состав БПС, по их влиянию на показатель пенообразующей способности можно показать как следующий ряд: 4 — (G+K+P) > 1 — (A+G+K) > 2 — (A+G+P) > 3 — (A+K+P). При исследовании стойкости пены установлено, что полисахаридные комплексы 1 — (A+G+K) и 4 — (G+K+P), входящие в состав БПС, позволили получить пенные массы, которые отличались не только высокой пенообразующей способностью, но и стойкостью пены во времени.

Согласно данным Рисунка 2 видно, что эмульгирующие свойства полисахаридных смесей, входящих в состав БПС, можно поставить в ряд: 1 —

Рисунок 1

Пенообразующая способность белково-полисахаридных комплексов

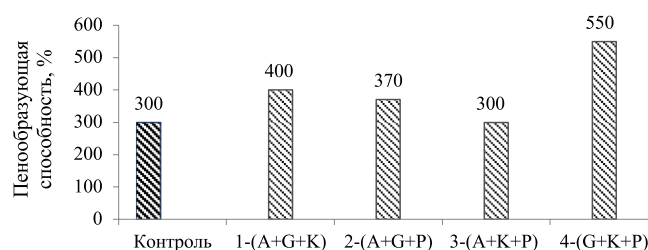
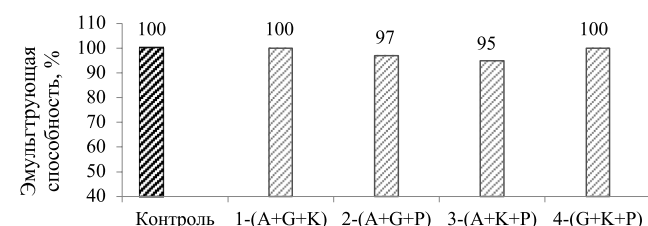


Рисунок 2

Эмульгирующая способность белково-полисахаридных комплексов



$(A+G+K) = 4 - (G+K+P) > 2 - (A+G+K) > 3 - (A+K+P)$.
Выявлено, что полисахаридные комплексы 1 — $(A+G+K)$ и 4 — $(G+K+P)$ в составе БПС обеспечивали получение эмульсий со 100%-й стойкостью. Таким образом, на основании проведенных исследований для дальнейшей работы использовали БПС с полисахаридным комплексом 4 — $(G+K+P)$ в качестве стенового материала для капсулирования масла грецкого ореха и получения эмульсионного геля.

Влияние эмульсионного геля на процесс выпечки тестовых заготовок печенья

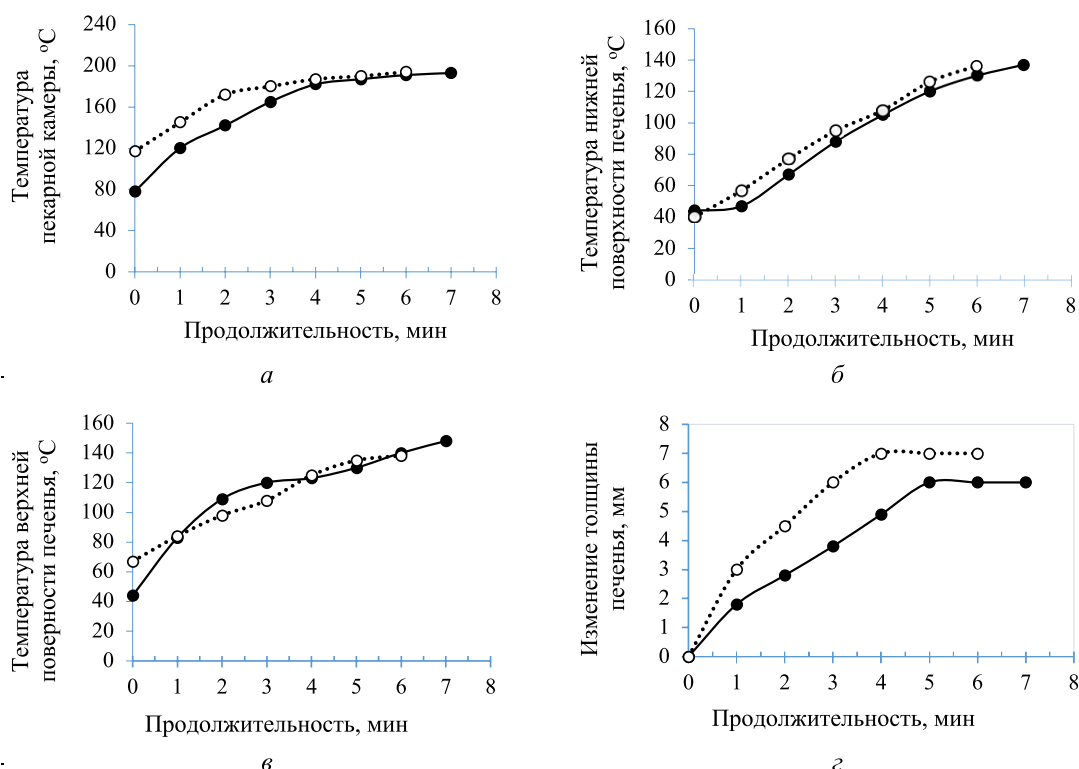
С приготовленным эмульсионным гелем замешивали тесто и изучали процесс выпечки тестовых заготовок печенья, полученных по традиционной и новой технологии. Экспериментальные данные, иллюстрирующие изменение температуры при выпечке тестовых заготовок, показаны на Рисунках 3 а, б, в, а трансформации толщины печенья — на Рисунке 3 г.

Данные Рисунка 3а свидетельствуют, что температурные режимы в пекарной камере полностью выравнивались в течение 4 мин при выпечке тестовых заготовок печенья (толщиной 5 мм), приготовленных как по традиционной, так и новой технологии, что обеспечивало равные условия термообработки образцов. При этом изменение температуры на верхней и на нижней поверхностях тестовых заготовок печенья (Рисунки 3б и 3в), приготовленных по традиционной и новой технологиям, также выравнивались в течение 4 мин термообработки. По данным Рисунка 3г видно, что изменение толщины печенья, приготовленного по традиционной технологии, продолжается в течение 5 мин, при этом прирост по высоте составил 6 мм, т. е. достиг до 11 мм, и, соответственно, для изделия, полученного по новой технологии длится — 4 мин, а подъем по толщине — 7 мм, и поднялся до 12 мм.

По показателю изменения толщины печенья, связанного с подъемом теста в процессе выпечки,

Рисунок 3

Изменение температуры в пекарной камере (а), на нижней (б) и верхней (в) поверхности печенья и трансформации толщины изделия (г)



Примечание. Для образцов печенья, приготовленных по традиционной (—●—) и новой (·····○·····) технологии

на Рисунке 3г можно выделить три стадии. Так, в течение первой минуты выпечки (первая стадия) наблюдали рост толщины печенья, приготовленного по традиционной технологии на 1,8 мм, а по новой — на 3 мм. В течение следующих 3–4 мин термообработки (вторая стадия) продолжается подъем высоты тестовых заготовок, что обусловлено следующими процессами: прогрев теста до температуры выше 60 °С, разложение химических разрыхлителей, испарение влаги, выделение большого количества диоксида углерода и пара, как следствие, резкое снижение плотности печенья. Затем в течение 2 мин (третья стадия) наблюдалось стабильное сохранение толщины печенья, приготовленного как по традиционной, так и новой технологиям. На этой же стадии зафиксирована модификация цвета поверхности тестовой заготовки от бледно-серого оттенка до золотисто-коричневого испеченного печенья.

Влияние эмульсионного геля на физико-химические и органолептические показатели качества печенья

Изменение физико-химических показателей качества (плотность, влажность, намокаемость) печенья, представлены на рисунке 4 а, б, в. При этом печенье, приготовленное по традиционной технологии (контроль), по совмещенной технологии (образец 1), в которой применяется эмульсионный гель на основе масла грецкого ореха, инкапсулированного белок-полисахаридной смесью (из новой технологии) и пшеничная мука (из традиционной технологии), а также по новой технологии

(образец 2) с применением эмульсионного геля и смеси амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов.

Согласно Рисунку 4а, печенье, приготовленное по новой технологии из смеси амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов (образец 2) обладало наиболее низкой плотностью (470 кг/м³) по сравнению с контролем (490 кг/м³). Печенье по совмещенной технологии, где использовали с эмульсионным гелем и пшеничную муку (образец 1), оно имело плотность (550 кг/м³), что на 10,9% выше контрольного образца.

Массовая доля влаги контрольного образца печенья (Рисунок 4б) соответствовала стандарту (влажность $7,5 \pm 1,5\%$). Печенье, приготовленное по совмещенной технологии из пшеничной муки (образец 1), а также печенье по новой технологии и из смеси амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов (образец 2), имели одинаковые значения показателей влажности в соответствии с требованиями стандарта.

Как видно из Рисунка 4в, намокаемость печенья как контрольного образца, так и опытного (образец 2), приготовленного по новой технологии из смеси амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов, имели значения 150–165%, что соответствовало требованиям стандарта. Печенье (образец 1), полученное по совмещенной технологии с применением эмульсионного геля и пшеничной муки, показало самое низкое значение намокаемости (100%) и самое большое значение плотности (550 кг/м³), что не отвечало требо-

Рисунок 4

Изменение плотности (4а), влажности (4б) и намокаемости (4в) образцов сдобного печенья, приготовленных по традиционной (контроль), совмещенной (образец 1) и новой (образец 2) технологиям

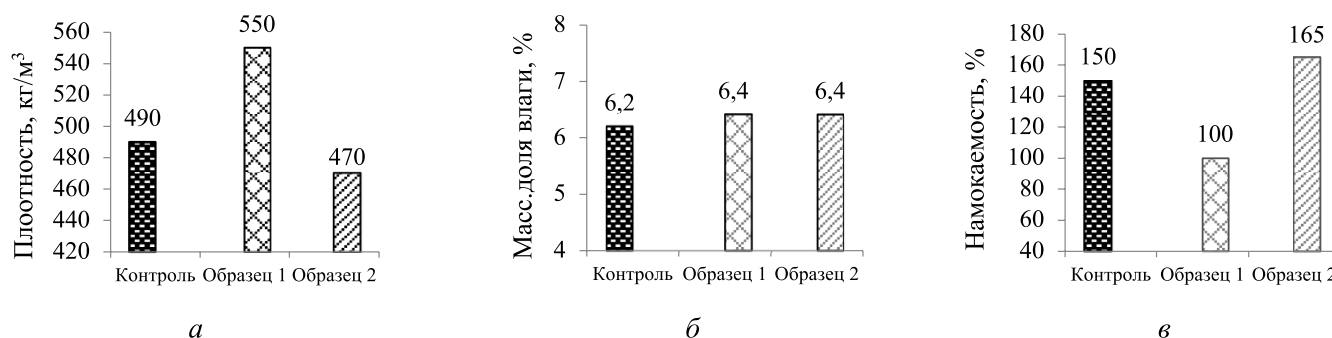


Рисунок 5
Внешний вид образцов печенья



ваниям стандарта и указывало на взаимодействие белков муки с фибриллами БПС.

При изучении органолептических показателей (вкус и запах, форма, поверхность, цвет, вид в изломе) у контрольного образца печенья наблюдали более шероховатую и интенсивно окрашенную поверхность с кристаллами сахара на поверхности. Образцы печенья (образец 2), приготовленные по новой технологии и рецептуре, обладали ровной и гладкой поверхностью, равномерной пористостью, приятным вкусом и ароматом.

Внешний вид образцов печенья, приготовленных по традиционной (контроль) и новой технологии (образец 2), представлены на Рисунке 5.

Результаты сенсорной оценки печенья, приготовленного по традиционной (контроль) и новой технологии (образец 2), представлены в Таблице 1.

Органолептическая оценка показала, что печенье (образец 2) по новой технологии имел более высо-

кую суммарную оценку дегустаторов по таким показателям как «вкус и запах», «поверхность, цвет», а также «вид в изломе» в сравнении с контролем.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В данном исследовании для инкапсуляции орехового масла применяли белок-полисахаридную смесь (БПС), включающую изолят белка сои (ИБС), который обладает хорошей способностью диффундировать и адсорбироваться на поверхностях капель масла в процессе эмульгирования или пузырьков воздуха — при пенообразовании, действуя, таким образом, в качестве эффективного эмульгатора или пенообразователя. Именно эти свойства, активно обсуждаемые в последние годы в научной литературе (McClements et al., 2010; Zhang et al., 2014) и обуславливают потенциальное использование изолята соевого белка в кондитерской промышленности. В составе БПС использовали не один полисахарид, а были созданы четыре трехкомпонентные полисахаридные комплексы: 1 — (А+G+K); 2 — (А+G+P); 3 — (А+K+P) и 4 — (G+K+P). В качестве ПНЖК использовали ореховое масло, в составе которого, как известно, содержатся мононенасыщенная олеиновая кислота (38–43%) и полиненасыщенная линолевая кислота (40–45%). Полиненасыщенные линолевая и альфа-линоленовая жирные кислоты относятся к незаменимым и являются строительным материалом для клеточных мембран, участвуют в биосинтезе и регулирующих обменных процессах в организме (Ghazani et al., 2016)

Вначале была изучена экспериментальная информация о составе БПС для создания оболочек

Таблица 1
Органолептическая оценка образцов печенья

Показатели качества изделия	Коэффициент значимости показателя	Число степеней качества	Оценка в баллах	Контроль	Образец 2
Вкус и запах	4	1–3	4–12	11,2	11,8
Форма	1	1–3	1–3	2,8	2,9
Поверхность, цвет	2	1–3	2–6	4,1	5,0
Вид в изломе	3	1–3	3–9	7,2	8,5
Суммарная оценка (Σ 10–30)				25,3	28,2

на капельках орехового масла. Пенообразующая способность Y изолята соевого белка является физико-химической характеристикой, необходимой для понимания поведения белка при использовании его в качестве оболочек на капельках масла грецкого ореха. Проведены исследования влияния тройных смесей полисахаридов на пенообразующую способность растворов изолята соевого белка. Как видно из рисунка 1, пенообразующая способность $Y_{\max}$ раствора ИБС с концентрацией 6% составляет 300% и является наименьшей. Введение полисахаридов 4 — (G+K+P), 1 — (A+G+K), 2 — (A+G+K), 3 — (A+K+P) в раствор изолята соевого белка приводит к увеличению Y до величин $Y=550\%$, $Y=400\%$, $Y=370\%$, $Y=300\%$ соответственно. При этом устойчивость пены повышалась, а оптимальное время взбивания БПС составляло 15–20 минут в зависимости от состава смесей полисахаридов. Исходя из полученных данных, можно отметить, что добавление тройной смеси полисахаридов в раствор изолята соевого белка приводит к повышению пенообразующей способности.

Проведены исследования инкапсуляции орехового масла оболочкой из БПС в водном растворе. На Рисунке 2 представлены показатели $Y_{\max}$ стойкости эмульсий. Так, эмульсии, приготовленные на основе смесей полисахаридов 1 — (A+G+K) и 4 — (G+K+P) продемонстрировали стойкость в 100%, которые после центрифугирования были не разрушены. Можно предположить, что в данном случае более мелкие пузырьки воздуха в пене приводят к более мелким каплям масла в эмульсии при замещении воздушной фазы масляной. Этот факт является одной из причин большей стойкости эмульсии. Именно тройную смесь полисахаридов 4 — (G+K+P) выбрали в качестве стенового материала для капсулирования масла грецкого ореха и получения эмульсионного геля. Полученный результат указывает на высокую стойкость эмульсии, что косвенно характеризует высокую прочность оболочек из БПС, образующихся на капельках орехового масла. При этом в эмульсионном геле происходит изменение структуры белков ИСБ, которые из глобулярного состояния разворачиваются в длинные, гибкие и эластичные фибриллы, формирующие оболочки на каплях жира (Jansens et al., 2019).

Далее в полученный эмульсионный гель добавляется сахар и смесь уваривается до содержания влаги 16–17% (Рисунок 6). Термообработка сахара-э-

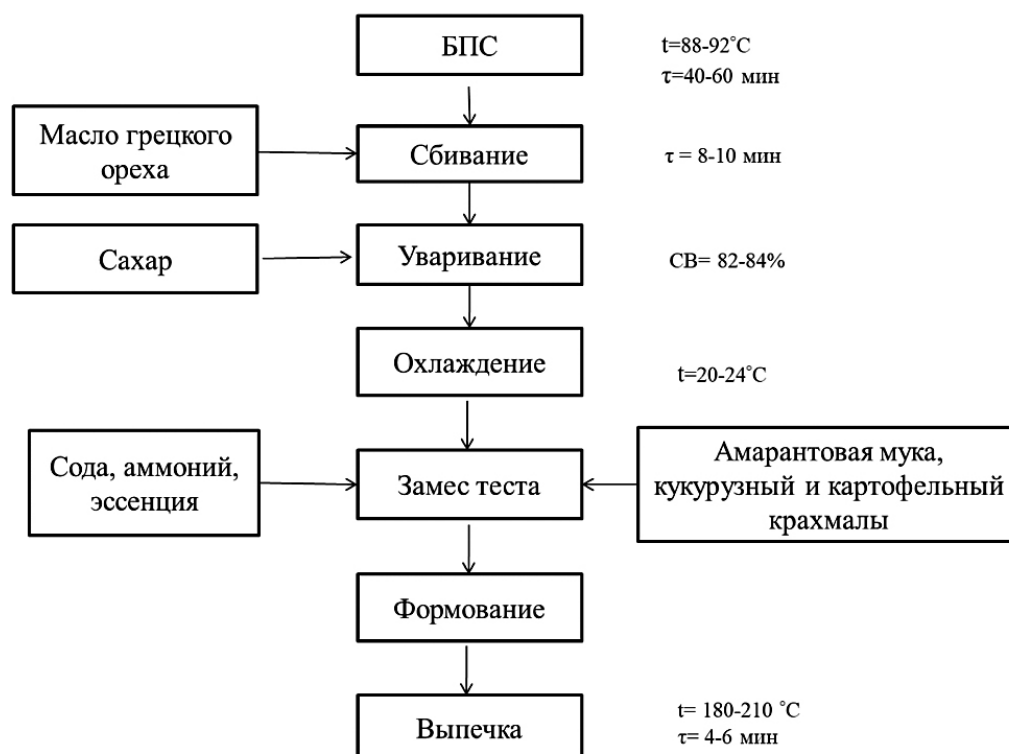
мульсионного геля приводит к реакции Майяра между белками и сахарами, а также обеспечивает спекание оболочек на капельках масла в прочные капсулы (Starowicz & Zieliński, 2019). Затем уваренный сахаро-эмульсионный гель интенсивно сбивается для охлаждения массы до температуры 20–24°C, что приводит к кристаллизации избыточного сахара и образованию твердой фазы. В итоге формируется дисперсная система «супендированная эмульсия-гель-пена», состоящая из сплошной среды — насыщенный сахаро-БПС раствор, а также находящиеся в ней 3 фазы: твердая — кристаллы (8–10%) закристаллизовавшегося сахара; жидкая — капельки масла грецкого ореха; воздушная — пузырьки воздуха. Далее в «супендированную эмульсию-гель-пену» вводится безглютеновая мучная смесь, состоящая из амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов (образец 2), все компоненты перемешиваются для получения теста. При этом частицы мучной смеси смешиваются с кристаллами сахара, что повышает долю твердой фазы в тесте. Это обусловлено тем, что содержание влаги как в мучной смеси (14,5%), так и в «супендированной эмульсии-гель-пене» должны оставаться в значениях (16,0–17,5%), предупреждающих воздействие на биополимеры. Тесто для сдобного печенья по новой технологии выглядит в виде крошки, которая в течение 20 минут выдерживается для равномерного распределения влаги по массе.

Замена в рецептуре сдобного печенья сливочного масла на масло грецкого ореха (Рисунок 3 а, б, в, г) оказывало влияние на стадию выпечки тестовых заготовок, что связано с различиями жирно-кислотного состава. В сливочном масле преобладают насыщенные жирные кислоты (50–65%), среди которых короткоцепочечные кислоты составляют 20–25%. А в составе масла грецкого ореха входят в основном полиненасыщенные жирные кислоты (80–90%). Такое различие в составе жирных кислот обуславливает и различия в теплофизических свойствах жировых продуктов.

При нагревании как сливочного, так и масла грецкого ореха снижаются их значения плотности и теплоемкости (Юсупов и соавт., 1997), но при этом возрастает величина коэффициента температуропроводности, который характеризует скорость изменения температуры в веществе или, в данном случае, в тестовой заготовке печенья. Масло грец-

Рисунок 6

Технологическая схема производства сдобного печенья с инкапсулированным маслом



кого ореха имеет меньшее значение теплоёмкости, чем сливочное масло, что приводит к снижению продолжительности выпечки печенья по новой технологии до 6 минут, по сравнению с контролем — 7 минут. Таким образом, сокращение продолжительности выпечки печенья приводит к увеличению производительности печи на 14,3 %.

На основании проведенных экспериментов разработаны новая технология и рецептура производства сдобного печенья с добавлением инкапсулированного масла грецкого ореха. При замене сливочного масла инкапсулированным маслом грецкого ореха в существующую технологию производства сдобного печенья были внесены ряд изменений. Принципиальные изменения затрагивали начальные этапы, такие как набухание гидроколлоидов, приготовление эмульсионного геля в оболочках из гидроколлоидов, уваривание с сахаром. Печенье готовили следующим образом: ИБС и тройную смесь полисахаридов смешивали с водой и гидроколлоиды выдерживали в течение 40–60 мин при температуре $(90 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ для набухания. В набухшую смесь гидроколлоидов взбивали до пенной массы и постепенно вливали масло грецкого ореха для полу-

чения эмульсионного геля в оболочках из гидроколлоидов. Затем в эмульсионный гель добавляли сахар белый и смесь уваривали. Заваренную массу для охлаждения и кристаллизации сахара взбивали в течение 10–15 мин. Далее охлажденную эмульсию загружали в тестомесильную машину и добавляли соду и смесь из амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов. Продолжительность замеса теста составляла около 5–8 мин. Готовое тесто направляли на формование тестовых заготовок печенья, которые выпекали в течение 4–6 мин при температуре 180–210 °С. Выпеченное печенье охлаждали до комнатной температуры и упаковывали в соответствии со стандартом. Разработанная технологическая схема производства сдобного печенья с инкапсулированным маслом представлена на Рисунке 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решена задача создания новой технологии безглютенового сдобного печенья с использованием эмульсионного геля на основе масла грецкого ореха в оболочках из белково-полисахаридных

смесей. В результате проведенных исследований получены новые научные данные о функциональных свойствах белково-полисахаридных смесей, позволяющие капсулировать масло грецкого ореха в оболочки. Установлен оптимальный состав БПС, где в качестве белка используется изолят белка сои, а полисахариды представлены комплексом из гуммиарабика, натрий карбоксиметилцеллюлозы и пектина. Согласно разработанной технологии пшеничную муку заменяют безглютеновой смесью из амарантовой муки, кукурузного и картофельного крахмалов в соотношении 1:1:1, а вместо твердого животного жира вносят масло грецкого ореха, капсулированное в оболочки из БПС, которые ликвидируют дефицит поверхностно-активных веществ и выполняют важную роль в образовании эмульсии и теста. Использование масла грецкого ореха в составе сдобного печенья позволяет изменить теплофизические свойства теста и уменьшить продолжительность выпечки печенья, исключить транс-изомеры жирных кислот из продукта и их негативное влияние на организм. Сдобное печенье, приготовленное по новой или предложенной технологии и рецептуре, не содержит глютена, транс-изомеров жирных кислот, его можно рекомендовать в качестве специализированных продуктов для больных целиакией, а также приверженцев вегетарианства.

Полученные результаты можно применить на другие виды печенья и с различными жидкими расти-

тельными маслами. При этом, ограничением для использования нового вида растительного масла является подбор соответствующего стенового материала, а также возможные изменения в стадиях технологического процесса. Подбор нового эмульгатора проводится на основе изучения поверхностно-активных свойств (пенообразующие и эмульгирующие свойства). Сравнение этапов новой технологии с традиционной, а также положительная их оценка являются пропуском к использованию в производстве.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Васькина В.А. — концептуализация; методология, руководство исследованием.

Новожилова Е. С. — создание черновика рукописи; визуализация.

Дубцова Г.Н. — создание рукописи и ее редактирование.

Рогозкин Е. Н. — концептуализация; методология, верификация данных.

Молчанова Е. Н. — создание черновика рукописи.

Кузнецов Я. К. — проведение исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- Бутин, С. А., Васькина, В. А., & Шеголева, И. Д. (2022). Влияние полисахаридного комплекса в стеновом материале эмульсионного геля на качество шоколадно-ореховой начинки для кондитерских изделий. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), <https://doi.org/10.36107/10.36107>
- Васькина, В. А., Бутин, С. А., Веретенникова, Е. В., & Мухамедиев, Ш. А. (2016). Создание эмульсии льняного масла, инкапсулированного белок-полисахаридной смесью. *Кондитерское производство*, 5, 10-15.
- Васькина, В. А., & Вайншенкер Т. (2008). Влияние растительных жиров на качество печенья. *Хлебопродукты*, 1, 56-57.
- Васькина, В. А., Кандроков, Р. Х., Быков, А. А., & Новожилова, Е. С. (2022). Исследование влияния состава стенового материала инкапсулированного орехового масла на структуру и качество молочной помады. *Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук*, 60(3), 332-344. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-3-332-344>
- Зайцева, Л. В., Нечаев, А. П., & Бессонов, В. В. (2012). Транс-изомеры жирных кислот: история вопроса, актуальность проблемы, пути решения. М.: ДеЛи плюс.
- Мажидова, Н. К. (2016). Получение твердых жиров с минимальным содержанием трансизомеризованных жирных кислот. *Масложировая промышленность*, 2, 26-29.
- Почицкая, И. М., & Рослик, В. Л. (2016). Определение трансизомеров жирных кислот в масложировой продукции с использованием метода инфракрасной спектроскопии. *Масложировая промышленность*, 5, 28-35.
- Рензьева, Т. В., Тубольцева А. С., & Рензьев А. О. (2022). Мука различных видов в технологии мучных кондитерских изделий. *Техника и технология пищевых производств*, 52(2), 407-416. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2373>

- Юсупов, Ш. Т., Сафаров, М. М., Зарипова, М. А., & Тагоев, С. А. (1997). Теплоемкость растительных масел в широком интервале параметров состояния. *Инженерно-физический журнал*, 5(70), 843.
- Barragán-Martínez, L. P., Román-Guerrero, A., Vernon-Carter, E. J., & Alvarez-Ramirez, J. (2022). Impact of fat replacement by a hybrid gel (canola oil/candelilla wax oleogel and gelatinized corn starch hydrogel) on dough viscoelasticity, color, texture, structure, and starch digestibility of sugar-snap cookies. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 29, 100563. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100563>
- Batirel, S., Yilmaz, A. M., Sahin, A., Perakakis, N., Ozer, N. K., & Mantzoros, C. S. (2018). Antitumor and antimetastatic effects of walnut oil in esophageal adenocarcinoma cells. *Clinical Nutrition*, 37(6A), 2166-2171. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2017.10.016>
- Cervera S.M., Salvador A., & Sanz T. (2015). Cellulose ether emulsions as fat replacers in muffins: Rheological, thermal and textural properties. *LWT — Food Science and Technology*, 63(1.2), 1083–1090. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.067>.
- Chen, Q., Dong, L., Li, Y., Liu, Y., Xia, Q., Sang, S., Wu, Z., Xiao, J., & Liu, L. (2023). Research advance of non-thermal processing technologies on ovalbumin properties: The gelation, foaming, emulsification, allergenicity, immunoregulation and its delivery system application. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-22. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2179969>
- Chowdhury, B., Sharma, A., Akshit, F. N. U., Mohan, M. S., Salunke, P., & Anand, S. (2023). A review of oleogels applications in dairy foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2215871>
- Ekin, M., Kutlu, N., Meral, R., Ceylan, Z., & Cavidoglu, İ. (2021). A novel nanotechnological strategies for obtaining fat-reduced cookies in the bakery industry: Revealing sensory, physical properties, and fatty acid profile of cookies prepared with oil-based nanoemulsions. *Food Bioscience*, 42, 101-184. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101184>
- Hadnađev, T. D., Hadnađev, M., Pojić, M., Rakita, S., & Krstonošić, V. (2015). Functionality of OSA starch stabilized emulsions as fat replacers in cookies. *Journal of Food Engineering*, 167(B), 133-138. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.02.002>
- Gharaie, Z., Azizi, M. H., Barzegar, M., & Gavligi, H. A. (2019). Gum tragacanth oil/gels as an alternative to shortening in cookies: Rheological, chemical and textural properties. *LWT*, 105, 265-271. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.025>
- Ghazani, S.M., & Marangoni, A.G. (2016). Healthy fats and oils (2016). In C. Wrigley, H. Corke, K. Seetharaman, & J. Faubion (Eds.), *Encyclopedia of food grains* (vol. 2, pp. 257-267). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00100-1>
- Jansens, K. J. A., Rombouts, I., Grootaert, C., Brijs, K., Van Camp, J., Van der Meeren, P., Rousseau, F., Schymkowitz, J., & Delcour, J. A. (2019,a). Rational Design of Amyloid-Like Fibrillary Structures for Tailoring Food Protein Techno-Functionality and Their Potential Health Implications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(1), 84-105. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12404>
- Kai, Y., Luo, X., Zhai, Y., Liu, J., Chen, K., Shao, X., Wu, X., Li, Y., & Chen, Z. (2021). Influence of sodium alginate on the gelatinization, rheological, and retrogradation properties of rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 185, 708-715. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.207>
- Kouhsari, F., Saberi, F., Kowalczewski, P. Ł., Lorenzo, J. M., & Kieliszek, M. (2022). Effect of the various fats on the structural characteristics of the hard dough biscuit. *LWT*, 159, 113–227. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113227>
- Lai, Q., Doan, N. T. T., & Nguyen, T. T. (2021). Influence of wall materials and homogenization pressure on microencapsulation of rice bran oil. *Food and Bioprocess Technology*, 14(10), 1885-1896. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02685-0>
- Li, Q., He, Q., Xu, M., Li, J., Liu, X., Wan, Z., & Yang, X. (2020). Food-grade emulsions and emulsion gels prepared by soy protein-pectin complex nanoparticles and glycyrrhizic acid nanofibrils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(4), 1051-1063. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b04957>
- Lokesh, K., Brennan, M., Brennan, C., & Zheng, H/ (2022). Influence of whey protein isolate on pasting, thermal, and structural characteristics of oat starch. *Journal of Dairy Science*, 105(1), 56–71. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20711>
- Martins, A. J., Cerqueira, F., Vicente, A. A., Cunha, R. L., Pastrana, L. M., & Cerqueira, M. A. (2022). Gelation behavior and stability of multicomponent sterol-based oleogels. *Gels*, 8(1), 37. <https://doi.org/10.3390/gels8010037>
- Martins, A. J., Vicente, A. A., Cunha, R. L., & Cerqueira, M. A. (2018). Edible oleogels: An opportunity for fat replacement in foods. *Food & Function*, 9(2), 758-773. <https://doi.org/10.1039/C7FO01641G>
- Mert, B., & Demirkesen, I. (2016). Reducing saturated fat with oleogel/shortening blends in a baked product. *Food Chemistry*, 199, 809-816. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.087>
- McClements, D.J. (2010). Emulsion design to improve the delivery of functional lipophilic components. In M.P. Doyle & T.R. Klaenhammer (Eds.), *Annual review of food science and technology* (vol. 1, pp. 241-269). <https://doi.org/10.1146/annurev.food.080708.100722>
- Oliveira, T. S., Silva, O. F., Kluczkowski, A. M., & Campelo, P. H. (2020). Potential use of vegetable proteins to reduce Brazil nut oil oxidation in microparticle systems. *Food Research International*, 137, 109526. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109526>
- Paciulli, M., Littardi, P., Carini, E., Paradiso, V. M., Castellino, M., & Chiavaro, E. (2020). Inulin-based emulsion filled gel as fat replacer in shortbread cookies: Effects during storage. *LWT*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109888>
- Patel, A. R., & Dewettinck, K. (2016). Edible oil structuring: an overview and recent updates. *Food & Function*, 7, 20-29. <https://doi.org/10.1039/c5fo01006c>
- Patel, A. R. (2017). *Edible oil structuring. Concepts, methods and applications*. The Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781788010184>

- Perry, P. A., & Donald, A. M. (2002). The effect of sugars on the gelatinisation of starch. *Carbohydrate Polymers*, 49(2), 155–165. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00324-1](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00324-1)
- Perța-Crișan, S., Ursachi, C. Ș., Chereji, B. D., Tolan, I., & Munteanu, F. D. (2023). Food-Grade Oleogels: Trends in Analysis, Characterization, and Applicability. *Gels*, 9(5), 386. <https://doi.org/10.3390/gels9050386>
- Sanz, T., Salvador, A., Vélez, G., Muñoz, J., & Fiszman, S. M. (2005). Influence of ingredients on the thermo-rheological behaviour of batters containing methylcellulose. *Food Hydrocolloids*, 19(5), 869–877. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.11.003>
- Sharma, A., Aratrika, R., & Singhal, R. S. (2021). A biorefinery approach towards valorization of spent coffee ground: Extraction of the oil by supercritical carbon dioxide and utilizing the defatted spent in formulating functional cookies. *Future Foods*, 4, 100090. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100090>
- Silva, R. C. D., Ferdaus, M. J., Foguel, A., & da Silva, T. L. T. (2023). Oleogels as a fat substitute in food: A current review. *Gels*, 9(3), 180. <https://doi.org/10.3390/gels9030180>
- Srivastava, S., & Mishra, H. N. (2021). Development of microencapsulated vegetable oil powder-based cookies and study of its physicochemical properties and storage stability. *LWT*, 152, 112364. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112364>
- Starowicz, M., & Zieliński, H. (2019). How does the Maillard reaction influence sensorial properties (color, flavor and texture) of food products? *Food Reviews International*, 35(8), 707–725. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1600538>
- Tan, C., & McClements, D. J. (2021). Application of advanced emulsion technology in the food industry: A review and critical evaluation. *Foods*, 10(4), 812.
- Torres, M. D., Moreira, R., Chenlo, F., & Morel, M. H. (2013). Effect of water and guar gum content on thermal properties of chestnut flour and its starch. *Food Hydrocolloids*, 33(2), 192–198. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.03.004>
- Turasan, H., Sahin, S., & Sumnu, G. (2015). Encapsulation of rosemary essential oil. *LWT-Food Science and Technology*, 64(1), 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.036>
- Yılmaz, E., & Ögütçü, M. (2014). Properties and stability of hazelnut oil organogels with beeswax and monoglyceride. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91(6), 1007–1017. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2434-1>
- Yiu, C. C. Y., Liang, S. W., Mukhtar, K., Kim, W., Wang, Y., & Selomulya, C. (2023). Food emulsion gels from plant-based ingredients: Formulation, processing, and potential applications. *Gels*, 9(5), 366. <https://doi.org/10.3390/gels9050366>
- Zhou, Y., Wang, D., Zhang, L., Du, X., & Zhou, X. (2008). Effect of polysaccharides on gelatinization and retrogradation of wheat starch. *Food Hydrocolloids*, 22(4), 505–512. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.01.010>
- Zhang, Z., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2014). Encapsulation, protection, and release of polyunsaturated lipids using biopolymer-based hydrogel particles. *Food Research International*, 64, 520–526.

Инфракрасная спектроскопия как метод экспресс-оценки сроков хранения и свежести охлажденной радужной форели

¹ Череповецкий государственный университет, Череповец, Российская Федерация

² Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева, Астрахань, Российская Федерация

³ Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Российская Федерация

Д. Д. Вилкова¹, О. В. Новиченко², М. А. Белова¹,
М. Н. Кутузов¹, И. А. Никитин³

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Вилкова Дарья Дмитриевна,

E-mail: dariavilkova333@gmail.com

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Вилкова, Д.Д., Новиченко, О.В., Белова, М.А., Кутузов, М.Н., & Никитин, И.А. (2024). Инфракрасная спектроскопия как метод экспресс-оценки сроков хранения и свежести охлажденной радужной форели. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(1), 85-94. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.558>

ПОСТУПИЛА: 11.11.2023

ПРИНЯТА: 15.03.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Материалы подготовлены в рамках выполнения проекта «Разработка экспресс-аналитических методов на основе больших данных спектрального анализа для определения сроков хранения и безопасности пищевого рыбного сырья», <https://rscf.ru/project/23-76-10038/> за счет средства гранта Российского научного фонда № 23-76-10038

АННОТАЦИЯ

Введение: Во всех отраслях агропромышленного комплекса, в том числе и в рыбном хозяйстве, интенсивно развиваются исследования состава и качества продукции экспресс-методами. Традиционные химические методы не отвечают требованиям проводить исследования продуктов, поступающих на потоке в кратчайшие сроки. Среди методов экспресс-анализа набирают популярность спектральные методы. В настоящее время недостаточно изучен спектральный диапазон для определения срока хранения рыбного сырья.

Цель: Разработка экспресс метода оценки сроков хранения и свежести охлажденной радужной форели методом инфракрасной спектроскопии в среднем диапазоне и исследование возможностей современных методов математического анализа данных для создания точных и надежных аналитических методик.

Материалы и методы: Объектами представленных исследований явилась охлажденная радужная форель, а именно стейки, хранившиеся при +4 °С. Для определения срока хранения, свежести и качества использовался спектрометр ИК-Фурье в среднем диапазоне «ФТ-801» с использованием приставки нарушенного полного внутреннего отражения в диапазоне 4000–700 см⁻¹ в течение 16 дней хранения.

Результаты: Инфракрасная спектроскопия в среднем диапазоне позволила дифференцировать образцы радужной форели в зависимости от дня хранения. Каждому дню хранения соответствовал свой уникальный спектр. Диапазон 1700–1500 см⁻¹ позволяет четко разделить образцы первого и последнего дня хранения стейков, а интенсивность поглощения увеличивается со временем хранения при длинах волн, соответствующих амидам и аминокетонам. Эти различия могут быть обусловлены биохимическими изменениями в образце вследствие порчи рыбы.

Выводы: Результаты этого исследования могут быть использованы для разработки нового быстрого и неразрушающего метода оценки свежести рыбы, который будет иметь практическое значение для органов контроля безопасности пищевой продукции, для потребителей, которым важно знать качество употребляемой продукции. Разработанные методы имеют большой потенциал для предприятий пищевой промышленности как средство оптимизации процессов контроля качества продукции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

радужная форель; спектроскопия в среднем инфракрасном диапазоне; свежесть рыбы; оценка срока годности; качество пищевых продуктов; неразрушающий контроль; мониторинг безопасности пищевых продуктов



Infrared spectroscopy as a rapid method the assessment of the shelf-life and freshness of refrigerated rainbow trout

¹ Cherepovets State University, Cherepovets, Russia

² Astrakhan State University name of V.N. Tatishchev, Astrakhan, Russia
Cherepovets State University, Cherepovets, Russia

³ Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia
Cherepovets State University, Cherepovets, Russia

Daria D. Vilkova¹, Olga V. Novichenko², Maria A. Belova¹, Mikhail N. Kutuzov¹, Igor A. Nikitin³

CORRESPONDENCE:

Daria D. Vilkova

E-mail: dariavilkova333@gmail.com

DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

FOR CITATIONS:

Vilkova, D., Novichenko, O., Belova, M., Kutuzov, M., & Nikitin, I. (2024). Infrared Spectroscopy as a Rapid Method the Assessment of the Shelf-Life and Freshness of Refrigerated Rainbow Trout. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(1), 85-94. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.558>

RECEIVED: 11.11.2023

ACCEPTED: 15.03.2024

PUBLISHED: 30.03.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FUNDING

The materials were prepared as part of the project «Development of express analytical methods based on big data of spectral analysis for determining the storage periods and safety of food fish raw materials», <https://rscf.ru/project/23-76-10038/>, funded by the grant from the Russian Science Foundation No. 23-76-10038.

ABSTRACT

Background: In the agro-industrial sectors, including fisheries, there is a growing focus on rapidly determining the composition and quality of food products. Traditional chemical methods are too slow for quick quality assessments. Spectral methods have become preferred for rapid analysis, although the spectral range suitable for determining the storage days of fish samples has not been thoroughly explored.

Purpose: To evaluate the shelf-life and freshness of refrigerated rainbow trout using mid-infrared spectroscopy.

Materials and Methods: Refrigerated rainbow trout steaks stored at +4 °C were examined. The fish were raised in an open tank at Lake Motkozero in the Vologda region. A mid-infrared FT-801 FTIR spectrometer with an attenuated total internal reflection (ATR) attachment was employed to determine the fish's shelf-life, freshness, and quality. The spectrum range spanned from 4000 to 700 cm⁻¹ with a resolution of 4 cm⁻¹, conducting 16 scans. Spectral data were analyzed using ZAIR 3.5 software, with measurements taken daily over a 16-day storage period.

Results: Mid-infrared spectroscopy effectively differentiated rainbow trout samples by storage day, with each day displaying a unique spectral signature. The spectral range of 1700–1500 cm⁻¹ clearly distinguished between samples from the first and last days of storage (day 16), showing an increase in absorption intensity at wavelengths corresponding to amides and amino groups, indicative of biochemical changes due to spoilage.

Conclusion: This study's findings contribute to developing a new, rapid, and non-destructive method for assessing fish freshness, which is crucial for food safety control authorities and consumers. The methods developed hold significant potential for optimizing quality control processes in the food industry.

KEYWORDS

rainbow trout, mid-infrared spectroscopy, fish freshness, shelf-life assessment, food quality, non-destructive testing, food safety monitoring



ВВЕДЕНИЕ

Рыболовство и рыбоводство играют важную роль в удовлетворении потребностей мирового населения в животном белке (Maulu et al., 2021). В настоящее время рыба и рыбопродукты являются важными компонентами сбалансированного питания человека и одними из наиболее продаваемых продовольственных товаров в мире¹. В первую очередь это связано с богатым содержанием в рыбе питательных веществ, включая высокоэффективный белок, длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты омега-3, такие как эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислоты, а также витамины и минералы (Maulu et al., 2021).

Среди прочих промысловых видов, радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*) является второй по величине производства пресноводной рыбой, в аквакультуре из семейства лососевых, что делает ее важным объектом для изучения, особенно с учетом текущих прогнозов увеличения объемов выращивания рыбы в рыбоводческих хозяйствах². Свежая форель пользуется большим спросом у населения, однако соответствие ее высокому качеству, т.е. уровню свежести, является серьезной проблемой, как для промышленности, так и для потребителей, поскольку рыба является чрезвычайно скоропортящимся пищевым продуктом и подвержена быстрой контаминации и окислению (Lougovois & Kyra, 2005). Свежесть является одним из основных факторов, свидетельствующий о качестве рыбной продукции, а также является важным атрибутом, влияющим на рыночную стоимость и готовность потребителей приобрести товар (Freitas et al., 2021). Однако уровень свежести напрямую зависит от сроков хранения рыбного сырья.

Отслеживание сроков хранения, как показатель уровня свежести, является очень актуальным для достоверности высокого качества потребляемого покупателем продукта. Особенно это относится к рыбной продукции, хранившейся в охлажденных условиях. Холодильное хранение, наряду с заморозкой, является одним из самых распространенных способов хранения рыбы. Охлаждение позволяет хранить рыбу непродолжительное количество времени и подходит для быстрого ее употребления,

в то время как заморозка позволяет продлить сроки годности и транспортировать на дальние расстояния рыбное сырье. Однако при охлажденном хранении рыба не меняет вкусовые качества и сохраняет свой товарный вид (ElMasry et al., 2016).

Традиционно свежесть и сроки годности рыбного сырья определяются с помощью ряда деструктивных и трудоемких методов с ограниченными аналитическими характеристиками (Ceylan et al., 2018; Franceschelli et al., 2021; Guizani et al., 2014; Khodanazary, 2019). Однако в настоящее время все больше набирают популярность методы неразрушающего контроля качества, свежести и сроков хранения. К ним можно отнести спектральные методы исследования, которые считаются быстрыми, относительно дешевыми и экологически безопасными. Они дают значительный объем информации на основе одного измерения. Более того, спектральные методы не требуют трудоемкой пробоподготовки, а в некоторых случаях даже могут проводиться без какой-либо подготовки (Karoui, 2018a; Vilkova et al., 2021; Yu et al., 2020). Например, флуоресцентная спектроскопия применялась для контроля свежести рыбы: мерланг (*Merlangius merlangus*) (Hassoun & Karoui, 2016), атлантическая скумбрия (*Scomber scombrus*), морской окунь (*Dicentrarchus labrax*) (Karoui et al., 2017; Karoui & Hassoun, 2017).

Одним из часто используемых учеными методов для контроля качества продукции является инфракрасная спектроскопия, основанная на способности веществ взаимодействовать с электромагнитным излучением в инфракрасной области спектра. В частности, метод инфракрасной спектроскопии в среднем диапазоне активно используется в научных исследованиях для аутентификации свежего и замороженного рыбного сырья севрюги (*Acipenser stellatus*) (Vilkova et al., 2023), а также для качественного анализа консервированного тунца (Boughattas et al., 2020). Несмотря на имеющиеся иностранные литературные данные, потенциал инфракрасной спектроскопии как метод оценки качества и сроков хранения рыбного сырья, в частности на радужной форели недостаточно раскрыт. Не хватает данных о наиболее информативных спектральных диапазонах для определения дня хранения рыбного сырья.

¹ FAO. (2020). The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca9229en>

² Ibid.

Четвертая промышленная революция (Индустрия 4.0) предполагает новый подход к оценке качества пищевой продукции, основанный на массовом внедрении информационных технологий. Сочетание определённой области спектра с хеометрическими методами обработки данных позволит создать математические модели для автоматизации оценки качества и определения дней хранения рыбного сырья в будущем.

Целью настоящего исследования явилось исследование уровня свежести и срока хранения охлажденной радужной форели экспресс-методом инфракрасной спектроскопии в среднем диапазоне для выявления наиболее информативных областей спектра. Изучению подвергались стейки радужной форели, хранившиеся в течение 16 дней в условиях холодильного хранения при температуре $+4^{\circ}\text{C}$. Полученные спектры, содержащие в себе информацию о биохимических изменениях рыбного сырья, позволяют по-новому рассматривать контроль качества, свежести и сроков хранения рыбной продукции. Впервые были продемонстрированы корреляционные нагрузки для инфракрасной спектроскопии в среднем диапазоне при определении дня хранения радужной форели.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

В качестве объекта исследования были взяты образцы стейков форели радужной. Рыба выращена в открытом водоеме в садках на озере Моткозеро в Белозерском районе Вологодской области. Форель вылавливали сачком, после чего рыбу умерщвляли методом обескровливания путем перерезания артерии. Спускание крови проводили в течение 20–30 минут, затем рыбу упаковывали в пенополистирольные ящики со льдом. Радужная форель в возрасте 2 лет (самки) была доставлена в лабораторию в течение 2 ч после вылова (во время транспортировки рыба засыпалась льдом). В процессе подготовки к анализу свежельовленную рыбу освобождали от внутренностей, обезглавливали и разрезали на стейки, а затем упаковывали в отдельные пакеты ZIP-LOCK для заморозки. Все образцы хранились в холодильнике при температуре $+4^{\circ}\text{C}$. Анализ проводили ежедневно в течение 16 дней.

Методы и инструменты

На первом этапе была проведена оценка внешнего вида неразделанной рыбы. Проводили измерение ее массы и длины, оценивали состояние внешних покровов рыбы и ее плавников, внешний вид слизи. Запах тестировали посредством обоняния спинной мышцы рыбы. Текстуру анализировали методом нажатия пальцем на спинную мышцу и наблюдения восстановления плоти согласно Кодексу Алиментариус и ГОСТ 814–2019 «Рыба охлажденная. Технические условия».

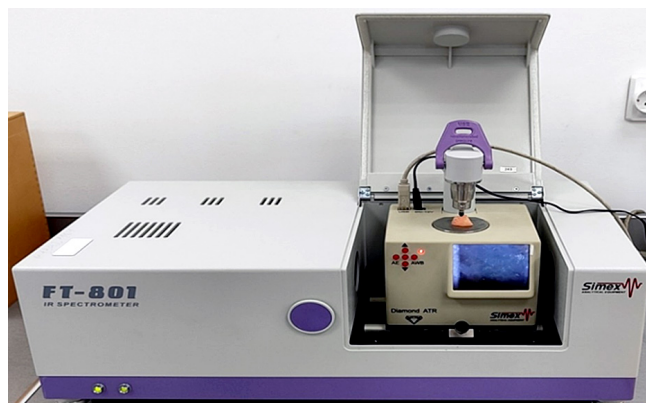
Оценка внешнего вида при поступлении в лабораторию для исследований проводилась для выявления признаков порчи и заболеваний до начала эксперимента. Измерения проводили при температуре в пределах $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха — $50 \pm 10\%$. Общее освещение рабочих мест для испытаний образцов было однородным и бестеневым.

Для проведения спектрального анализа был выбран метод инфракрасной спектроскопии в среднем диапазоне. Регистрацию инфракрасных спектров образцов стейков форели фиксировали на ИК-Фурье-спектрометре «ФТ-801» с использованием приставки нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) (Рисунок 1).

Сканирование спектров проводили при комнатной температуре (23°C) в диапазоне $4000\text{--}700\text{ см}^{-1}$ с разрешением 4 см^{-1} при 16 сканированиях. Приставка НПВО изготовлена из кристалла ZnSe, имеющего угол падения 45° и полное отражение $n = 10$.

Рисунок 1

ИК-Фурье спектрометр «ФТ-801» с приставкой НПВО



При измерении прилагалось легкое давление, обеспечивающее хороший контакт между кристаллом и образцом. Для каждого образца спектр определяли трижды. Перед каждым измерением спектр кристалла ZnSe записывался и использовался в качестве опорного спектра. Между измерениями образцов форели кристалл тщательно очищался с помощью этанола и дистиллированной воды.

Анализ данных

Для получения и обработки инфракрасных спектров использовали программу ZaIR 3.5. Нормализация была применена ко всем спектрам путем уменьшения площади под каждым спектром до значения 1 для уменьшения эффектов рассеяния. Полученные спектральные данные обработаны с применением стандартной программы Microsoft Office Excel, в то время как PLSR анализ выполнялся с использованием программного обеспечения The Unscramble X (V.10.4, Camo Software AS, Осло, Норвегия). Перед проведением анализа методом частичной регрессии наименьших квадратов в диапазоне спектров $4000\text{--}700\text{ см}^{-1}$ к исходным данным применялась предобработка — фильтр Савицкого-Голея для повышения точности данных без искажения тенденции сигнала. Затем полученный массив обрабатывался методом стандартной нормальной переменной (SNV) для нормализации данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемая форель имела длину в среднем 46,8 см, при варьировании показателя от 42,0 до 53,0 см. Средняя масса исследуемых экземпляров составила 1718,62 г (от 1158,5 до 2196,0 г, $n = 5$).

Результаты проведенной оценки внешнего вида форели радужной показали, что все анализируемые особи не имели механических повреждений, признаков заболеваний и наружных паразитов. Для рыбы были характерны жабры красного цвета, прозрачные глаза без повреждений, запах, свойственный живой рыбе. Хорошо выраженная окоченелость мышц. Чешуя блестящая, плотно прилегает к телу; слизь прозрачная, без примесей крови и постороннего запаха. Кожа упругая, без посторонних

Рисунок 2

Внешний вид поступившей в лабораторию рыбы



пятен, имела естественную окраску, плотно прилегала к тушке. Плавники цельные естественной окраски. Жаберные крышки плотно закрывали жаберную полость. Глаза выпуклые, роговая оболочка прозрачная. Брюшко не вздутое, анальное отверстие плотно закрыто, не выпячено, без истечения слизи (Рисунок 2).

На разрезе мышечная ткань упругая, плотно прилегает к костям, на поперечном разрезе спинные мышцы имели характерный цвет для радужной форели. Внутренние органы хорошо выражены, естественной окраски и структуры, без наличия опухолей, кишечник не вздут, без гнилостного запаха. Таким образом, исследуемые особи были здоровые, без признаков заболеваний или механических повреждений, что позволило нам в дальнейшем их использовать для исследований.

Спектроскопия средней инфракрасной области представлена четырьмя наиболее информативными областями: область растяжения ($4000\text{--}2500\text{ см}^{-1}$), тройных связей ($2500\text{--}2000\text{ см}^{-1}$), двойных связей ($2000\text{--}1500\text{ см}^{-1}$) и «отпечатков пальцев» ($1500\text{--}400\text{ см}^{-1}$). Пики поглощения в MIR-спектре являются исключительными для определенного типа органической связи (Abbas et al., 2020; Karoui, 2018b).

Полосы поглощения, наблюдаемые в среднем ИК диапазоне ($4000\text{--}700\text{ см}^{-1}$), связаны с фундаментальными валентными колебаниями функциональных групп молекул, и каждое химическое соединение в рыбе может влиять на спектр поглощения, как отмечается в работе Karoui et al. (2007). Наиболее информативные области спектра находились

в приблизительных диапазонах волновых чисел от 3300 до 2700 и от 1800 до 900 см^{-1} , областях, которые дают полезные «отпечатки пальцев» в отношении свежести рыбы, что согласуется с исследованиями французский и португальских ученых (Karoui et al., 2007; Saraiva et al., 2017). В этих областях содержится наибольшее количество пиков, которые рассмотрим более подробно далее.

На Рисунке 3 показаны полосы поглощения ~ 1088 , 1547, 1635 и 3287 см^{-1} образцов форели на 1, 3, 7, 12, 14 и 16-й дни хранения.

В спектрах наблюдаются типичные полосы поглощения белков. Это полосы, связанные с растяжением связи $\text{C}=\text{O}$ (1640 см^{-1} , полоса амид I) и деформацией связи $\text{N}-\text{H}$ (1520–1550 см^{-1} полоса амид II). Область с более высокими волновыми числами (2550–3500 см^{-1}) связана с колебаниями растяжения, такими как $\text{S}-\text{H}$, $\text{C}-\text{H}$, $\text{N}-\text{H}$ и $\text{O}-\text{H}$, тогда как области с более низкими волновыми числами обычно соответствуют колебаниям изгиба и углеродного скелета.

В целом, интенсивность полос поглощения зависела от срока хранения форели, при этом минимальные значения поглощения наблюдались для свежих образцов (1 день хранения). Эти различия могут быть обусловлены биохимическими изменениями в рыбе вследствие сочетания аутолитического

и микробиологического протеолиза мышечных белков форели. К таким же выводам пришла группа ученых при оценке качества атлантического лосося (Sone et al., 2011; Tito et al., 2012).

Область спектра 1500–900 см^{-1} характеризовалась полосами поглощения ~ 1088 , 1238, 1396, 1458 см^{-1} (Рисунок 4).

Пики при 1238 см^{-1} (деформационные колебания $\text{N}-\text{H}$, $\text{C}-\text{H}$) связаны с амидом III. Полосы, приписываемые липидам, имеют пики при 1458 и 1160 см^{-1} (деформационные колебания CH_2 ; валентные колебания $\text{C}-\text{O}$). Полосы поглощения амидов отмечаются при 1396 см^{-1} (валентные колебания $\text{C}-\text{N}$) (Ammor et al., 2009). Интенсивность пиков при 1088 см^{-1} (валентные колебания $\text{C}-\text{N}$) возрастает с увеличением дней хранения до 7 дня, а затем начинает снижаться. Интересно, что в исследовании Ellis и др. (2004) наиболее значимой областью спектров для различия свежего ($\text{TVC} < 10^7$ КОЕ/г) и испорченного ($\text{TVC} \geq 10^7$ КОЕ/г) мяса являлась область от 1088 до 1096 см^{-1} . При этом отмечалось, что пики при 1088 см^{-1} начинали значительно увеличиваться уже через 16 часов, а начало порчи, характеризующееся $\text{TVC} > 10^8$ КОЕ/г, произошло через 17 часов, и это был момент, когда поглощение, обусловленное свободными аминами, начало увеличиваться (Ellis et al., 2004). Очевидно, что при микробиологической порче рыбного сырья во время

Рисунок 3

ИК-спектры в среднем диапазоне радужной форели 16 дней хранения

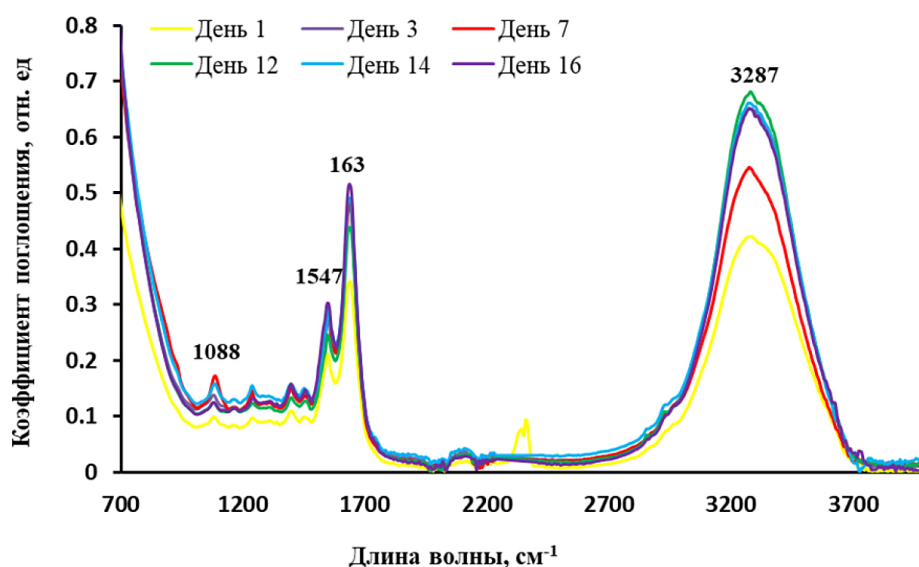
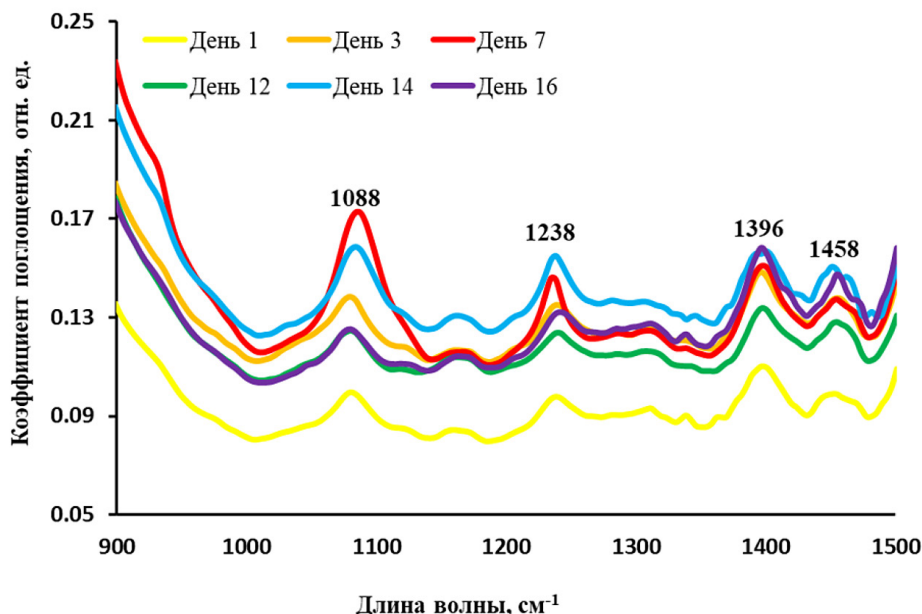


Рисунок 4

ИК-спектры в среднем диапазоне радужной форели сканированные в спектральной области 1500–900 см^{-1}



хранения, возможно, что спектральный диапазон от 1088 до 1096 см^{-1} можно использовать для оценки свежести продукции с последующей корреляцией между пиками и общим микробным числом. Более того, полоса поглощения $\sim 1088 \text{ см}^{-1}$ может быть обусловлена колебаниями C–C и C–O липидов и белков, что в свою очередь указывает на окислительные процессы, происходящие в сырье.

Область спектра 1700–1500 см^{-1} характеризовалась полосами поглощения ~ 1547 и 1635 см^{-1} (см. Рисунок 5). Фактически, анализ области амида I между 1600 и 1700 см^{-1} дает информацию об α - и β -структуре белков (Haris & Severcan, 1999). Во время хранения белки подвержены окислению и деградации, что вызывает некоторые изменения вторичной структуры белка — α -спирали, β -листа, β -поворота и случайной катушки, которые характеризуются поглощением в области 1659–1660 см^{-1} , 1600–1640 см^{-1} , 1660–1690 см^{-1} и 1640–1650 см^{-1} соответственно (Pinilla et al., 2020). В частности, колебания в области 1620–1640 см^{-1} указывают на структуру β -листа (Yang et al., 2015). Из рисунка 5 видно, что пик при 1635 см^{-1} показывает увеличение интенсивности на 3, 7, 14 и 16 день и снижение на 12 день хранения.

Изменения частоты и интенсивности колебательных компонентов может указывать на изменения в структуре β -листа в ходе окисления белков во время хранения. Полоса амида II представляет в основном (60%) изгиб N–H с некоторым растяжением C–N (40%) и приводит к пику при 1547 см^{-1} , а дополнительное колебание амида можно наблюдать при 1396 см^{-1} (растяжение C–N) (Ellis et al., 2004; Rostamzad et al., 2011). Таким образом, интенсивность поглощения увеличивается со временем хранения при длинах волн, соответствующих амидам и аминокислотам, что позволяет предположить образование свободных аминокислот и пептидов в рыбном сырье (Alexandrakis et al., 2012). Гидролиз белков указывает на образование метаболитов, связанных с порчей, таких как аммиак и летучие амины, во время хранения радужной форели и высоким пиком на 16 день соответственно (Saraiva et al., 2017).

При анализе данных методом частичной регрессии наименьших квадратов по 7 факторам был построен график корреляционной нагрузки общего диапазона спектральных данных, показанный на рисунке 6. По данному графику было выявлено, что наиболее значимой областью для охлажденной радужной форели является 1470–930 см^{-1} , при дальнейшем исследовании которой была построена модель прогнозирования дня хранения. Эти результаты

Рисунок 5

ИК-спектры в среднем диапазоне радужной форели сканированные в спектральной области 1700–1500 см^{-1}

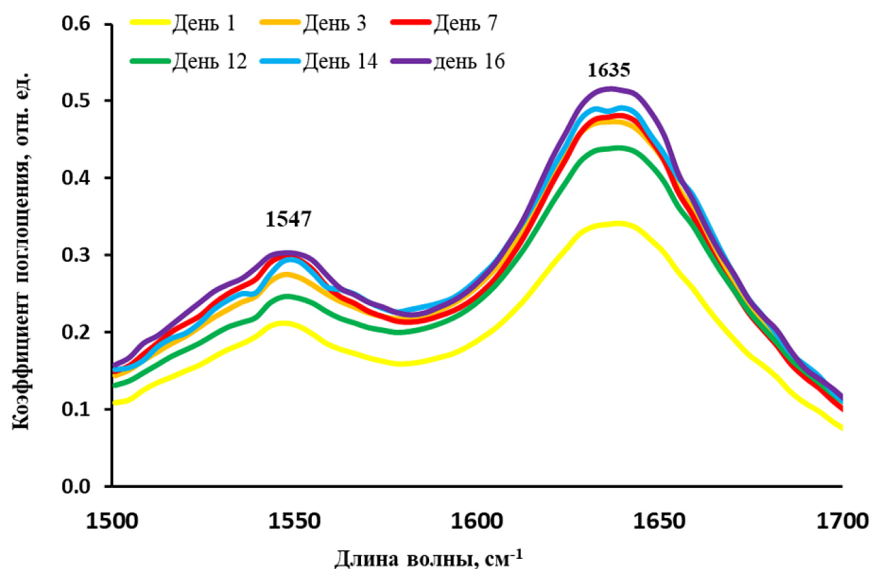
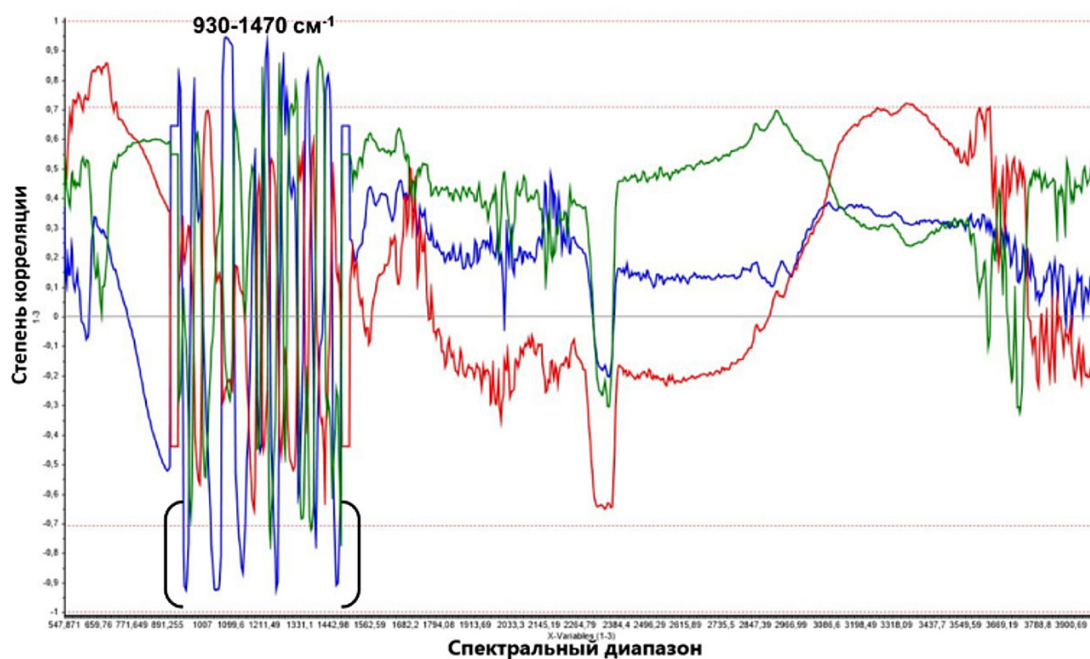


Рисунок 6

График корреляционных нагрузок ИК-спектров в среднем диапазоне радужной форели с отображением трех факторов



подтверждаются с вышеизложенными описанными диапазонами, но с более четкой границей спектральной области.

В модели прогнозирования дня хранения R^2 составил 0,85 с фактической точностью 0,65, в то время

как для всего спектрального диапазона R^2 составил 0,82 и 0,52 соответственно. Однако, для получения более высокой точности модели прогнозирования необходим больший набор данных. Для экстраполяции полученных результатов на другие виды рыб требуются дополнительные исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Текущее исследование подтвердило возможность использования спектрального анализа в среднем инфракрасном диапазоне для оценки дней хранения и как следствие свежести рыбного сырья, на примере радужной форели. Использование хемометрического метода частичной регрессии наименьших квадратов для анализа спектральных данных позволило создать модель для определения дня хранения.

Интенсивность поглощения спектров увеличивается со временем хранения в спектральном диапазоне $4000\text{--}700\text{ см}^{-1}$, соответствующих амидам и аминогруппам. Минимальные значения поглощения наблюдались для свежих образцов в 1 день хранения в сравнении с остальными днями. Инфракрасная спектроскопия в среднем диапазоне с преобразованием Фурье позволяет различать образцы в зависимости от дней хранения, позволяя четко различать каждый из них, так как каждый спектр уникален и присущ конкретному образцу (стейку). Так, область спектра $1700\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ позволяет дифференцировать образцы первого и последнего дня хранения (16 день). В то время как для определения дня хранения после частичной регрессии наименьших квадратов наиболее значимой областью можно считать $1470\text{--}930\text{ см}^{-1}$.

Поскольку для увеличения фактической точности математической модели определения дня хранения с последующим корреляционным анализом требу-

ется большой набор данных, то дальнейшая работа с рыбным сырьем будет направлена на создание открытой базы данных спектрального анализа.

Результаты этого исследования могут быть использованы для разработки нового быстрого и неразрушающего метода оценки свежести рыбы, который будет иметь практическое значение для органов контроля безопасности пищевой продукции, для потребителей, которым важно знать качество употребляемой продукции.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Вилкова Дарья Дмитриевна: руководство исследованием; концептуализация; проведение исследования; создание рукописи и ее редактирование.

Новиченко Ольга Викторовна: концептуализация; формальный анализ; создание рукописи и ее редактирование.

Белова Мария Алексеевна: методология; проведение исследования; создание черновика рукописи.

Кутузов Михаил Николаевич: формальный анализ; работа с программным обеспечением; визуализация, обработка и верификация данных.

Никитин Игорь Алексеевич: концептуализация; администрирование данных.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Abbas, O., Pissard, A., & Baeten, V. (2020). Near-infrared, mid-infrared, and Raman spectroscopy. In *Chemical Analysis of Food* (pp. 77-134). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813266-1.00003-6>
- Alexandrakis, D., Downey, G., & Scannell, A. G. M. (2012). Rapid non-destructive detection of spoilage of intact chicken breast muscle using near-infrared and fourier transform mid-infrared spectroscopy and multivariate statistics. *Food and Bioprocess Technology*, 5(1), 338-347. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0298-4>
- Ammor, M. S., Argyri, A., & Nychas, G.-J. E. (2009). Rapid monitoring of the spoilage of minced beef stored under conventionally and active packaging conditions using Fourier transform infrared spectroscopy in tandem with chemometrics. *Meat Science*, 81(3), 507-514. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.10.015>
- Boughattas, F., Le, B., & Karoui, R. (2020). Mid infrared spectroscopy coupled with chemometric tools for qualitative analysis of canned tuna with sunflower medium. *Journal of Food Composition and Analysis*, 91, 103519. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103519>
- Ceylan, Z., Unal Sengor, G. F., & Yilmaz, M. T. (2018). Nanoencapsulation of liquid smoke/thymol combination in chitosan nanofibers to delay microbiological spoilage of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets. *Journal of Food Engineering*, 229, 43-49. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.038>
- Ellis, D. I., Broadhurst, D., & Goodacre, R. (2004). Rapid and quantitative detection of the microbial spoilage of beef by Fourier transform infrared spectroscopy and machine learning. *Analytica Chimica Acta*, 514(2), 193-201. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2004.03.060>

- ElMasry, G., Nakazawa, N., Okazaki, E., & Nakauchi, S. (2016). Non-invasive sensing of freshness indices of frozen fish and fillets using pretreated excitation-emission matrices. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 228, 237-250. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.01.032>
- Franceschelli, L., Berardinelli, A., Dabbou, S., Ragni, L., & Tartagni, M. (2021). Sensing technology for fish freshness and safety: A review. *Sensors (Switzerland)*, 21(4), 1-24. <https://doi.org/10.3390/s21041373>
- Freitas, J., Vaz-Pires, P., & Câmara, J. S. (2021). Quality Index Method for fish quality control: Understanding the applications, the appointed limits and the upcoming trends. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 333-345. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.011>
- Guizani, N., Rahman, M. S., Al-Ruzeiqi, M. H., Al-Sabahi, J. N., & Sureshchandran, S. (2014). Effects of brine concentration on lipid oxidation and fatty acids profile of hot smoked tuna (*Thunnus albacares*) stored at refrigerated temperature. *Journal of Food Science and Technology*, 51(3), 577-582. https://doi.org/10.1007/s13197-011_0528-4
- Haris, P. I., & Severcan, F. (1999). FTIR spectroscopic characterization of protein structure in aqueous and non-aqueous media. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 7(1-4), 207-221. [https://doi.org/10.1016/S1381-1177\(99\)00030-2](https://doi.org/10.1016/S1381-1177(99)00030-2)
- Hassoun, A., & Karoui, R. (2016). Monitoring changes in whiting (*Merlangius merlangus*) fillets stored under modified atmosphere packaging by front face fluorescence spectroscopy and instrumental techniques. *Food Chemistry*, 200(200), 343-353. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.028>
- Karoui, R. (2018a). Spectroscopic technique: Fluorescence and Ultraviolet-Visible (UV-Vis) spectroscopies. In *Modern techniques for food authentication* (2nd ed., pp. 219-252). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814264-6.00007-4>
- Karoui, R. (2018b). Spectroscopic technique: Mid-Infrared (MIR) and Fourier Transform Mid-Infrared (FT-MIR) spectroscopies (2nd ed., pp. 23-50). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814264-6.00002-5>
- Karoui, R., & Hassoun, A. (2017). Efficiency of rosemary and basil essential oils on the shelf-life extension of Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) fillets stored at 2°C. *Journal of AOAC International*, 100(2), 335-344. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.16-0410>
- Karoui, R., Hassoun, A., & Ethuin, P. (2017). Front face fluorescence spectroscopy enables rapid differentiation of fresh and frozen-thawed sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets. *Journal of Food Engineering*, 202, 89-98. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.01.018>
- Karoui, R., Lefur, B., Grondin, C., Thomas, E., Demeulemester, C., De Baerdemaeker, J., & Guillard, A. S. (2007). Mid-infrared spectroscopy as a new tool for the evaluation of fish freshness. *International Journal of Food Science and Technology*, 42(1), 57-64. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01208.x>
- Khodanazary, A. (2019). Freshness assessment of shrimp *Metapenaeus affinis* by quality index method and estimation of its shelf life. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 309-319. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1580719>
- Lougovois, V.P., & Kyrana, V.R. (2005). Freshness quality and spoilage of chill-stored fish. In Riley A.P. (Ed.), *Food policy, control and research* (pp. 35-86). Nova Science Publishers.
- Maulu, S., Nawanzi, K., Abdel-Tawwab, M., & Khalil, H. S. (2021). Fish nutritional value as an approach to children's nutrition. *Frontiers in Nutrition*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.780844>
- Pinilla, C. M. B., Brandelli, A., López-Caballero, M. E., Montero, P., & Gómez-Guillén, M. del C. (2020). Structural features of myofibrillar fish protein interacting with phosphatidylcholine liposomes. *Food Research International*, 137, 109687. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109687>
- Rostamzad, H., Shabanpour, B., Kashaninejad, M., & Shabani, A. (2011). Antioxidative activity of citric and ascorbic acids and their preventive effect on lipid oxidation in frozen persian sturgeon fillets. *Latin American Applied Research*, 41(2), 135-140.
- Saraiva, C., Vasconcelos, H., & de Almeida, J. M. M. (2017). A chemometrics approach applied to Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) for monitoring the spoilage of fresh salmon (*Salmo salar*) stored under modified atmospheres. *International Journal of Food Microbiology*, 241, 331-339. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.10.038>
- Sone, I., Olsen, R. L., Dahl, R., & Heia, K. (2011). Visible/Near-Infrared Spectroscopy Detects Autolytic Changes during Storage of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.). *Journal of Food Science*, 76(3). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02062.x>
- Tito, N. B., Rodemann, T., & Powell, S. M. (2012). Use of near infrared spectroscopy to predict microbial numbers on Atlantic salmon. *Food Microbiology*, 32(2), 431-436. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.07.009>
- Vilkova, D., Chene, C., Kondratenko, E., & Karoui, R. (2021). A comprehensive review on the assessment of the quality and authenticity of the sturgeon species by different analytical techniques. *Food Control*, 133, 108648. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108648>
- Vilkova, D., Sangaré, M., Egorov, M., & Karoui, R. (2023). Mid-infrared spectroscopy enabled rapid differentiation between fresh and frozen-thawed Sevruga (*Acipenser stellatus*) samples presenting different raw quality. *European Food Research and Technology*, 249(9), 2299-2310. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04290-1>
- Yang, H., Yang, S., Kong, J., Dong, A., & Yu, S. (2015). Obtaining information about protein secondary structures in aqueous solution using Fourier transform IR spectroscopy. *Nature Protocols*, 10(3), 382-396. <https://doi.org/10.1038/nprot.2015.024>
- Yu, H. D., Zuo, S. M., Xia, G., Liu, X., Yun, Y. H., & Zhang, C. (2020). Rapid and nondestructive freshness determination of tilapia fillets by a portable near-infrared spectrometer combined with chemometrics methods. *Food Analytical Methods*, 13(10), 1918-1928. <https://doi.org/10.1007/s12161-020-01816-1>

Генетический анализ разнообразия линий нута методом случайной амплификации полиморфной днк (RAPD)

¹ Иранская научно-исследовательская организация науки и технологий, г. Тегеран, Иран

² Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация

³ Исламский университет Азад, г. Дамган, Иран

⁴ Дамганский филиал, Исламский университет Азад, г. Дамган, Иран

М. Масумиан¹, М. Гаравири², З. Годжаванд³, М. Ахангаран²,
Н. Г. Машенцева², Д. М. Синаки⁴

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Машенцева Наталья Геннадьевна
E-mail: natali-mng@yandex.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Масумиан, М., Гаравири, М., Годжаванд, З., Ахангаран, М., Ахангаран, М., Машенцева, Н.Г., & Синаки, Д. (2024). Генетический анализ разнообразия линий нута методом случайной амплификации полиморфной днк (RAPD). *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(1), 95-107.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.458>

ПОСТУПИЛА: 13.09.2023

ПРИНЯТА: 15.03.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение: Для селекции новых сортов нута используют разнообразные генетические ресурсы растений. Например, с помощью RAPD-праймеров и ПЦР-реакции можно амплифицировать случайно повторяющиеся последовательности на геномной ДНК нута для оценки его генетического разнообразия. Настоящее исследование направлено на изучение генетического разнообразия новых сортов нута линии FLIP.

Цель: анализ генетического разнообразия новых линий нута типа кабули селекции FLIP, полученных в Международном центре сельскохозяйственных исследований засушливых регионов (ICARDA, ИКАРДА), с помощью RAPD-маркеров и выбора линий с широкой генетической вариацией для дальнейшей селекции уникальных и перспективных генотипов.

Материалы и методы: молекулярные RAPD-маркеры, полученные в результате ПЦР-амплификации случайных участков геномной ДНК с одним праймером произвольной нуклеотидной последовательности, были использованы для изучения генетического разнообразия 18 линий нута кабули, произрастающего на территории Ирана. Выделение ДНК из сортов нута осуществляли методом Деллапорта, амплификацию участков генома проводили с использованием 8 праймеров. После электрофореза агарозный гель окрашивали бромистым этидием и анализировали амплифицированные фрагменты генома.

Результаты: Линии нута были ранжированы на основе присутствия и отсутствия фрагментов ДНК, полученных с помощью RAPD-маркеров. Результаты показывают, что наибольшее количество ПЦР-продуктов нарабатывается с праймера UB763 (90 фрагментов ДНК), а наименьшее количество фрагментов ДНК ПЦР-продуктов нарабатывается с праймера T9 (10 фрагментов ДНК). При использовании праймера T9 у большинства линий амплифицируется продукт размером 700 п.н. При анализе полученных данных процент полиморфизма составил 75 %, а коэффициент подобия Жаккара — 96 %.

Выводы: Исследование подтвердило, что RAPD-маркеры являются эффективными методами обнаружения генетической изменчивости нута. Установлено, что линии FLIP03-26C/3/98TH70/4/(FLIP93-210C/ FLIP87-8C)/S96086 и FLIP06-93C/4/2002TH 119/5/[(FLIP98-64C/FLIP98-47C)/Sel99ter85488] /3/ FLIP98-022C имеют наибольшую генетическую удаленность друг от друга, и их можно использовать в качестве родительских линий для получения новых сортов нута с высоким генетическим разнообразием. Полученные результаты могут быть применены для разработки эффективных планов долгосрочного управления генетическими ресурсами урожая нута.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

нут, генетическое разнообразие, агрономические признаки, молекулярный RAPD-маркер

Investigation of genetic diversity of some chickpea lines using molecular marker (RAPD)

¹ Iranian Research Organization for Science and Technology (IROST), Tehran, Iran

² Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation

³ Islamic Azad University, Damghan, Iran

⁴ Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran

Majid Masomian¹, Mahmood Gharaviri², Zahra Ghojavand³, Mahboobeh Ahangaran², Natalya G. Mashentseva², Jafar M. Sinaki⁴

CORRESPONDENCE:

Mashentseva Natalya Gennadievna
E-mail: natali-mng@yandex.ru

DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

FOR CITATIONS:

Masomian, M., Gharaviri, M., Ghojavand, Z., Ahangaran, M., Mashentseva, N., & Sinaki, J. (2024). Investigation of genetic diversity of some chickpea lines using molecular marker (RAPD). *Storage and Processing of Farm Products*, 32(1), 95-107. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.458>

RECEIVED: 13.09.2023

ACCEPTED: 15.03.2024

PUBLISHED: 30.03.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction: A variety of plant genetic resources are used to select new chickpea varieties. For example, using RAPD primers and PCR reactions, randomly repeated sequences on chickpea genomic DNA can be amplified to assess its genetic diversity. The present study is aimed at studying the genetic diversity of new chickpea varieties of the FLIP line.

Purpose: analysis of the genetic diversity of new lines of chickpea of the Kabuli type of FLIP selection, obtained at the International Center for Agricultural Research of the Arid Regions (ICARDA), using RAPD markers and selection of lines with wide genetic variation for further selection of unique and promising genotypes.

Materials and Methods: molecular RAPD markers, obtained as a result of PCR amplification of random sections of genomic DNA with a single primer of an arbitrary nucleotide sequence, were used to study the genetic diversity of 18 lines of Kabuli chickpea growing in Iran. DNA extraction from chickpea varieties was carried out using the Dellaporta method; amplification of genome regions was carried out using 8 primers. After electrophoresis, the agarose gel was stained with ethidium bromide and the amplified genome fragments were analyzed.

Results: Chickpea lines were ranked based on the presence and absence of DNA fragments obtained using RAPD markers. The results show that the largest number of PCR products is generated from the UB763 primer (90 DNA fragments), and the smallest number of DNA PCR product fragments is generated from the T9 primer (10 DNA fragments). When using the T9 primer, a 700 bp product is amplified in most lines. When analyzing the data obtained, the percentage of polymorphism was 75 %, and the Jaccard similarity coefficient was 96 %.

Conclusion: The study confirmed that RAPD markers are effective methods for detecting genetic variation in chickpea. It was established that lines FLIP03-26C/3/98TH70/4/ (FLIP93-210C/ FLIP87-8C)//S96086 and FLIP06-93C/4/2002TH 119/5/[(FLIP98-64C/ FLIP98-47C)]/ Sel99ter85488] /3/ FLIP98-022C have the greatest genetic distance from each other, and they can be used as parent lines to develop new chickpea varieties with high genetic diversity. The findings can be applied to develop effective long-term genetic resource management plans for the chickpea crop.

KEYWORDS

chickpea; genetic diversity; agronomic traits; molecular RAPD marker

ВВЕДЕНИЕ

Зернобобовые — это популярные во всем мире сельскохозяйственные культуры, принадлежащие семейству *Fabaceae*, которые употребляются в пищу на протяжении многих столетий, являются одними из наиболее широко потребляемых продуктов в мире и ценятся за их питательные и полезные свойства. Они являются важными источниками белков, углеводов и пищевых волокон (López-Martínez et al., 2017). Среди бобовых культур нут (*Cicer arietinum* L.), также называемый фасолью Гарбанзо, используется в качестве пищевого продукта, особенно популярного на Ближнем Востоке как основа для приготовления традиционных блюд (Gupta et al., 2017). Это однолетняя культура, которая хорошо адаптируется к умеренному и сухому климату и обладает высокой жароустойчивостью, если почва достаточно влажная, но в целом предпочитает регионы с умеренным климатом.

Нут в основном выращивают в Европе, Азии и Австралии, а также в качестве озимой культуры в Северной Америке. Индия является основным его производителем, а на Юго-Восточную Азию приходится 80 % мирового производства (Juárez-Chairez et al., 2022). К преимуществам нута относят высокое содержание белка, богатого биологически активными пептидами, а также содержание различных метаболитов с фармакологической активностью. Некоторые биологически активные вещества, идентифицированные в различных соединениях нута, являются антиоксидантными, антигипертензивными, гипохолестеринемическими и противоопухолевыми (Faridy et al., 2020).

Знание генетического разнообразия помогает маркировать зародышевую плазму, идентифицировать генный фонд и создавать основные коллекции (Upadhyaya et al., 2007). Если родители, выбранные для гибридизации, имеют различное (далекое) происхождение, тем больше шансов улучшить рассматриваемые признаки (Malik et al., 2014). Оценка генетического разнообразия зародышевой плазмы растения важна в качестве общего ориентира при выборе родителей для выведения новых сортов с целью модификации и сохранения генетических ресурсов. Сохранение и использование разнообразных генетических ресурсов растений является важной частью программ селекции, поэтому для получения уникальных и перспективных

генотипов отбирается именно генетически разнообразный материал (Hajibarat Z et al., 2015).

Одной из основных задач селекции является подбор сортов нута с высокой урожайностью и создание на их основе новых сортов, более пригодных для механизированной уборки — высокорослых, с высоким прикреплением нижних бобов, дружно созревающих и неосыпающихся, а также устойчивых к грибным, бактериальным и вирусным болезням. Эти сорта представляет ценность для включения в рабочие коллекции различных селекционных учреждений для использования в селекции нута (Шихалиева, 2016). Однако ввиду постоянной работы селекционеров по выведению новых сортов нута, необходимо изучать их характеристики и находить наиболее генетически отдаленные линии для дальнейших работ по выведению наиболее генетически разнообразных сортов.

Целью текущего исследования является анализ генетического разнообразия новых линий нута типа кабули селекции FLIP, полученных в Международном центре сельскохозяйственных исследований засушливых регионов (ICARDA, ИКАРДА), с помощью RAPD-маркеров и выбор линий с широкой генетической вариацией для дальнейшей селекции уникальных и перспективных генотипов. Исследовательский вопрос: использование каких ценных родительских генотипов перспективно для создания гибридного материала.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Агротехнические особенности нута

Известны два основных вида нута: дези и кабули: семена первого более мелкие, угловатые, с темной и грубой зерновой оболочкой, а семена второго крупнее по размеру, с гладкой и кремовой семенной оболочкой. Тип дези представляет собой предковую форму, в то время как тип кабули возник в результате мутации и отбора (Gupta et al., 2019). Разница во внешнем виде и химическом составе сортов нута зависит от района произрастания и условий, которые влияют на продолжительность вегетационного периода или устойчивость к различным заболеваниям. Сравнивая химический состав нута, можно увидеть, что морфотипы принципиально отлича-

ются по содержанию клетчатки, белков, углеводов и полифенолов. Энергетическая ценность семян деши составляет 327 ккал на 100 г, кабули — 365 ккал на 100 г (Rachwa-Rosiak et al., 2015). Нут содержит моносахариды (глюкозу, галактозу, фруктозу и рибозу), дисахариды (сахарозу и мальтозу) и олигосахариды (рафинозу, стахиозу, цицеритол и вербаскозу). Нут — доступный источник белка, углеводов, минералов и витаминов, пищевых волокон, фолиевой кислоты, β-каротина и полезных для здоровья жирных кислот (Jukanti et al., 2012).

Изменение климата, истощение природных ресурсов, сокращение пахотных земель и перенаселение ряда районов представляют собой основные препятствия на пути достижения глобальной продовольственной безопасности. Таким образом, чтобы совершить значительный прорыв в производстве продуктов питания, необходима устойчивая интенсификация сельскохозяйственного производства за счет малозатратного сельского хозяйства и выведения сортов с улучшенной урожайностью и адаптируемостью. Традиционными и современными методами селекции растений можно добиться выведения бобовых, зерновых и других важных продовольственных культур, особенно нута, используя доступное генетическое разнообразие (Raina et al., 2019).

Методы оценки генетического разнообразия сортов нута

Молекулярные маркеры неопределимы в генетических исследованиях из-за их способности различать генотипы. Наиболее широко используемым методом ПЦР со случайной амплификацией полиморфной ДНК (RAPD) является модифицированный метод ПЦР, основанный на использовании праймера случайной последовательности из 10 оснований, GC состав которого 60% и более. ПЦР-амплификацию можно ожидать только в том случае, если сайт праймирования встречается дважды в противоположном направлении примерно на 2000 оснований. Следовательно, сопоставление амплифицированных фрагментов разных видов возможно с использованием RAPD-праймеров. Полиморфизм RAPD является результатом изменений последовательности в сайтах праймера и/или изменений в последовательности-мишени между сайтами связывания праймера (Grover et al., 2016).

В последние годы для отбора наиболее перспективных сортов растений по целевым признакам активно используются генетические методы исследования, позволяющие установить их свойства. Так, были изучены количественные и качественные показатели интродуцированных из генбанка ICARDA (Международный центр сельскохозяйственных исследований засушливых регионов, Сирия) 76 генотипов нута (*Cicer arietinum* L.). Каждый из исследованных признаков показал высокую генетическую вариацию. Самую высокую вариацию среди признаков показала высота растения, а самая незначительная вариация была у ширины боба. Кластерный анализ был построен на основании индекса генетического евклидова расстояния методом UPGMA (Unweighted pair group method with arithmetic mean). Исследованные генотипы были сгруппированы в 3 основных кластера. Генотипы, близкие друг к другу по различным признакам, были отобраны в соответствующие кластеры. Из всех исследуемых образцов Flip13–70c, Flip13–364c, Flip 13–258c, Flip10–345c, Flip11–08c, Flip11–198c, Flip11–45c были оценены как наиболее урожайные, перспективные образцы (Салманова, 2021).

В природе растения могут подвергаться быстрому обезвоживанию, что приводит к значительным потерям годового мирового производства нута. Получение дополнительных знаний о механизмах устойчивости нута к быстрому обезвоживанию имеет решающее значение для создания высокоурожайных сортов, обеспечивающих стабильное производство нута в условиях внезапного дефицита воды. В работе ученых генетические исследования были сосредоточены на обусловленных генотипом изменениях относительного содержания воды в листьях и связанных с ними различиях в физиологических и биохимических показателях, зависящих от быстрого обезвоживания, в корнях и листьях двух сортов нута, FLIP00–21C и FLIP02–89C. Эти признаки могут быть полезны для оценки засухоустойчивости сортов нута и дальнейших подходов к селекции с использованием маркеров для повышения продуктивности нута. Линия FLIP00–21C показала более высокую устойчивость к быстрому обезвоживанию, чем линия FLIP02–89C (Salahvarzi et al., 2021).

С использованием методов генетического исследования были изучены 837 образцов культурного

вида нута *Cicer arietinum* L. 21 Международного центра ИКАРДА — CICTN (холодостойкие — 110); CIEN-W (озимые — 77); CIEN-S (яровые — 180); CIABN, CIFWN (устойчивые к аскохитозу и фузариозу — 228); CIDTN (засухоустойчивые — 134); CIEN-LS (крупносемянные — 72); CATN (адаптивные — 36) и стародавние сорта Таджикской селекции — 8 образцов, для идентификации продуктивных и устойчивых к грибу *Ascochyta rabiell* Pass., возбудителю аскохитоза. В результате были выделены образцы с ценными селекционными признаками. Эти образцы являются перспективным исходным материалом для практической селекции нута и включения их в селекционные программы для создания новых сортов для условий юго-востока Казахстана (Таскинбаева и др., 2022).

Для поиска высокоурожайных и устойчивых к условиям богарного земледелия генотипов нута с использованием генетических методов исследования были оценены 14 перспективных генотипов нута с двумя контрольными сортами, выращенных в четырех регионах Ирана в вегетационные периоды 2017–2020 гг. Результаты АММИ1-биplot-анализа позволили идентифицировать ряд генотипов как стабильные и высокоурожайные, которые могут быть кандидатами для интродукции новых сортов (Каримизаде и др., 2023).

Комбинированный дисперсионный анализ урожайности семян выявил значительные различия у генотипов в зависимости от местности произрастания, выполненного на основе АММИ1-биplot-анализа, два генотипа — V4 (FLIP 00–39C) и V6 (FLIP 99–26C) были рекомендованы фермерам, выращивающим нут, в качестве новых сортов для осеннего посева в западных районах Ирана (Kanouni, 2015).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Введение

Международный центр сельскохозяйственных исследований засушливых регионов (ICARDA, ИКАРДА), Сирия, основанный в 1977 году, занимается исследовательской деятельностью в рамках четырех программ: Программа сельскохозяйственных систем (FSP), Программа улучшения зерновых (CIP), Программа улучшения пищевых бобовых

(FLIP) и Программа улучшения пастбищ и кормов (PFLP) (Somel, 1983).

Одна из исследовательской деятельности Международного центра ICARDA включает в себя работы по скрещиванию линий нута с наиболее желаемыми признаками, такими как: ранняя спелость, оптимальная высота для механизированной уборки, масса зерна, цвет семян с высокой товарностью и устойчивостью к болезням.

На ранних стадиях селекционных работ происходит сегрегирование генетического материала растений, а после 5 поколений полученные линии проходят предварительные испытания, которые проводятся в разных странах, таких как Иран, в виде проектов Lattice (Lattice — волонтерский вычислительный проект, который объединил вычислительные ресурсы, Grid-промежуточное программное обеспечение, специализированное научное прикладное программное обеспечение и веб-сервисы в комплексную грид-вычислительную систему для научного анализа. Он запустил Генетический алгоритм для программного обеспечения быстрого вероятностного вывода для определения взаимосвязей между различными генетическими образцами (Cummings, 2014).

Материалы

В текущем исследовании было изучено 18 линий нута FLIP (FLIP — Food Legume Improvement Program) типа кабули, которые были отобраны в ходе предварительного тестирования для сравнения производительности сельскохозяйственной исследовательской станции Гачсаран, Иран. Некоторые агрономические характеристики экспериментальных генотипов 18 линий нута FLIP представлены в Таблице 1.

По агрономическим характеристикам опытных генотипов нута линия FLIP04–30C//00TH40/3/FLIP98–129C/S99003 имеет самую высокую урожайность — 2617 кг/га с самым коротким периодом цветения и коротким периодом созревания, поэтому была отмечена как лучшая линия по агрономическим характеристикам.

Таблица 1

Некоторые агрономические характеристики экспериментальных генотипов нута

№	Название линии	Число семян в бобе	Дней до 50 % цветения	Дней до созре- вания	Высота растения, см	Масса 100 семян, г	Урожай- ность зер- на, кг/га	Холодо- устойчи- вость, %*
1	FLIP03–26C/3/98TH70/4/(FLIP93–210C/ FLIP87–8C)/S96086	1	80	110	45	31.0	2387	130
2	FLIP04–30C//00TH 40/3/FLIP98–129C/ S99003	2	79	110	51	31.9	2617	143
3	FLIP05–88C//2000TH 31/3/FLIP98–29C/S99093	2	80	109	55	28.8	2457	134
4	FLIP05–109C/3/2000TH 77/4/(FLIP84–145C/ILC2398)//FLIP98–29C	1	80	111	50	25.5	2173	119
5	FLIP05–110C/3/2000TH 77/4/(FLIP84–145C/ILC2398)//FLIP98–29C	1	80	111	48	28.8	2333	127
6	FLIP06–17C//2002TH 18/3/FLIP98–130C/FLIP98–120C	1	81	109	51	29.4	2327	127
7	FLIP06–33C//2002TH 24/3/S99439/FLIP98–130C	1	78	110	52	29.9	1957	107
8	FLIP06–39C//2002TH 37/3/S99520/FLIP98–048C	1	77	112	58	30.8	1987	108
9	FLIP06–43C//2002TH 40/3/FLIP98–28C/FLIP98–079C	2	81	115	56	28.6	2130	116
10	FLIP06–47C//2002TH 41/3/FLIP98–38C/FLIP98–175C	2	84	115	55	30.3	1650	90
11	FLIP06–55C//2002TH 71/3/S00815/FLIP98–079C	1	84	114	67	31.3	1673	91
12	FLIP06–59C//2002TH 76/3/S99858/FLIP97–026C	2	83	115	53	30.9	1847	101
13	FLIP06–67C//2002TH 86/3/S00815 / S00835	2	80	112	54	31.2	1727	94
14	FLIP06–93C/4/2002TH 119/5/[(FLIP98–64C/FLIP98–47C)//Sel99ter85488]/3/FLIP98–022C	1	76	114	58	31.8	1497	82
15	FLIP06–97C/4/2002TH 119/5/[(FLIP98–64C/FLIP98–47C)//Sel99ter85488] /3/FLIP98–022C	1	80	116	56	32.9	1223	67
16	FLIP06–101C/4/2002TH 121/5/[(FLIP98–132C/S99093)//FLIP98–9C]/3/FLIP98–121C	2	83	113	52	32.9	1597	87
17	FLIP06–104C/4/2002TH 123/5/[(FLIP98–29C/S99442)//S15042]/3/ FLIP98–210C	2	83	112	50	34.2	1907	104
18	FLIP06–105C/4/2002TH 123/5/[(FLIP98–29C/S99442)//S15042]/3/ FLIP98–210C	1	82	113	53	32.6	2273	124

Примечание.

а Отношение количества проросших семян до холодообработки к количеству выживших растений после холодообработки, %
 б Составлено по Fazeli & Cheghamirza (2011), Kamel & Moradi (2008), Rezaeinia (2017)

Методы и процедура исследования

Выделение ДНК

Выделение ДНК из образцов растений проводили по методу Деллапорта (Dellaporta et al., 1983). Для определения количества и качества ДНК использовали спектрофотометр. Величина поглощения света при длине волны 260 нм и 280 нм для образца геномной ДНК была равна 1,8 и 2, соответственно.

RAPD-ПЦР

Для проведения ПЦР использовали восемь RAPD-праймеров (таблица 1). Реакционная смесь состояла из 10-кратного ПЦР-буфера (2,5 мкл), $MgCl_2$ (5 мкл), dNTP (2,5 мкл), праймера (1,5 мкл), Taq-полимеразы (0,2 ед.). Общий объем реакционной смеси доводился mQ водой до объема 25 мкл. В качестве матрицы была использована геномная ДНК в количестве 5 нг на реакцию. Электрофоретический анализ полученных продуктов проводили в 1,5 % агарозном геле (ТАЕ буфер). На «дорожку» наносили 10 мкл образца ПЦР-продуктов. Электрофорез проводился при напряжении электрического тока 70 В в течение 80 мин. Был использован маркер AMPIGENE® DNA Ladder 250–10,000 bp. (Sapphire Bioscience Pty. Ltd., Австралия).

После электрофореза гель окрашивали раствором 10 мкг/мл бромистого этидия в течение 10 минут при комнатной температуре, затем гель промывали проточной водой и проводили визуализацию с использованием гель-документирующей системы «Compact pro» («Gel documentation system», Иран).

Инструменты

Изучаемые признаки генетического разнообразия линий нута, получаемые в результате использования маркерной системы RAPD, представляют собой ПЦР-продукты, генерируемые праймерами, и RAPD-маркер является одним из доминирующих маркеров. Наличие или отсутствие ПЦР-продукта является критерием для подсчета баллов, поэтому для анализа данных необходимо сформировать матрицу подобия из нуля и единицы. Поскольку изучаемые свойства представляют собой полосы ДНК-фрагментов, расположенные на разных расстояниях от общего и фиксированного источника — лунки геля, поэтому расстояние каждой полосы является количественным признаком (расстояние в миллиметрах) и должно быть преобразовано в качественные показатели для анализа. Это преобразование выполняется при наличии или отсутствии полосы на определенном расстоянии от лунки геля.

Была сформирована матрица из нуля и единицы, и данные были проанализированы с использованием программного обеспечения SPSS 9 и PopGen32. Для этого исследования было использовано 8 праймеров, которые давали специфические полосы ДНК-фрагментов. GC-состав используемых нуклеотидных последовательностей праймеров варьировался от 60 до 80 %. Характеристики 8 праймеров приведены в Таблице 2.

Таблица 2

Праймеры, их последовательность, количество обнаруженных локусов, количество полиморфных локусов и диапазон размеров амплифицированных продуктов, полученных с RAPD-праймеров

№	Название праймера	Нуклеотидная последовательность праймера (50–30)	Обнаруженные локусы	Полиморфные локусы	Общее количество фрагментов ДНК	Диапазон размеров фрагментов ДНК (п.н)
1	Opp6	5' GTGGGCTGAC 3'	5	1	34	200–2000
2	Opp15	5' AAGCCAACAC 3'	6	5	55	500–3500
3	Ops2	5' CCTCTGACTG 3'	5	-	39	500–1500
4	Opu18	5' GAGGTCCACA 3'	3	1	30	500–1500
5	T9	5' CACCCCTGAG 3'	1	-	10	750–1000
6	UB709	5' CCTCCTCCCT 3'	5	1	40	250–1500
7	UB763	5' CACACCACCC 3'	6	5	90	250–2000
8	UB790	5' GGAAGTCGCC 3'	5	4	44	200–2000

Примечание. Составлено по Chowdhury et al. (2002), Datta (2011).

Анализ и валидация результатов

В работе применяли статистический метод обработки экспериментальных данных, в ходе которого определяли среднее значение искомой величины при 3-кратной повторности, а также среднеквадратическое отклонение и доверительный интервал при помощи программного пакета «Statistica 10.0» (Statsoft inc., США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В рамках настоящего исследования на первом этапе проводился ПЦР-анализ 18 линий нута с использованием 8 праймеров. Далее проводили оценку общего количества фрагментов ДНК, полученных в каждом генотипе для всех использованных праймеров. Дендрограмма, основанная на методе UPGMA, разделила сорта на 6 различных групп по степени родства.

ПЦР-анализ линий нута

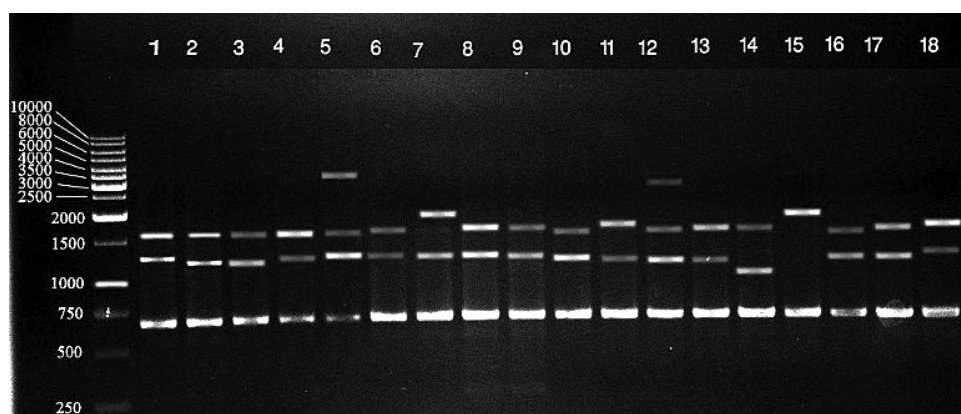
Незначительное генетическое разнообразие заключается в медленном развитии новых сортов нута с требуемыми агрономическими характеристиками. Одним из способов увеличения генетического разнообразия является сбор зародышевой плазмы и получение гибрида. RAPD — это успешный и эффективный метод дифференциации сортов нута. RAPD-маркеры использовали для исследования генетического разнообразия сортов нута на молекулярном уровне. В этом исследовании оценивали 18 линий нута, входящих в Международный центр

ICARDA. Были проанализированы ПЦР-продукты, которые хорошо визуализировались. В общей сложности с помощью 8 праймеров было получено 342 фрагмента ДНК. Размер полученных ПЦР продуктов варьировался в диапазоне от 200 до 5000 пар нуклеотидов.

Среди них наибольшее сходство наблюдается для линий 17 (FLIP06–104C/4/2002TH123/5/[(FLIP98–29C/S99442)]/3/FLIP98–210C) и 18 (FLIP06–105C/4/2002TH123/5/[(FLIP98–29C/S99442)]/3/FLIP98–210C) со значением 0,947, а наименьшее — для линий 15 (FLIP06–97C/4/2002TH119/5/[(FLIP98–64C/FLIP98–47C)]/3/FLIP98–022C) и 1 (FLIP03–26C/3/98TH70/4/[(FLIP93–210C/FLIP87–8C)]/3/S96086) со значением 0,407. Кроме того, большое количество ПЦР продуктов образуется при амплификации с праймера UB763. Таким образом, этот праймер смог определить генетическое расстояние между линиями лучше, чем другие праймеры, и может быть использован для анализа комплекса зародышевой плазмы в будущих исследованиях. Линии 15 и 1 показали большую генетическую дистанцию, чем другие линии. Линии 5 (FLIP05–110C/3/2000TH77/4/[(FLIP84–145C/ILC2398)]/3/FLIP98–29C), 15 (FLIP06–97C/4/2002TH119/5/[(FLIP98–64C/FLIP98–47C)]/3/Sel99ter85488]/3/FLIP98–022C), 9 (FLIP06–43C//2002TH 40/3/FLIP98–28C/FLIP98–079C) и 8 (FLIP06–39C//2002TH37/3/S99520/FLIP98–048C) были выделены в отдельные группы по сравнению с другими линиями. Наименьшее количество ДНК-локусов относится к праймеру T9 (10 фрагментов ДНК). В этом эксперименте большинство мономорфных ДНК-локусов принадлежало праймеру UB763 с 5 фрагментами-ДНК, а прай-

Рисунок 1

Электрофореграмма ПЦР анализа 18 клеточных линий нута с праймером Opp15.



мер Т9 был единственным праймером, у которого не было мономорфного ДНК-локуса. Праймер UB763 в ДНК-фрагменте 700 п.н. увеличил количество четких фрагментов ДНК для всех линий (Рисунки 1, 2). При анализе полученных данных процент полиморфизма составил 75 %, а коэффициент сходства Жаккара — 96 % (Рисунки 3, 4, Таблица 3).

С помощью праймера Orp15 идентифицировано 6 локусов генов в диапазоне от 700 до 3500 кДа для линий ДНК, один из которых был общим для всех линий (мономорф — 700 кДа), а остальные 5 локусов были разными (полиморфы).

С помощью праймера UB790 идентифицировано 5 локусов генов в диапазоне от 250 до 2000 кДа для

линий ДНК, один из которых был общим для всех линий (мономорф — 1000 кДа), а остальные 4 локусов были разными (полиморфы).

Дендрограмма фрагментов ДНК исследуемых линий нута

Линии нута были сгруппированы на основе матриц 1 и 0, полученных при использовании RAPD-маркеров, коэффициента сходства Жаккара и метода UPGMA (метод невзвешенных парных групп со средним арифметическим). С помощью построенной дендрограммы (Рисунок 4) генотипы были сгруппированы в 6 групп (Таблица 3).

Рисунок 2

Электрофореграмма ПЦР анализа 18 клеточных линий нута с праймером UB790

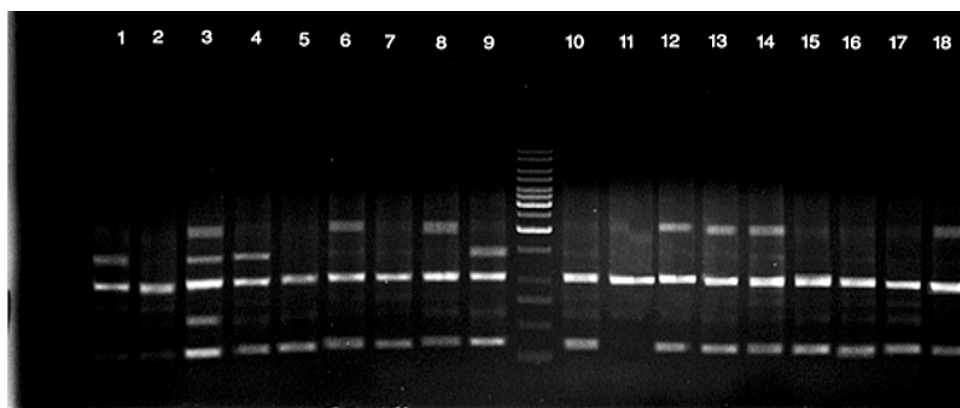


Рисунок 3

Диаграмма общего количества фрагментов ДНК, полученных в каждом генотипе для всех использованных праймеров. Каждый столбец представляет общее количество полос ДНК, образованных каждой линией для всех праймеров, использованных в этом эксперименте.

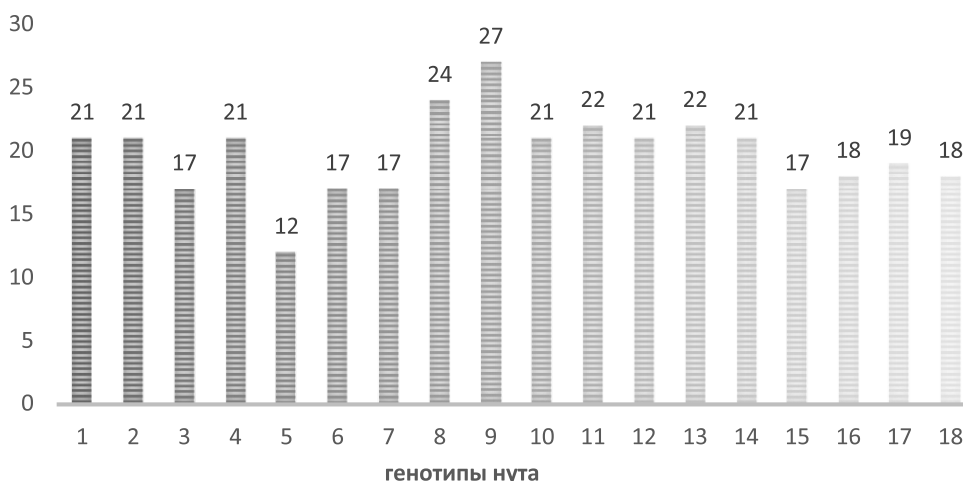


Рисунок 4
Дендрограмма для определения генетических связей между 18 линиями нута

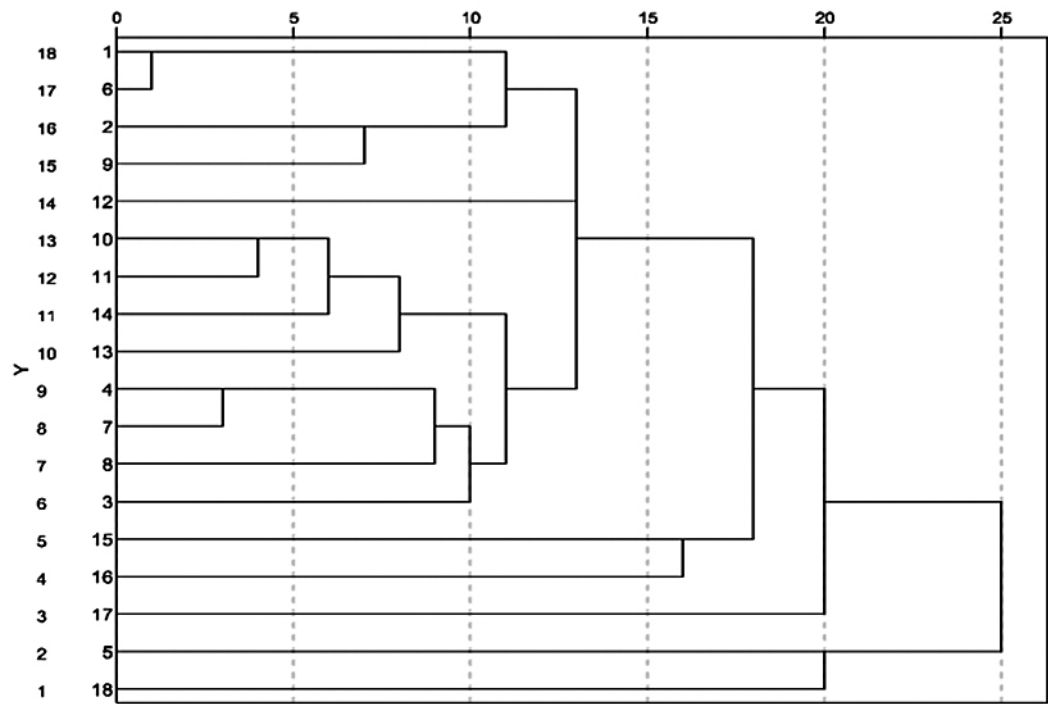


Таблица 3
Группировка линий нута по степени родства/6 групп генотипов 18 линий нута

Ряд/группа	Группа/линии
1	17-18-16-13-11-12-14-3-10
2	2-4-1-7-6
3	8
4	9
5	15
6	5

Дендрограмма, основанная на методе UPGMA, разделила сорта на 6 различных групп. Линии 15 и 1 показали бóльшую генетическую дистанцию, чем другие линии. Линии 5, 15, 9 и 8 были выделены в отдельные группы по сравнению с другими линиями. По результатам дендограммы (рис. 4) и таблицы 3 генотипических характеристик линий нута в 1-ю группу вошли 9 линий, сходных по срокам цветения, времени роста и размеру стебля, а в 2-ю группу — 5 линий, сходных по срокам цветения, времени роста и размерам стебля. Урожайность с гектара, масса ста семян и продолжительность цветения также были сходны внутри групп.

Наиболее важными критериями при выборе маркера являются объем получаемой информации, простота в эксплуатации, более низкая себестоимость и более высокая скорость работы. RAPD-маркер соответствует большинству вышеперечисленных критериев, не требует использования радиоактивных материалов и имеет шаблонную последовательность ДНК, а также показывает непосредственную разницу между геномами растений. Также возможно использовать общие праймеры, которые могут быть использованы для исследования генома любого вида растений, что делает RAPD подходящим маркером для изучения генетического разнообразия и степени родства в семействах, а также позволяет оценить наследственные резервы растений.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основании экспериментально-аналитических данных была проведена оценка генетического разнообразия 18 линий нута типа кабули с использованием RAPD-маркеров. Данный метод по-прежнему остается актуальным и служит основой для построения дендрограмм на основе полученных фрагментов ДНК и выявления сортов с наибольшей генетической дистанцией.

Дендрограмма продуктов ПЦР, полученных с помощью RAPD-праймеров, разделила сорта на 6 различных групп. Линии FLIP03–26C/3/98TH70/4/(FLIP93–210C/ FLIP87–8C)//S96086 и FLIP06–93C/4/2002TH 119/5/[(FLIP98–64C/FLIP98–47C)//Sel99ter85488] /3/ FLIP98–022C показали большую генетическую дистанцию, чем другие линии. Линии FLIP05–110C/3/2000TH 77/4/(FLIP84–145C/ILC2398)//FLIP98–29C, FLIP06–97C/4/2002TH 119/5/[(FLIP98–64C/FLIP98–47C)//Sel99ter85488] /3/ FLIP98–022C, FLIP06–43C//2002TH 40/3/FLIP98–28C/FLIP98–079C, FLIP06–39C//2002TH 37/3/S99520/ FLIP98–048C были выделены в отдельные группы по сравнению с другими линиями. В 1-ю группу вошли 9 линий, сходных по срокам цветения, времени роста и размеру стебля, а в 2-ю группу — 5 линий, сходных по срокам цветения, времени роста и размерам стебля. Урожайность с гектара, масса ста семян и продолжительность цветения также были сходны внутри групп. Линия FLIP04–30C//00TH40/3/FLIP98–129C/S99003 имеет самую высокую урожайность — 2617 кг/га с самым коротким периодом цветения и коротким периодом созревания, поэтому была отмечена как самая перспективная. Такие линии с широкой генетической вариацией можно использовать в качестве родительских линий для получения новых сортов нута с высоким генетическим разнообразием и перспективными агрономическими характеристиками.

Многие исследователи также изучали генетическое разнообразие сортов нута, в т.ч. определяли генетическое разнообразие и взаимосвязь с агрономическими признаками 15 генотипов нута кабули. Результаты показали, что оптимальные агрономические признаки играют важную роль в урожайности семян нута, и они должны учитываться при селекционной работе (Yucel et al., 2006).

Полиморфизмы ДНК в 20 генотипах нута, полученных из 10 различных географических регионов мира, были обнаружены с помощью 42 RAPD-маркеров и 41 ISSR-маркера. Маркеры RAPD идентифицировали 51 % генетического полиморфизма, в то время как маркеры ISSR идентифицировали 54 %. Полученные результаты позволяют планировать больше программ селекции и интегрировать их в сельскохозяйственные системы для селекции растений и выведения новых сортов нута (Yadav et al., 2015).

Промышленные сорта и улучшенные линии 30 генотипов нута были подвергнуты RAPD-анализу для оценки генетического разнообразия. Были использованы 16 праймеров RAPD. Амплификация геномной ДНК 30 генотипов позволила получить 62 фрагмента. Количество продуктов амплификации, полученных с одного праймера, варьировалось от двух до четырех со средним значением 3. Общее количество ДНК-локусов, амплифицированных 16 праймерами, варьировалось от 16 до 34. Праймер GLK-15 позволил получить 4 фрагмента, тогда как праймеры GLK-19 и GLD-19 только по одному фрагменту. ДНК-фрагмент, образуемый с праймера GTGTGCCCCA в генотипах PB-2000 и 07005, может быть отнесен к фенотипам устойчивости к резким перепадам температуры окружающей среды (Ahmad, 2010).

В исследовании 75 образцов, принадлежащих к 14 видам рода *Cicer*, были проанализированы с помощью ДНК-маркеров для определения их филогенетических связей. Было использовано 12 праймеров и получено 234 полиморфных фрагмента. Дендрограмма, основанная на коэффициенте подобия Жаккара, показала, что особенности роста и географическое происхождение растений связаны с характером распределения ДНК разнообразия между видами (Iruela et al., 2002).

ISSR, RAPD, M4 маркеры и морфо-агрономические признаки были использованы для исследования поколения M3 94 мутантных линий нута. В общей сложности картины фрагментов ДНК 6 праймеров ISSR и 8 праймеров RAPD позволили получить 21 (50 %) и 24 (42,25 %) полиморфных ДНК-локуса соответственно (Rostami-Ahmadvand et al., 2016).

RAPD и SSR маркеры были использованы в исследовании для выявления генетических взаимосвязей между 19 сортами нута и 5 дикорастущими сортами. Результаты этого исследования подтвердили способность двух маркеров, RAPD и SSR, обнаруживать полиморфизм между сортами нута и его дикорастущими родственниками (Rao et al., 2007).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

RAPD является эффективным инструментом для оценки и выявления генетического разнообразия сортов нута. Использование молекулярных марке-

ров позволяет осуществлять отбор и внесение новых образцов в генетические коллекции. Выбранные линии, имеющие наибольшую генетическую удаленность друг от друга, можно использовать в качестве родительских линий для получения новых перспективных по агрономическим характеристикам сортов.

При этом в качестве ограничений выступает набор праймеров для проведения RAPD-ПЦР, который отличается у разных исследователей, поэтому необходимо стремиться использовать праймеры, которые наиболее часто используются для оценки генетического разнообразия.

Дальнейшие исследования будут направлены на выведение новых генотипов нута с помощью традиционных методов селекции, что позволит получать разнообразный гибридный материал.

ЛИТЕРАТУРА

- Каримизаде, Р., Пезешкпур, П., Мирзаи, А., Барзали, М., Шарифи, П., Сафари Мотлах, М.Р. (2023). Анализ стабильности урожайности семян генотипов нута (*Cicer arietinum* L.) с помощью экспериментальных и биологических подходов. Вавиловский журнал генетики и селекции, 162, 135–145. <https://doi.org/10.18699/VJGB-23-19>
- Karimizadeh, R., Pezeshkpour, P., Mirzaei, A., Barzali, M., Sharifi, P., Safari Motlah, M.R. (2023). Analysis of seed yield stability of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes using experimental and biological approaches. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 162, 135-145. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/VJGB-23-19>
- Салманова, М.Р. (2021). Статистический анализ качественных признаков, урожайности и некоторых технологических показателей генотипов нута (*Cicer arietinum* L.). Успехи современного естествознания, 12, 76-82. <https://doi.org/10.17513/use.37739>
- Salmanova, M.R. (2021). Statistical analysis of qualitative traits, yield and some technological indicators of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Advances in Modern Natural Science*, 12, 76-82. (In Russ.) <https://doi.org/10.17513/use.37739>
- Таскинбаева, Р.Ж., Есимбекова, М.А., Ыдырыс, А.А., Байтаракова, К.Ж. (2022). Формирование активной коллекции нута (*Cicer* L.) для селекции на адаптивность и устойчивость в условиях юго-востока Казахстана. Зернобобовые и крупные культуры, 2(42), 74-81. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-2-74-81>
- Taskinbaeva, R.Zh., Yesimbekova, M.A., Ydyrys, A.A., Baytarkova, K.Zh. (2022). Formation of an active collection of chickpeas (*Cicer* L.) for selection for adaptability and resistance in the conditions of south-east Kazakhstan. *Leguminous and Cereal Crops*, 2(42), 74-81. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-2-74-81>
- Шихалиева, К. Б., Акперов, З. И., Амиров, Л. А., Гасанова, С. К., & Бабаева, С. М. (2016). Роль генофонда нута (*Cicer arietinum* L.) из коллекции зернобобовых культур в решении задач селекции в азербайджане. Успехи современного естествознания, (7), 101-105.
- Shikhalieva, K. B., Akperov, Z. I., Amirov, L. A., Gasanova, S. K., & Babaeva, S. M. (2016). The role of the gene pool of chickpea (*Cicer arietinum* L.) from the collection of leguminous crops in solving breeding problems in Azerbaijan. *Advances in Modern Natural Science*, (7), 101-105. (In Russ.)
- Ahmad, F., Khan, A. I., Awan, F. S., Sadia, B., Sadaqat, H. A., & Bahadur, S. (2010). Genetic diversity of chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm in Pakistan as revealed by RAPD analysis. *Genetics and Molecular Research*, 9(3), 1414-1420. <https://doi.org/10.4238/vol9-3gmr862>
- Chowdhury, M. A., Vandenberg, B., & Warkentin, T. (2002). Cultivar identification and genetic relationship among selected breeding lines and cultivars in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Euphytica*, 127, 317-325. <https://doi.org/10.1023/A:1020366819075>
- Cummings M. (June 16, 2014). *UMD-led public computational biology web service gains popularity*. University of Maryland.
- Datta, J., & Lal, N. (2011). Characterization of genetic diversity in *Cicer arietinum* L. and *Cajanus cajan* L. Millspaugh using random amplified polymorphic DNA and simple sequence repeat markers. *Genomics and Quantitative Genetics*, 3, 30-41.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Маджид Масумиан: концептуализация; руководство исследованием.

Махмуд Гаравири: курирование данных; верификация данных.

Захра Годжаванд: проведение исследования.

Махбубех Ахангаран: создание черновика рукописи.

Машенцева Наталья Геннадьевна: разработка методологии исследования; написание, рецензирование и редактирование рукописи.

Джафар Масуд Синаки: консультант по исследованиям.

- Dellaporta, S. L., Wood, J., & Hicks, J. B. (1983). A plant DNA miniprep: version II. *Plant Molecular Biology Reporter*, 1, 19-21.
- Faridy, J. C. M., Stephanie, C. G. M., Gabriela, M. M. O., & Cristian, J. M. (2020). Biological activities of chickpea in human health (*Cicer arietinum* L.). A review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75, 142-153. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00814-2>
- Fazeli, F., & Cheghamirza, K. (2011). Genetic variation in Iranian chickpea (*Cicer arietinum* L. kabuli type) based on agronomic traits and RAPD marker. *Seed and Plant Journal*, 27(4), 555-579.
- Grover, A., & Sharma, P. C. (2016). Development and use of molecular markers: past and present. *Critical Reviews in Biotechnology*, 36(2), 290-302. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.959891>
- Gupta, R. K., Gupta, K., Sharma, A., Das, M., Ansari, I. A., & Dwivedi, P. D. (2017). Health risks and benefits of chickpea (*Cicer arietinum*) consumption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(1), 6-22. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02629>
- Gupta, S., Liu, C., & Sathe, S. K. (2019). Quality of a chickpea-based high protein snack. *Journal of Food Science*, 84(6), 1621-1630. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14636>
- Hajibarat, Z., Saidi, A., Hajibarat, Z., & Talebi, R. (2015). Characterization of genetic diversity in chickpea using SSR markers, start codon targeted polymorphism (SCoT) and conserved DNA-derived polymorphism (CDDP). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 21, 365-373. <https://doi.org/10.1007/s12298-015-0306-2>
- Iruela, M., Rubio, J., Cubero, J. I., Gil, J., & Millan, T. (2002). Phylogenetic analysis in the genus *Cicer* and cultivated chickpea using RAPD and ISSR markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 104(4), 643-651. <https://doi.org/10.1007/s001220100751>
- Juárez-Chairez, M. F., Cid-Gallegos, M. S., Meza-Márquez, O. G., & Jiménez-Martínez, C. (2022). Biological functions of peptides from legumes in gastrointestinal health. A review of legume peptides with gastrointestinal protection. *Journal of Food Biochemistry*, 46(10), e14308. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14308>
- Jukanti, A. K., Gaur, P. M., Gowda, C. L. L., & Chibbar, R. N. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review. *British Journal of Nutrition*, 108(S1), S11-S26. <http://dx.doi.org/10.1017/S0007114512000797>
- Kanouni, H., Farayed, Y., Saeid, A., & Sabaghpour, S. H. (2015). Stability analyses for seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in the western cold zone of Iran. *Journal of Agricultural Science*, 7(5), 219. <https://doi.org/10.5539/jas.v7n5p219>
- Kamel, M., and Moradi, P. 2008. Determination of traits effective on seed yield of 36 lines of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in northwest provinces of Iran in dry land conditions. *Seed and Plant Journal*, 24(2), 347-257. <https://doi.org/10.22092/SPIJ.2017.110809>
- Malik, S. R., Ghulam, S., Muhammad, Z., Iqbal, S. M., & Asghar, A. (2014). Genetic diversity analysis of morpho-genetic traits in Desi chickpea (*Cicer arietinum*). *International Journal of Agriculture and Biology*, 16(5), 956-960.
- López-Martínez, L. X., Leyva-López, N., Gutiérrez-Grijalva, E. P., & Heredia, J. B. (2017). Effect of cooking and germination on bioactive compounds in pulses and their health benefits. *Journal of Functional Foods*, 38, 624-634. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.03.002/>
- Rachwa-Rosiak, D., Nebesny, E., & Budryn, G. (2015). Chickpeas—composition, nutritional value, health benefits, application to bread and snacks: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(8), 1137-1145. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.687418>
- Rao, L. S., Usha Rani, P., Deshmukh, P. S., Kumar, P. A., & Panguluri, S. K. (2007). RAPD and ISSR fingerprinting in cultivated chickpea (*Cicer arietinum* L.) and its wild progenitor *Cicer reticulatum* Ladizinsky. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54, 1235-1244. <https://doi.org/10.1007/s10722-006-9104-6>
- Rostami-Ahmadvandi, H., Kahrizi, D., Cheghamirza, K., Nosratti, I., & Zargooshi, J. (2016). Molecular and agro-morphological genetic diversity assessment of Chickpea mutants induced via ethyl methane sulfonate. *Cellular and Molecular Biology*, 62(11), 8-12. <https://doi.org/10.14715/cmb/2016.62.11.2>
- Raina, A., Khan, S., Wani, M. R., Laskar, R. A., & Mushtaq, W. (2019). Chickpea (*Cicer arietinum* L.) cytogenetics, genetic diversity and breeding. *Advances in Plant Breeding Strategies: Legumes: Volume 7*, 53-112. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23400-3-3>
- Rezaeinia, M., Bihanta, M. R., Peyghambari, S. A., Abbasi, A., & Gharajedaghi, F. (2017). Genetic diversity and relationships between some agronomic traits of chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under non-stress and terminal drought stress conditions. *Iranian Journal Pulses Research*, 8(1), 83-96. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v8i1.48717>
- Salahvarzi, M., Nasr Esfahani, M., Shirzadi, N., Burritt, D. J., & Tran, L. S. P. (2021). Genotype- and tissue-specific physiological and biochemical changes of two chickpea (*Cicer arietinum*) varieties following a rapid dehydration. *Physiologia Plantarum*, 172(3), 1822-1834. <https://doi.org/10.1111/pp1.13452>
- Somel K. (1983). Nutrition-Related Dimensions of Agricultural Research at ICARDA. *International Center for Agricultural Research in the Dry Areas*.
- Upadhyaya, H. D., Dwivedi, S. L., Gowda, C. L. L., & Singh, S. (2007). Identification of diverse germplasm lines for agronomic traits in a chickpea (*Cicer arietinum* L.) core collection for use in crop improvement. *Field Crops Research*, 100(2-3), 320-326. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.08.008>
- Yadav, P., Koul, K. K., Shrivastava, N., Mendaki, M. J., & Bhagyawant, S. S. (2015). DNA polymorphisms in chickpea accessions as revealed by PCR-based markers. *Cellular and Molecular Biology*, 61(5), 84-90.
- Yücel, D. Ö., Anlarsal, A. E., & Yücel, C. (2006). Genetic variability, correlation and path analysis of yield, and yield components in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30(3), 183-188.

Введение алгоритма диагностики аварийных ситуаций в систему автоматизированного управления процессом стерилизации консервов

¹ Российский биотехнологический университет, г. Москва, Российская Федерация

² Вятский государственный университет, г. Киров, Российская Федерация

С. А. Мокрушин¹, И. Г. Благовещенский¹, М. М. Благовещенская¹,
С. И. Охалкин², В. Г. Благовещенский¹

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Мокрушин Сергей Александрович
E-mail: mokrushin@mgupp.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Мокрушин, С.А., Благовещенский, И.Г., Благовещенская, М.М., Охалкин, С.И., & Благовещенский, В.Г. (2024). Введение алгоритма диагностики аварийных ситуаций в систему автоматизированного управления процессом стерилизации консервов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(1) 6 108-119. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.415>

ПОСТУПИЛА: 02.10.2023

ПРИНЯТА: 15.03.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10162, <https://rscf.ru/project/23-79-10162/>.



АННОТАЦИЯ

Введение: Несмотря на многочисленность, разнообразие и оригинальность принятых решений при реализации систем автоматизированного управления процессом тепловой обработки консервов в стерилизаторах периодического действия, в них отсутствует проработанная система диагностики и предотвращения аварийных ситуаций, отвечающая всем требованиям производственного процесса, что делает задачу ее создания актуальной.

Цель: Создать алгоритм управления, наибольшим образом удовлетворяющий всем техническим критериям, предъявляемым к системе автоматизации процесса стерилизации консервов в промышленном автоклаве и имеющий все необходимые защиты и блокировки для безаварийной работы системы управления.

Материалы и методы: За основу повышения надежности и безаварийности работы системы автоматизированного управления были выбраны инструменты технического диагностирования в процессе эксплуатации за счёт введения методов тестового диагностирования в начале производственного цикла и методов функционального диагностирования во время непосредственной работы системы управления. Применение технического диагностирования в процессе эксплуатации выполнено путем доработки общего алгоритма управления и интеграции в него подпрограмм диагностики и предупреждения аварийных ситуаций. Для повышения общей надежности системы применяется подход связанный с внесением изменений в структуру системы управления, опирающийся на расчёт вероятности безотказной работы всех элементов системы по каждому каналу регулирования в отдельности.

Результаты: Предложенный алгоритм работы и разработанная структура системы управления, обеспечивают точный и безаварийный режим работы установки. Учёт в алгоритме работы возможностей возникновения аварийных ситуаций обеспечивает снижение доли брака готовой продукции, что подтверждено производственными испытаниями.

Выводы: Предлагаемый подход диагностики аварийных ситуаций может эффективно использоваться при проектировании систем управления аппаратов, реализующих аналогичные технологии обработки продукта, а также в компьютерных тренажерных комплексах для обучения персонала пищевых производств диагностике и устранению аварийных ситуаций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

процесс стерилизации консервов; система автоматизированного управления; алгоритм диагностики аварийных ситуаций; отклонение параметров; обрыв датчика; нарушение герметичности; надежность системы управления

Introduction of algorithm for diagnostics of emergency situations in the system of automated control of the canned sterilization process

¹ Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation

² Vyatka State University, Kirov, Russian Federation

Sergey A. Mokrushin¹, Ivan G. Blagoveshchenskiy¹, Margarita M. Blagoveshchenskaya¹, Sergey I. Okhapkin², Vladislav G. Blagoveshchenskiy¹

CORRESPONDENCE:

Mokrushin Sergey Aleksandrovich
E-mail: mokrushin@mgupp.ru

DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

FOR CITATIONS:

Mokrushin, S.A., Blagoveshchenskiy, I.G., Blagoveshchenskaya, M.M., Okhapkin, S.I., & Blagoveshchenskiy V.G. (2024). Introduction of algorithm for diagnostics of emergency situations in the system of automated control of the canned sterilization process. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(1). <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.415>

RECEIVED: 02.10.2023

ACCEPTED: 15.03.2024

PUBLISHED: 30.03.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FUNDING

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation № 23-79-10162, <https://rscf.ru/project/23-79-10162/>.

ABSTRACT

Introduction: Despite the multiplicity, variety and originality of the decisions taken in the implementation of automatic control systems for the heat treatment of canned food in periodic sterilizers, they lack a well-developed system for diagnosing and preventing emergencies that meets all the requirements of the production process, which makes the task of creating it relevant.

Purpose: To propose a control algorithm that best meets all the technical criteria for the automation system of the sterilization process of canned food in an industrial autoclave and has all the necessary protections and locks for trouble-free operation of the control system.

Materials and Methods: As a basis for improving the reliability and trouble-free operation of the automated control system, well-proven technical diagnostic tools were selected in practice during operation due to the introduction of test diagnostic methods at the beginning of the production cycle and functional diagnostic methods during the direct operation of the control system. The application of technical diagnostics during operation was carried out by refining the general control algorithm and integrating diagnostic and emergency prevention routines into it. To improve the overall reliability of the system, an approach is used related to making changes to the structure of the control system, based on calculating the probability of failure-free operation of all elements of the system for each control channel separately.

Results: The proposed algorithm of operation and the developed structure of the control system ensure accurate and trouble-free operation of the installation. Taking into account the possibilities of emergency situations in the algorithm ensures a reduction in the share of defective finished products, which is confirmed by production tests.

Conclusion: The proposed approach to emergency diagnostics can be effectively used in the design of control systems of devices implementing similar product processing technologies, as well as in computer training complexes for training food production personnel in the diagnosis and elimination of emergency situations.

KEYWORDS

the sterilization process of canned food, automated control system, algorithm for diagnosing emergency situations, deviation of parameters, sensor breakage, leakproofness, reliability of the control system



ВВЕДЕНИЕ

Стерилизация является ответственным этапом в общем цикле производства консервов. Цикл стерилизации состоит из нескольких этапов: заполнение автоклава водой, загрузка расфасованного по банкам продукта в установку с нагретой водой, нагрев консервов паром до температуры стерилизации, этапа стерилизации при поддержании заданного давления, этапа охлаждения продукта холодной водой, извлечения продукта и слива воды из аппарата¹. На каждом из перечисленных этапов может возникнуть нештатная ситуация.

Российские исследователи (Бабарин, 1994; Выскубов, 1996; Власов, 2010; Кайченев, 2011; Ахмедов, 2011) в своих работах подробно исследуют процесс регулирования технологических параметров в процессе стерилизации, но не уделяют должного внимания, вопросу как должна вести себя система управления во время нештатных ситуаций (аварий). Зарубежные публикации (Silva et al., 1992; Ghani et al., 2001; Farid et al., 2004; Gonçalves et al., 2005; Siri wattanayotin et al., 2006; Miri et al., 2008; Shahsavand et al., 2009; Llave et al., 2012) демонстрируют, что их авторов в большей степени интересуют вопросы связанные с технологией стерилизации продукции, а публикаций связанных с автоматизацией процесса стерилизации и, в частности, связанных с вопросами повышения надежности таких систем, нет.

Несмотря на отсутствие конкретных примеров использования инструментов и методов повышения надёжности и безаварийной работы систем управления процессом стерилизации консервов, существуют известные подходы для решения подобных задач, опробованные в других областях промышленности (Abid et al., 2021), поэтому нужно провести исследование по эффективности применения данных методов для указанной области пищевой промышленности.

Для всестороннего понимания особенностей технологического процесса стерилизации консервов в России и выявления наиболее уязвимых мест с точки зрения потери качества продукта и появления брака были проанализированы работы ведущих отечественных авторов по вопросам технологии процесса стерилизации консервов. В работах Асмаева М.С. и Корнилова Ю.Г.², Грачёва Ю.П. с соавторами³ описана математическая модель процесса стерилизации консервов, которая показывает взаимосвязь физических параметров в процессе стерилизации и их влияние на точность ведения всего технологического процесса. Аминов М.С. с соавторами⁴ и Зонин В.Г.⁵ описали технологию и конструкцию аппаратов для стерилизации консервов, их особенности и принцип действия, а также выделили наиболее важные элементы конструкции с точки зрения надёжности. Флауменбаума Б.Л.⁶ и Бабарина В.П.⁷ подробно описали технологию стерилизации консервов и последствия, к которым могут привести отклонения технологических параметров от заданных значений. Существующая литература позволяет отнести к перечню аварийных ситуаций отклонение регулируемых технологических параметров (температуры и давления) от заданных значений, контроль обрыва в цепи датчиков (температуры и давления) и выход из строя элементов регулирования (регулирующих и запорных клапанов).

Цель данного исследования: предложить подход к повышению надежности и безаварийности в работе системы автоматизированного управления процессом стерилизации консервов.

Исследовательский вопрос: Какие недостатки существуют в современных системах автоматизированного управления процессом стерилизации консервов и какими способами можно устранить выявленные проблемы.

¹ Флауменбаум, Б.Л., Танчев, С.С., & Гришин, М.А. (1986). *Основы консервирования пищевых продуктов*. Москва: Агропромиздат.

² Асмаев, М.П., & Корнилов, Ю.Г. (1982). *Моделирование процессов пищевых производств*. Москва: Лёгкая и пищевая промышленность.

³ Грачёв, Ю.П., Тубольцев, А.К., & Тубольцев, В.К. (1984). *Моделирование и оптимизация тепло- и массообменных процессов пищевых производств*. Москва: Лёгкая и пищевая промышленность.

⁴ Аминов, М.С., Аминова, Э.М., & Горун, Е.Г. (1987). *Производство консервов*. Москва: Агропромиздат.

⁵ Зонин, В.Г. (2008). *Современная технология мясных консервных продуктов*. СПб.: Профессия.

⁶ Флауменбаум, Б.Л. (1981). *Теоретические основы стерилизации консервов: учебное пособие для вузов*. Киев: Высшая школа.

⁷ Бабарин, В.П. (2006). *Стерилизация консервов: справочник*. Санкт-Петербург: ГИОРД.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования

Исследованию подлежат вопросы, связанные с диагностикой и предупреждением аварийных ситуаций во время выполнения технологического процесса стерилизации консервов. Исследованы различные режимы работы системы автоматизированного управления процессом стерилизации консервов в автоклаве при стерилизации в воде с противодавлением, в результате которых авторами выделены типовые аварийные ситуации, которые необходимо предупреждать заранее для безопасной работы системы.

Инструменты и методы

Из множества известных методов диагностики и обнаружения неисправностей, описанных в литературе (Park et al., 2020), для решения проблемы повышения общей надежности и безаварийной работы системы автоматизированного управления процессом стерилизации консервов, целесообразным является подход связанный с внесением изменений в структуру системы управления, а также применение технического диагностирования в процессе эксплуатации путем доработки общего алгоритма управления и интеграции в него подпрограмм диагностики и предупреждения аварийных ситуаций.

При разработке систем автоматизированного управления технологическим процессом необходимо уделять внимание не только поддержанию параметров технологического процесса с заданными показателями качества, но и глубокому и всестороннему анализу всех потенциально возможных аварийных ситуаций и способов их предотвращения. Для повышения надежности, при управлении технологическим процессом стерилизации, авторами предлагается дополнить классическую структуру автоматизированной системы управления на основе программируемого логического контроллера применением методов теории надежности при проектировании и эксплуатации подобных систем. Для выявления способов повышения надежности работы системы автоматизированно-

го управления необходимо применить совокупность средств, правил и алгоритмов технического диагностирования (Kovalev et al., 2021). Для этого преобразуем существующую структурную схему системы управления в схему расчёта надёжности контуров управления и, на основании исходных данных (число элементов системы, коэффициент условий их применения, интенсивность отказов элементов), рассчитываем вероятность безотказной работы каждого элемента в отдельности, каждому канала регулирования и системы управления в целом. На основании расчётов готовятся рекомендации для изменения структуры и состава элементов системы, с целью повышения показателей надежности всей системы в целом.

Кроме аппаратных изменений в системе управления авторами предлагается дополнить общий алгоритм работы системы автоматизированного управления процедурами предупреждения возникновения аварийных ситуаций в ходе выполнения технологического процесса стерилизации консервов. Эффективным будет интегрировать в существующую программу управления алгоритмы технического диагностирования, которые должны обеспечивать дополнительную проверку состояния системы (допустимое, предаварийное, аварийное) и ускорить поиск неисправности. Результаты диагностики применяют при прогнозе нежелательных событий и при поиске причин отказов и аварий. Это особенно важно при расследовании аварий, выявлении причин их возникновения. Определение состояний, предшествующих аварии, а следовательно, и первопричины ее возникновения, исключительно важно для недопущения подобных аварий в будущем и на аналогичных системах. В исследовании применено техническое диагностирование в процессе эксплуатации. При этом в исследовании применены, как тестовые методы диагностирования в начале производственного цикла, так и функциональные методы диагностирования во время непосредственной работы системы управления.

Общая программа системы автоматизированного управления и подпрограммы диагностики и предупреждения аварийных ситуаций выполнены на языке CFC с использованием общепринятых элементов программирования стандарта МЭК 61131-3⁸.

⁸ Петров, И.В. (2003). *Программируемые контроллеры. Стандартные языки и инструменты*. Москва: СОЛОН-Пресс.

Анализ и валидация данных

Анализ надёжности системы управления будет выполнен через расчёт показателя вероятности безотказной работы отдельных контуров регулирования системы. Тот контур регулирования, который имеет наименьшую вероятность безотказной работы, определит надёжность системы в целом. Если показатель надёжности нас удовлетворяет, то систему можно оставить без изменений, если нет, то систему преобразуют и дополняют, с целью повышения надёжности.

Эффективность использования процедур предупреждения возникновения аварийных ситуаций в ходе выполнения технологического процесса стерилизации консервов должна быть подтверждена производственными испытаниями в течении установленного периода использования системы автоматического управления.

РЕЗУЛЬТАТЫ

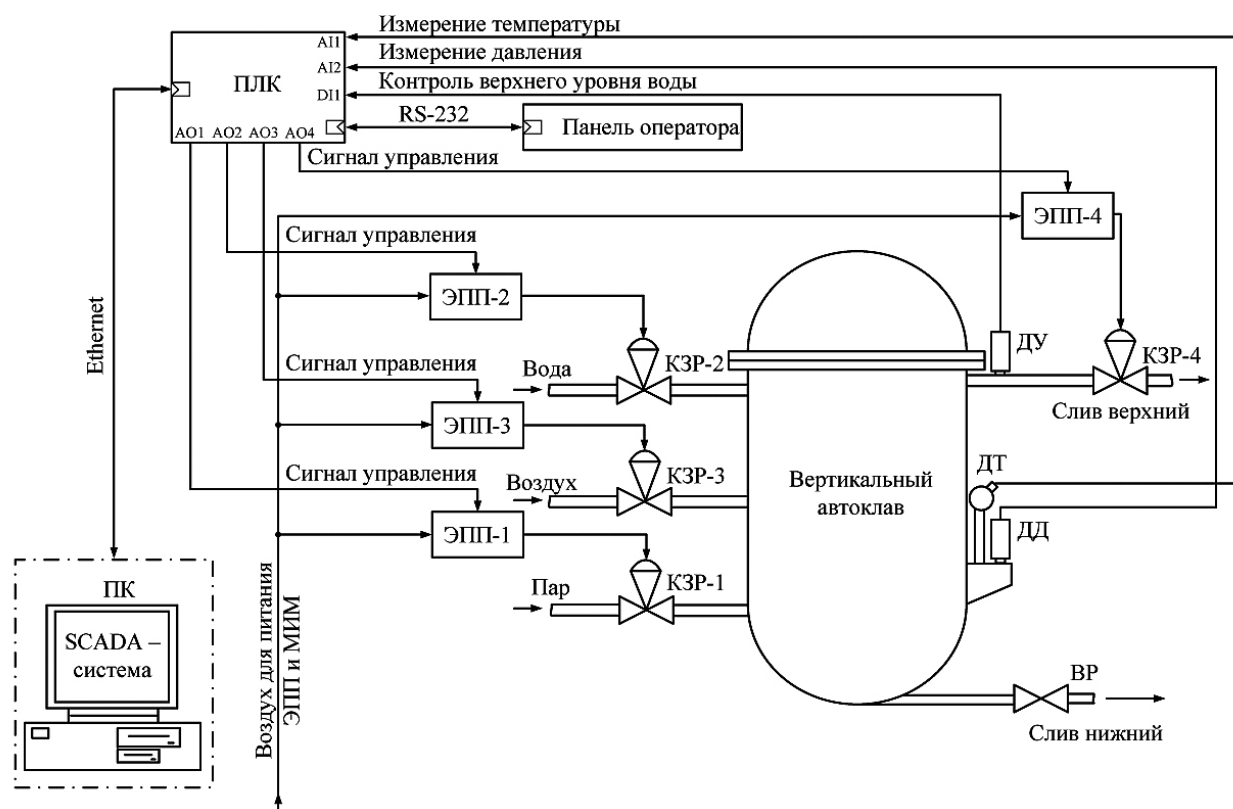
Анализ структуры системы управления с точки зрения надёжности. Система управления (Рисунок 1) автоматически регулирует в автоклаве температуру и давление по заданной программе. Система включает в себя автоматизированное рабочее место оператора и обеспечивает автоматическое выполнение основных стадий процесса стерилизации консервов. В качестве главного управляющего устройства в системе используется программируемый логический контроллер (ПЛК), который позволяет построить систему управления требуемого уровня сложности (Мокрушин, 2019).

В системе автоматизированного управления (Рисунок 1) предусмотрено:

- (1) измерение температуры и давления, а также контроль верхнего уровня воды;
- (2) изменение в подающих трубопроводах расходов холодной воды, пара и воздуха посредством регулирующих клапанов.

Рисунок 1

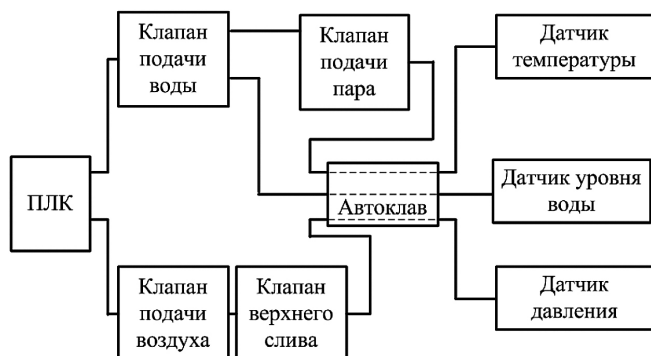
Структурная схема системы автоматизированного управления



Примечание. ДТ — датчик температуры; ДД — датчик давления; ДУ — датчик уровня воды; ПЛК — программируемый логический контроллер; ПК — персональный компьютер; RS-485 и Ethernet — интерфейсы связи; ЭПП — электропневматический позиционер; КЗР — клапан запорно-регулирующий с мембранным исполнительным механизмом; ВР — вентиль ручного управления.

Рисунок 2

Схема расчёта надёжности системы автоматизированного управления



При расчете показателей надежности (Рисунок 2), на этапе проектирования системы, полагают соединение элементов системы последовательным, а вероятность безотказной работы — подчиняющийся экспоненциальному закону распределения вероятности.

Согласно расчетной схеме (Рисунок 2) система автоматизированного управления процессом стерилизации консервов представляется в виде последовательного соединения трёх элементов: регулирующих клапанов, технологического аппарата и датчиков регулируемых величин. Таким образом, схема расчёта надёжности будет содержать последовательно соединенные контроллер и объект регулирования. Так как в контроллере реализовано три одноконтурные системы автоматического регулирования (температура, давление, уровень), то следует рассчитать вероятность безотказной работы каждой из этих одноконтурных систем. Та одноконтурная система, которая имеет наименьшую вероятность безотказной работы, определяет надежность системы в целом.

Описание причин возникновения аварийных ситуаций в системе

Измерение температуры греющей среды и внутреннего давления в автоклаве осуществляется датчиками ДТ и ДД (Рисунок 1). Сигналы с датчиков используются для анализа основных аварийных ситуаций в процессе стерилизации консервов — от-

клонение температуры и давления от установленных пределов. Эти аварийные ситуации всегда учитывают, так как отклонения параметров прописаны в техническом задании и на этом заостряется особое внимание. Однако при проектировании систем управления может быть упущен анализ возникновения аварийной ситуации по причине поломки или обрыва одного из датчиков, что может привести к неоднозначной работе программируемого логического контроллера.

Кроме того, при проектировании систем управления многие не предусматривают контроль верхнего уровня воды в автоклаве, что не позволяет в автоматическом режиме производить заполнение автоклава водой во время подготовительных операций. Согласно Рисунок 1 верхний уровень можно контролировать по датчику (ДУ), срабатывающему на контакт с водой. Если в системе не предусмотреть контроль верхнего уровня воды, то контроль за данным параметром, во время подготовительных операций, остается за оператором. Человеческий фактор может привести к недостаточному заполнению автоклава водой и к потере верхнего слоя банок, которые не находились полностью в воде во время процесса стерилизации.

Авария может произойти и по причине если клапан нижнего слива ВР (Рисунок 1) пропускает и часть воды выйдет во время выполнения технологического процесса. Поэтому система управления должна проводить тест на герметичность запорно-регулирующей арматуры в начале каждого цикла стерилизации. Потеря герметичности клапанов случается по причине того, что со временем они изнашиваются и начинают понемногу пропускать через себя регулируемую среду, даже в полностью закрытом состоянии. Из-за этого на систему управления начинают воздействовать возмущающие воздействия, которые она должна отрабатывать. Но если система не имеет достаточного астатизма, или её ресурса уже недостаточно для компенсации возмущений, то начнётся отклонение технологических параметров от заданной траектории. Авторами предлагается решить данную проблему на начальном этапе её проявления. Для этого в алгоритм работы системы управления предлагается добавить процедуру проверки герметичности автоклава, которую можно назвать «опрессовкой»⁹.

⁹ Жежера, Н.И. (2005). Автоматизация испытаний изделий на герметичность: учебное пособие. Оренбург: ГОУ ОГУ.

Введение подпрограмм диагностики аварийных ситуаций.

Все подпрограммы контроля аварийных ситуаций имеют приоритет над управляющими сигналами и могут блокировать сигналы управления основной программы регулирования, подав в случае возникновения аварии на соответствующий выход контроллера нулевой сигнал управления.

С учётом проверки и предупреждения возникновения аварийных ситуаций, подготовительный режим должен включать в себя дополнительно процедуры, а во время выполнения основного режима, в общий алгоритм должны быть добавлены процедуры рабо-

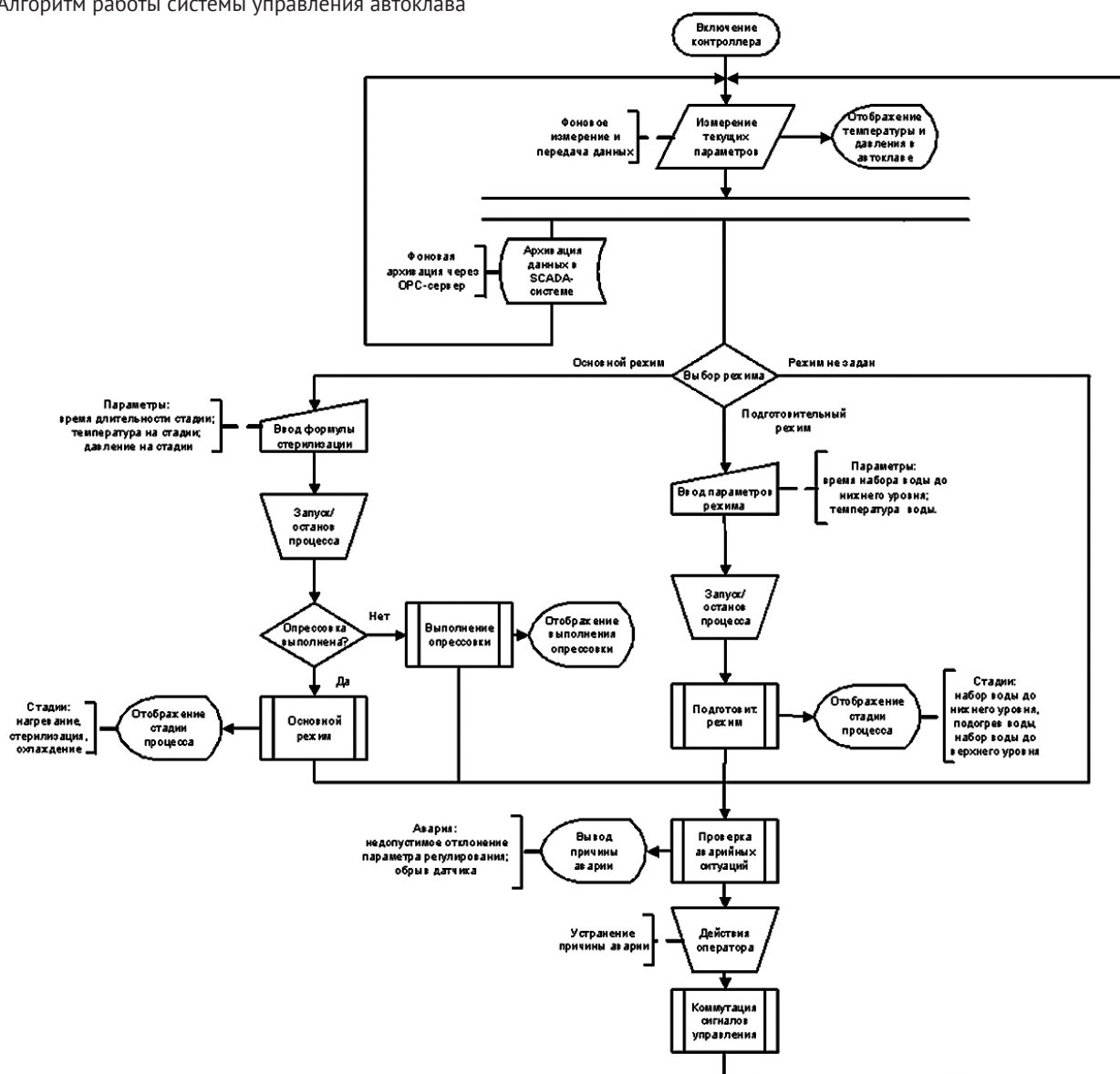
ты автоклава в аварийных ситуациях, при которых система не может продолжать работу и прекращает управление исполнительными механизмами, переходя в ручное управление оператором. При этом блокируется работа автоматических клапанов.

К аварийным ситуациям относят недопустимое отклонение технологических параметров (более 5 % от заданного значения), обрыв любого датчика, нарушение герметичности автоклава.

Графическое представление алгоритма работы системы управления автоклава во время производственного цикла представлено на Рисунке 3. В отличие от базового алгоритма работы системы

Рисунок 3

Алгоритм работы системы управления автоклава



автоматизированного управления, предлагаемый авторами алгоритм дополнен подпрограммой тестового диагностирования в начале производственного цикла (подпрограмма «опрессовка») и подпрограммой функционального диагностирования во время непосредственной работы системы управления (подпрограмма проверки аварийных ситуаций).

Фрагмент подпрограмма проверки аварийных ситуаций во время основного режима работы приведен на Рисунке 4.

При обнаружении обрыва датчика система автоматически блокирует работу выходных устройств контроллера. С этого момента технологический процесс может быть продолжен только в ручном режиме по показаниям автономных приборов контроля (термометру и манометру).

При некритическом отклонении технологического параметра от заданного значения (выше 1 %, но ниже 5 %) система выдает предупреждение на дисплей панели оператора (Рисунок 1), при этом работа исполнительных механизмов не блокируется. Оператор может предпринять

действия по устранению причины возникновения аварии. При достижении отклонения параметра выше критического значения (свыше 5 %), система блокирует работу в автоматическом режиме исполнительных механизмов и переходит в ручной режим управления.

Недопустимые отклонения чаще всего происходят по причине поломки исполнительных механизмов, когда система управления больше не может их автоматически устранять. Согласно требованиям, к процессу регулирования на устранение аварии подобного типа отводится 1 минута, после чего система перейдет в ручной режим управления.

Кроме того, авторами статьи предлагается ввести в подготовительный режим основной программы подпрограмму проверку герметичности блоков регулирующей арматуры. Таким образом, подготовительный режим будет включать следующие обязательные пункты: заполнение автоклава водой до нижнего уровня (выполняется по времени), нагрев воды до температуры продукта, загрузка продукта в автоклав и закрытие крышки (остаются ручными операциями), заполнение автоклава водой до срабатывания датчика верхнего уровня,

Рисунок 4

Подпрограмма диагностики аварийных ситуаций

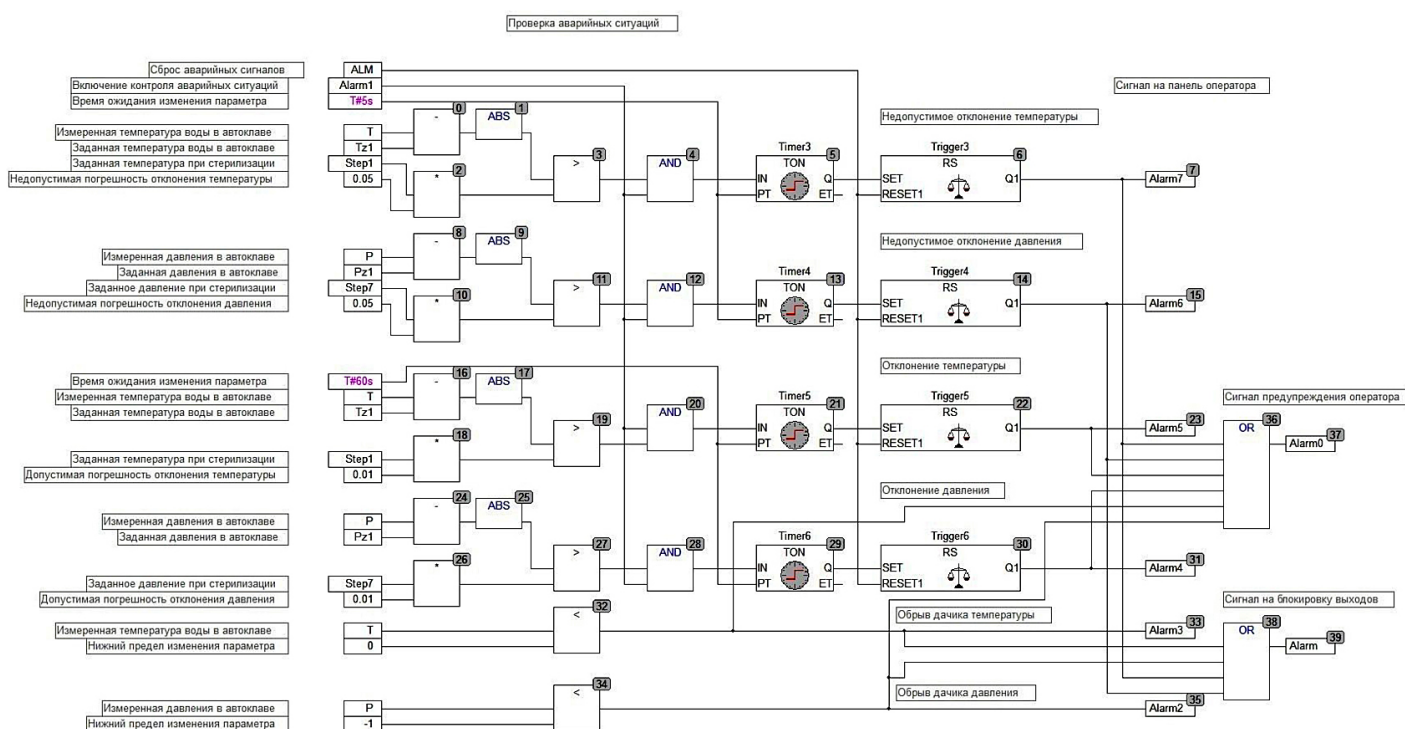
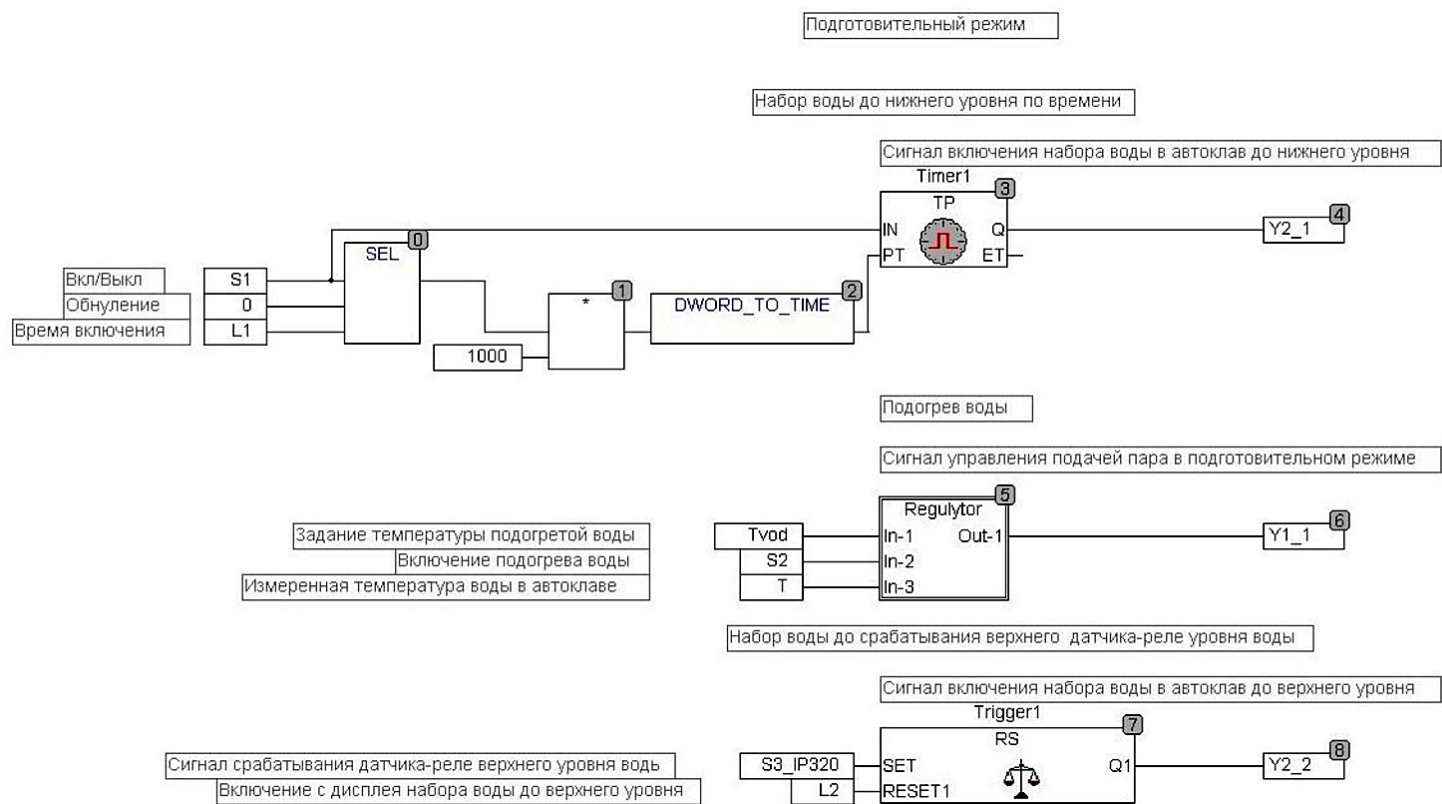


Рисунок 5
Подпрограмма подготовительного режима

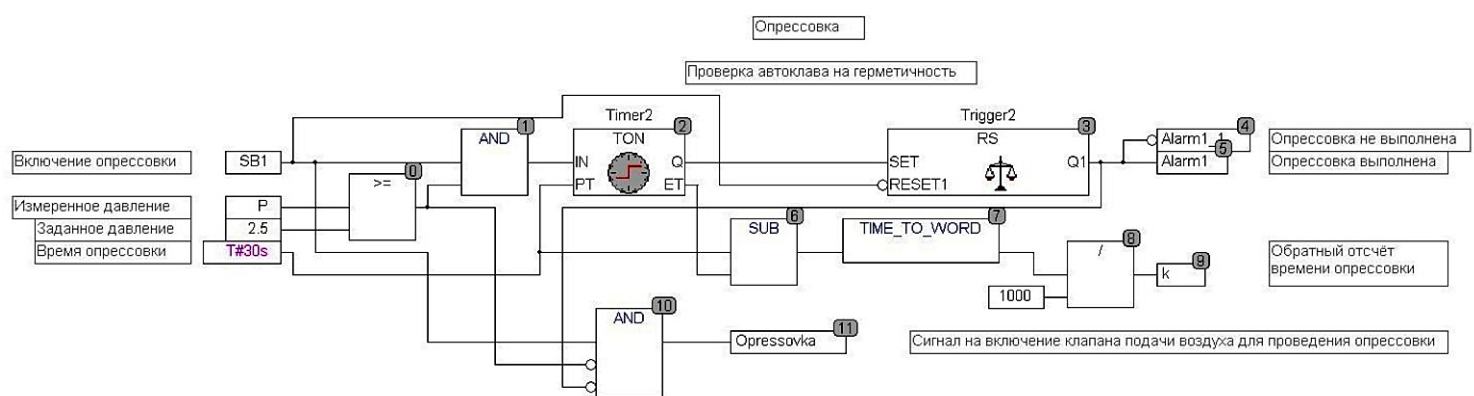


«опрессовка» (проверка герметичности) автоклава с закрытой крышкой. Фрагмент подпрограммы подготовительного режима приведен на Рисунке 5.

Подпрограмму проверки автоклава на герметичность (Рисунок 6) предлагается выполнять непосредственно перед активацией основного режима работы. Сигналом о выполнении «опрессовки»

служит значение TRUE. Подпрограмма проверяет автоклав на герметичность и тем самым предупреждает возможность возникновения аварийных ситуаций, связанных с потерей давления во время работы установки, если регулирующий или ручной клапан не герметично закрыт или пропускает. Кроме того, если будет плохо закрыт клапан нижнего слива, это может привести к снижению уровня

Рисунок 6
Подпрограмма проверки автоклава на герметичность



воды в автоклаве и браку верхнего слоя банок, которые не находились в воде.

Система автоматизированного управления технологическим процессом стерилизации консервов в автоклаве (Рисунок 1), согласно дополненному алгоритму работы (Рисунок 3), способна обеспечить контроль и предотвращение наступления аварийных ситуаций для обеспечения безопасной работы установки, блокировку регулирования и выдачу сигнала с указанием причины аварии на панели оператора при аварийном состоянии системы, своевременный переход на ручное управление в аварийном режиме.

Анализ данных

Согласно приведенной ранее схеме расчета надежности системы автоматизированного управления (Рисунок 2) можно рассчитать вероятность безотказной работы электроавтоматики и определить вероятность безотказной работы объекта регулирования по различным каналам, таким образом выделив наиболее уязвимое место в системе управления с точки зрения надёжности.

Имеем следующие данные, полученные из технических характеристик используемых средств автоматизации:

- вероятность безотказной работы ПЛК равна 0,904;
- вероятность безотказной работы датчика температуры равна 0,927;
- вероятность безотказной работы датчика уровня воды равна 0,935;
- вероятность безотказной работы датчика давления равна 0,886;
- вероятность безотказной работы регулирующего клапана равна 0,964;
- вероятность безотказной работы самого автоклава равна 0,99.

Так как в каждом канале все элементы соединены последовательно (Рисунок 2), то вероятность безотказной работы системы управления, по различным каналам, находится методом перемножения коэффициентов вероятности безотказной работы элементов, входящих в данный канал, без учёта ПЛК:

- вероятность безотказной работы канала регулирования температуры 0,862;

- вероятность безотказной работы канала регулирования уровня 0,901;
- вероятность безотказной работы канала регулирования давления 0,824.

Так как по каналу регулирования давления вероятность безотказной работы наименьшая, то вероятность безотказной работы всей системы регулирования в целом, с учётом контроллера, равна 0,745.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Приведённый ранее, в данной статье, расчёт безотказной работы каналов системы автоматизированного управления показал, что наиболее уязвимым местом системы является канал регулирования давления, по причине низкой вероятности безотказной работы датчика давления. Исходя из этого было предложено интегрировать в канал регулирования давления параллельно резервный датчик. Это повысит вероятность безотказной работы канала регулирования давления до 0,918, а вероятность безотказной работы всей системы регулирования в целом с 0,745 до 0,83.

Предлагаемый в статье дополненный алгоритм работы системы автоматизированного управления, с точки зрения эффективности, прошёл промышленные испытания на консервном заводе на автоклавах марки Б6-КАВ-В2 в течение года. За время эксплуатации не было отмечено получения брака продукции по причине отказа системы автоматизированного управления. Из 32 зафиксированных случаев наступления нештатных ситуаций, по причине аварий в системе подачи в автоклав теплоносителя, в 26 случаях получилось сохранить продукт благодаря своевременному оповещению оператора о наступлении аварийной ситуации со стороны системы автоматизированного управления.

Исследования ведущих отечественных и зарубежных специалистов в области стерилизации консервов далеко продвинулись в направлении разработки моделей для компьютерной симуляции данного процесса (Kaychenov et al., 2020; Zhuk et al., 2021; Pitarchet et al., 2021; Szpiceret et al., 2023), однако в разработанных моделях отсутствует диагностика аварийных ситуаций, предложенная авторами статьи, которая может эффективно использоваться при проектировании систем управления стерили-

лизационных аппаратов, а также в компьютерных тренажерных комплексах для обучения персонала пищевых производств диагностике и устранению аварийных ситуаций. При обнаружении наступления аварийной ситуации система предупреждает оператора и блокирует работу регулирующих клапанов. После устранения неисправности процесс стерилизации можно продолжить в автоматическом режиме, либо завершить по показаниям приборов, в том числе установленных по месту. При таком подходе появление брака продукции и ущерб сведён к минимуму.

В результате исследований поставленная цель была достигнута. Предложенный подход к повышению надежности системы показал ожидаемый результат, так как вероятность безотказной работы системы рассчитывается математическими методами. Применение подпрограмм диагностики и предупреждения аварийных ситуаций, на начальном этапе проектирования, не являлось очевидным решением для повышения безаварийности работы системы управления, и требовало проведения производственных испытаний, по результатам которых была установлена эффективность и целесообразность применения предложенных подпрограмм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью исследования являлась выработка подхода к повышению надёжности и безаварийности работы системы автоматизированного управления процессом стерилизации консервов. Для повышения надёжности авторами статьи предложено внести изменения в состав и структуру систему управления (добавить параллельно существующему резервный датчик давления) чтобы повысить общий показатель надёжности системы со значения 0,745 до 0,83, что является достаточным показателем для подобных систем.

Для безаварийной работы системы в существующий алгоритм добавлены подпрограммы технического диагностирования и предупреждения аварийных ситуаций: подпрограмма контроля обрыва датчиков, подпрограмма контроля недопустимого отклонения регулируемых параметров от нормы, подпрограмма автоматического заполнения автоклава водой перед началом технологического про-

цесса, подпрограмма проверки автоклава на герметичность. Введение в существующую программу предложенных авторами статьи подпрограмм диагностики и предупреждения аварий позволило сократить количество аварийных ситуаций во время процесса стерилизации консервов на 81 %, что подтверждается производственными испытаниями.

Предлагаемая структура системы управления и подпрограммы диагностики и предупреждения аварийных ситуаций могут быть использованы в качестве примера при автоматизации подобных технологических процессов в других технологических установках.

Алгоритм диагностики и предупреждения об аварийных ситуациях, предложенный авторами статьи, будет применяться на компьютерных тренажерных комплексах для обучения персонала пищевых производств диагностике и устранению аварийных ситуаций.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Мокрушин Сергей Александрович: концептуализация; подготовка и редактирование рукописи.

Благовещенский Иван Германович: разработка методологии исследования; редактирование рукописи.

Благовещенская Маргарита Михайловна: администрирование и валидация данных.

Охапкин Сергей Иванович: проведение исследования; создание черновика рукописи.

Благовещенский Владислав Германович: проведение исследования; валидация данных.

ЛИТЕРАТУРА

- Ахмедов, М.Э. (2011). *Разработка и создание новых ресурсосберегающих способов консервирования и эффективных устройств и аппаратов для тепловой стерилизации консервов* [дис. д-ра техн. наук: 05.18.12]. Махачкала: Дагестанский государственный технический университет.
- Бабарин, В.П. (1994). *Тепловая стерилизация плодоовощных консервов (теория и практика)* [дис. д-ра техн. наук]. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт консервной и овощной промышленности.
- Власов А.В. (2010). *Повышение эффективности стерилизации консервов паром в автоклавах* [дис. канд. техн. наук]. Мурманск: Мурманский государственный технический университет.
- Выскубов Е.В. (1996). *Разработка микропроцессорных систем управления периодическими процессами тепловой обработки пищевых продуктов (на примере САУ стерилизации консервов)* [дис. канд. техн. наук]. Краснодар: Кубанский государственный технологический университет.
- Кайченко, А.В. (2011). *Разработка и исследование модернизированного способа стерилизации консервов из гидробионтов* [дис. канд. техн. наук]. Мурманск: Мурманский государственный технический университет.
- Мокрушин, С.А. (2019). *Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом стерилизации консервов в промышленном автоклаве* [дис. канд. техн. наук]. Москва: Московский государственный университет пищевых производств.
- Abid, A., Khan, M.T. & Iqbal, J. (2021) A review on fault detection and diagnosis techniques: basics and beyond. *Artif Intell Rev*, 54, 3639–3664. <https://doi.org/10.1007/s10462-020-09934-2>
- Farid, M., & Ghani, A. G. A. (2004). A new computational technique for the estimation of sterilization time in canned food. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 43(4), 523–531. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2003.08.007>
- Ghani, A. G. A., Farid, M. M., Chen, X. D. & Richards, P. (2001). Thermal sterilization of canned food in a 3-D pouch using computational fluid dynamics. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 147–156. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00150-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00150-3)
- Gonçalves, E. C., Minim, L. A., Coimbra, J. S. R. & Minim, V. P. R. (2005). Modeling sterilization process of canned foods using artificial neural networks. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 44(12), 1269–1276. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2005.04.001>
- Kaychenov, A., Vlasov, A., Maslov, A., Selyakov, I., & Glukhikh, Y. (2020). Development of an Autoclave Thermal Processes Model for the Simulator of Canned Food Sterilization Process. *KnE Life Sciences*, 437–449. <https://doi.org/10.18502/kl.v5i1.6103>
- Kovalev, I., Kovalev, D., Testoyedov, N., Voroshilova, A., & Bartenev, V. (2021). An approach to reducing the probabilities of dangerous failures in production control systems. *In AIP Conference Proceedings*, 2402(1). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0071400>
- Llave, Y. A., Hagiwara, T., & Sakiyama, T. (2012). Artificial neural network model for prediction of cold spot temperature in retort sterilization of starch-based foods. *Journal of Food Engineering*, 109(3), 553–560. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.024>
- Miri, T., Tsoukalas, A., Bakalis, S., Pistikopoulos, E. N., Rustem, B. & Fryer, P. J. (2008). Global optimization of process conditions in batch thermal sterilization of food. *Journal of Food Engineering*, 87(4), 485–494. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.12.032>
- Park, Y. J., Fan, S. K. S., & Hsu, C. Y. (2020). A review on fault detection and process diagnostics in industrial processes. *Processes*, 8(9), 1123. <https://doi.org/10.3390/pr8091123>
- Pitarch, J. L., Vilas, C., de Prada, C., Palacín, C. G., & Alonso, A. A. (2021). Optimal operation of thermal processing of canned tuna under product variability. *Journal of Food Engineering*, 304, 110594. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110594>
- Shahsavand, A., & Nozari, Y. (2009). Simulation of a continuous thermal sterilization process in the presence of solid particles. *Scientia Iranica. Transaction C, Chemistry, Chemical Engineering*, 16(1), 29.
- Silva, C. Hendrickx, M., Oliveira, F. & Tobback, P. (1992). Optimal sterilization temperatures for conduction heating foods considering finite surface heat transfer coefficients. *Journal of Food Science*, 57(3), 743–748. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb08086.x>
- Siriwattanayotin, S., Yoovidhya, T., Meepadung, T. & Ruenglerpanyakul, W. (2006). Simulation of sterilization of canned liquid food using sucrose degradation as an indicator. *Journal of Food Engineering*, 73(4), 307–312. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.008>
- Szpicier, A., Bińkowska, W., Wojtasik-Kalinowska, I., Salih, S. M., & Półtorak, A. (2023). Application of computational fluid dynamics simulations in food industry. *European Food Research and Technology*, 249(6), 1411–1430. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04231-y>
- Zhuk, A., Stolyanov, A., Kaychenov, A., Kuranova, L., & Grokhovsky, V. (2021). Software for calculating the actual lethality of canned food heat treatment processes: development and application. *In E3S Web of Conferences* (vol. 273, p. 13002). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127313002>

Разработка рецептуры производства хлеба с использованием дикорастущего сырья

Уральский ГАУ, г. Екатеринбург,
Российская Федерация

Е. В. Ражина, Е. С. Смирнова, П. В. Шаравьев, О. П. Неверова,
Н. Л. Лопаева

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Ражина Ева Валерьевна

E-mail: eva.mats@mail.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Ражина, Е.В., Смирнова, Е.С., Шаравьев, П.В., Неверова, О.П., & Лопаева, Н.Л. (2024). Использование дикорастущего сырья на основе вереска обыкновенного при производстве хлеба. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(1), 120-130. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.483>

ПОСТУПИЛА: 09.10.2023

ПРИНЯТА: 15.03.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии
конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение: Дикорастущее сырье все чаще применяют в качестве обогатителя продуктов функционального питания. Вереск обыкновенный, содержащий биологически активные соединения, способен качественным образом улучшить функциональность хлеба, пока еще не получил распространение в качестве функциональной добавки.

Цель: Разработка рецептуры производства и оценка качества хлеба с использованием вереска обыкновенного.

Материалы и методы: Исследования проведены на кафедре биотехнологии и пищевых продуктов Уральского государственного аграрного университета. Объектами исследований являлись образцы пшеничного хлеба, обогащенные порошком вереска обыкновенного разной концентрации. Хлеб производили опарным способом методом пробной лабораторной выпечки. Контроль качества готовых изделий осуществляли по органолептическим и физико-химическим показателям. Показатели кислотности определяли арбитражным методом по ГОСТ 5670-96, пористость по ГОСТ 5669-96, влажность по ГОСТ 21094-75. Определен удельный объем четырех образцов хлеба. Исследования осуществлялись в трехкратной повторности. Производство хлеба состояло из этапов: подготовка сырья, приготовление опары, замес теста, брожение, обминка, формование, расстойка, выпечка, охлаждение.

Результаты: Изготовлено четыре образца хлеба, три опытных образца были обогащены порошком вереска обыкновенного. Проведен контроль качества готовых изделий по органолептическим и физико-химическим показателям. Результаты органолептической оценки свидетельствуют о влиянии добавки на показатели качества при увеличении ее концентрации. Лучший органолептический показатель имел опытный образец хлеба №2 с количеством вносимого порошка 2 г. Вкус имел легкий сладковатый привкус, мякиш хорошо пропеченный, поры равномерные, запах свойственный наименованию. Наибольшие показатели влажности и кислотности определены у образца №4 с максимальной концентрацией вносимой добавки — 4 г. Лучшим, по показателю пористости был признан опытный образец №2.

Выводы: Использование порошка вереска обыкновенного при изготовлении хлеба оказало влияние на органолептические и физико-химические показатели качества. При производстве хлеба рекомендуем применять порошок вереска в концентрации 2 г для его обогащения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

обогащение хлеба; органолептические свойства; физико-химический анализ; биологически активные соединения; производство хлеба на закваске; натуральные пищевые добавки; вереск в выпечке; контроль качества в производстве пищевых продуктов

Development of a bread production recipe using wild-growing raw materials

Ural State Agrarian University,
Yekaterinburg, Russian Federation

Eva V. Razhina, Ekaterina S. Smirnova, Pavel V. Sharavyev,
Olga P. Neverova, Nadezhda L. Lopaeva

CORRESPONDENCE:

Razhina Eva Valeryevna

E-mail: eva.mats@mail.ru

DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

FOR CITATIONS:

Mokrushin, S.A., Blagoveshchenskiy, I.G., Blagoveshchenskaya, M.M., Okhapkin, S.I., & Blagoveshchensky V.G. (2024). Introduction of algorithm for diagnostics of emergency situations in the system of automated control of the canned sterilization process. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(1), 120-130.

<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.415>

RECEIVED: 09.10.2023

ACCEPTED: 15.03.2024

PUBLISHED: 30.03.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction: Wild-growing raw materials are increasingly used as a fortifier of functional food products. Common heather, containing biologically active compounds, is able to qualitatively improve the functionality of bread, has not yet been widely used as a functional additive.

Purpose: Development of a production formulation and assessment of bread quality using common heather.

Materials and Methods: Research was carried out at the Department of Biotechnology and Food Products of the Ural State Agrarian University. The objects of research were samples of wheat bread enriched with heather powder of different concentrations. Bread was produced in the sourdough method by the test laboratory baking method. Quality control of finished products was carried out according to organoleptic and physicochemical parameters. Acidity parameters were determined by the arbitration method as per GOST 5670-96, porosity as per GOST 5669-96, humidity as per GOST 21094-75. The specific volume of four samples of bread was determined. Studies were performed in triplicate. Bread production consisted of stages: preparation of raw materials, preparation of dough, kneading of dough, fermentation, bending, molding, proofing, baking, cooling.

Results: Four samples of bread were made, three prototypes were enriched with ordinary heather powder. Quality control of finished products was carried out according to organoleptic and physicochemical parameters. The results of the organoleptic assessment indicate the influence of the additive on quality indicators with an increase in its concentration. The best organoleptic indicators had a prototype of bread No. 2 with an amount of introduced powder of 2 g. The taste had a light sweet taste, well-baked crumb, uniform pores, the smell is characteristic of the name. The highest values of humidity and acidity were determined in sample No. 4 with the maximum concentration of the added additive – 4 g. Prototype No. 2 was recognized as the best in terms of porosity.

Conclusion: The use of ordinary heather powder in the manufacture of bread had an impact on organoleptic and physicochemical quality indicators. When making bread, we recommend using heather powder in a concentration of 2 g to enrich it.

KEYWORDS

bread fortification; organoleptic properties; physicochemical analysis; biologically active compounds; sourdough bread production; natural food additives; heather in baking; quality control in food production

ВВЕДЕНИЕ

В современном контексте наблюдается возрастающий интерес к интеграции дикорастущих растений с высоким содержанием биологически активных веществ в пищевые продукты, отмеченный в работах Саликовой и соавт. (2021). Такие растения, обладающие лечебными и профилактическими свойствами, представляют значительный потенциал для создания функциональных продуктов питания, способствующих улучшению здоровья человека (Какштыкс & Кох, 2022). Растущее стремление к здоровому образу жизни акцентирует необходимость разработки новых продуктов, обогащённых натуральными растительными компонентами, для предотвращения различных заболеваний (Горбунова & Соболева, 2017).

Пшеничный хлеб, будучи широко распространенным продуктом питания, теряет значительную часть питательных веществ в процессе мельничной переработки, что снижает его пищевую и биологическую ценность (Житков и соавт., 2020; Бисчокова и соавт., 2020). В этом контексте производство хлеба с улучшенными питательными характеристиками становится приоритетной задачей для отрасли, требующей ответственного подхода руководства к выпуску качественной продукции. Кроме того, модификация хлеба с использованием антиоксидантных растений позволяет снижать его гликемический индекс, способствуя профилактике метаболических расстройств (Borcak et al., 2018).

Акцентируется значимость исследований стратегий диетического обогащения через введение в хлеб биологически активных добавок из культурных растений, включая пищевые волокна, которые способствуют повышению содержания важных для здоровья веществ (Житков и коллеги, 2020; Скорбина и коллеги, 2021; Агibalова и коллеги, 2016; Samilyk et al., 2022; Volkova et al., 2019; Гришина & Ступаченко, 2019;). Дикорастущие растения, как потенциальные обогатители хлеба, привлекают внимание ученых благодаря их биоактивному действию, антимикробным свойствам и способности препятствовать развитию сердечно-сосудистых и воспалительных заболеваний (Волкова & Сысоев, 2021; Krotova, 2021; Volkova et al., 2020; Семенова и соавт., 2022). Примечательно, что исследования в Красноярском государственном аграрном университете выявили перспективы использования

порошка черемши и других дикорастущих растений для производства обогащенного хлеба, демонстрируя потенциал для сокращения использования пекарских дрожжей и оптимизации процессов брожения теста (Лазовикова & Кох, 2023; Тохтиева & Цугкиева, 2015; Khmelevskaya, 2022).

Дополнительно, рассматривается вклад фитообогатяющих веществ в улучшение характеристик теста и качества хлеба, в том числе через использование экстрактов девясила высокого, чабреца, цикория, обладающих иммуностимулирующими и антисептическими свойствами (Алексеева и соавт., 2015). Среди зарубежных ученых, которые в своих работах изучали использование пряно-ароматического сырья в рецептуре хлеба, следует отметить работы (Nouska et al., 2023; Skendi et al., 2020; Dziki et al., 2014). Исследованием химического состава и биологической активности разных частей растения вереска обыкновенного занимались ученые (Chepel et al., 2020; Monschein et al., 2010; Szakiel et al., 2013; Moise et al.; Веремчук & Моисеев, 2015; Веремчук & Моисеев, 2016; Веремчук & Моисеев, 2018). На основании результатов исследований отечественных и зарубежных ученых, авторы определили, что порошок вереска обыкновенного не использовался ранее для создания рецептуры производства хлеба. Разработка и оценка качества хлеба с использованием вереска обыкновенного и других дикорастущих растений, содержащих полифенолы и другие биологически активные компоненты, является предметом настоящего исследования. Влияние таких компонентов на производственные процессы и качественные показатели хлеба, включая физико-химические характеристики и сенсорные свойства, подлежит детальному изучению с целью разработки новых рецептур и технологий производства функционального хлеба.

Целью данной статьи является разработка рецептуры производства и оценка качества хлеба с использованием вереска обыкновенного.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Введение

Исследования проводили в лаборатории кафедры биотехнологии и пищевых продуктов Уральского государственного аграрного университета.

Материалы

Объектами исследования выступали образцы пшеничного хлеба, произведенного на основе ржаной закваски с использованием порошка вереска обыкновенного. В результате получено четыре образца: один контрольный (образец № 1) и три опытных с разной концентрацией внесенной добавки: 2 г (образец № 2), 3 г (образец № 3) и 5 г (образец № 4). В качестве материалов для проведения исследований использовали материнскую закваску из ржаной муки; муку пшеничную хлебопекарную высшего сорта, с содержанием белка 12 г на 100 г продукта; муку пшеничную цельнозерновую; сушеные побеги и цветы вереска обыкновенного, соль.

Оборудование

Измельчение сухих побегов и цветков вереска в порошок осуществляли на мельнице для сухих продуктов УТК-2500 (Китай). Просеивали порошок на ситах с диаметром отверстий 1,2–2 мм. Для выпечки хлеба использовали духовой шкаф GEFEST ДА 602–01 (СП ОАО «Брестгазоаппарат», Беларусь), установку для титрования ручную (Россия), сушильный шкаф СМ 35/250–250 ШС (ООО СПМ «Климат», Россия), прибор Журавлева ПЖ-1М (НПП «Приборинформ»).

Методы и инструменты

При производстве хлеба применяли опарный способ приготовления теста. Выпечку готовых образцов осуществляли методом пробной лабораторной выпечки. Контроль качества готовых изделий проводился по органолептическим и физико-химическим показателям. Органолептическая оценка осуществлялась экспертной комиссией в количестве пяти человек по 5-балльной шкале, разработанной на основе традиционных методик. Показатели кислотности определяли арбитражным методом по ГОСТ 5670–96, пористость по ГОСТ 5669–96, влажность по ГОСТ 21094–75.

Процедура исследования

Технология производства образцов хлеба состояла из следующих этапов: подготовка сырья, пригото-

вление опары, замес теста, брожение, обминка, формование, расстойка, выпечка, охлаждение. Подготовка сырья включала просеивание муки, активизацию материнской закваски, измельчение и просеивание сушеных цветов и побегов вереска обыкновенного. Опару изготавливали из активной ржаной материнской закваски, воды и пшеничной цельнозерновой муки, выдерживали 12 часов. Добавку вносили в основное тесто. Замес теста осуществляли ручным способом в течение 15 минут. Процесс брожения длился 2 часа. Обминку проводили 2 минуты, далее тесто формовали, выкладывали в корзину для расстойки. Расстойка длилась 2 часа. Образцы хлеба выпекали в предварительно разогретом духовом шкафу до температуры 220 °С. Продолжительность выпечки при температуре 220 °С составила 10 минут, при температуре 180 °С — 30 минут. Охлаждали изделия на решетках пять часов. Готовые образцы хлеба по органолептическим показателям оценивала экспертная комиссия. Разработаны профили вкуса и пористости исследуемых образцов, на основе шкалы интенсивности выраженности признака от 0 до 5, где 0 — признак отсутствует, 1 — только узнаваемый или ощущаемый, 2 — слабая интенсивность, 3 — умеренная интенсивность, 4 — сильная интенсивность, 5 — очень сильная интенсивность. Проведена физико-химическая оценка образцов.

Анализ данных

Исследования проводили в трехкратной повторности. Обработку экспериментальных данных осуществляли в программе Microsoft Excel. Результаты представлены в виде среднего значения со стандартным отклонением.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Разработка рецептуры производства образцов хлеба

На первом этапе исследований разрабатывали рецептуру производства хлеба, обогащенного порошком вереска обыкновенного. За основу разработки рецептуры производства хлеба, изготовленного с введением порошка вереска обыкновенного принята классическая технология приготовления пшеничного хлеба на ржаной закваске (Бертине, 2011). Представленную рецептуру варьировали путем вне-

Таблица 1
Рецептура приготовления хлеба

Сырье	Образцы			
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Образец № 4
<i>Опара</i>				
Закваска ржаная, г	30	30	30	30
Мука пшеничная цельнозерновая, г	65	65	65	65
Вода, мл	32	32	32	32
<i>Тесто</i>				
Мука пшеничная цельнозерновая, г	340	340	340	340
Мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта, г	200	200	200	200
Соль поваренная пищевая, г	10	10	10	10
Порошок вереска, г	—	2	3	5

сения порошка вереска обыкновенного, начиная с концентрации 2 г, влияющей на изменение органолептических и физико-химических показателей качества образцов хлеба (Таблица 1).

С целью разработки рецептуры приготовления хлеба, обогащенного дикорастущим пряно-ароматическим сырьем, мы варьировали дозы внесения в тесто порошка вереска обыкновенного. Авторами установлено, что внесение в рецептуру производства хлеба порошка вереска обыкновенного в концентрации менее 2 грамм, не оказало влияния на органолептические показатели качества готового хлеба, соответственно для проведения исследований

ваний определены концентрации порошка вереска обыкновенного 2г, 3г и 5г.

На втором этапе определяли органолептические показатели качества готовых образцов хлеба.

Контроль качества образцов хлеба по органолептическим показателям

Для контроля качества готовых образцов хлеба, обогащенных порошком вереска обыкновенного, разработана 5-балльная шкала оценки качества хлеба, на основе традиционных методик (Ялалетдинова, 2010), представленная в Таблице 2.

Таблица 2
5-балльная шкала оценки качества хлеба, обогащенного порошком вереска обыкновенного

Наименование показателя	Характеристика качества хлеба	Балл
Внешний вид: — форма — поверхность — цвет	Форма правильная округлая, овальная или продолговато-овальная, не расплывчатая, без притисков. Поверхность без крупных трещин и подрывов. Цвет светло-коричневый, равномерный	5
	Форма правильная с несколько выпуклой верхней поверхностью. Поверхность достаточно гладкая, с едва заметными мелкими трещинами и подрывами. Цвет светло-коричневый, слегка не равномерный.	4
	Форма правильная, с плоской верхней поверхностью. Поверхность шероховатая, с заметными трещинами. Цвет светло-коричневый с темными коричневыми пятнами, не равномерный.	3
	Форма не правильная. Поверхность бугорчатая, определены крупные трещины и подрывы. Цвет коричневый, не равномерный.	2
	Форма не правильная, расплывчатая, разорвана верхняя поверхность. Цвет темный, не равномерный, подгорелый.	1

Окончание Таблицы 2

Наименование показателя	Характеристика качества хлеба	Балл
Состояние мякиша: – пропеченность – промес – пористость	Пропеченный, эластичный, мягкий, нежный. Без комочков и следов непромеса, хорошо разжевываемый. Пористость хорошо развитая, поры средние, равномерные, без пустот и уплотнений.	5
	Пропеченный, эластичный, мягкий. Без комочков и следов непромеса, хорошо разжевывается, слегка суховатый. Пористость развитая, незначительные уплотнения.	4
	Пропеченный, удовлетворительно мягкий. Суховатый, слегка комкующийся. Пористость недостаточно развитая, неравномерная, с выраженными уплотнениями.	3
	Недостаточно пропеченный, малоэластичный. С комочками непромеса. Пористость не развитая, мякиш плотный, сухой.	2
	Не пропеченный, не эластичный, липкий. Сильно комкующийся. Пористость отсутствует, мякиш грубый.	1
Вкус	Свойственный данному виду изделия, легкий медовый привкус	5
	Свойственный данному виду изделий, терпкий привкус	4
	Свойственный данному виду изделия, легкий горьковатый привкус	3
	Свойственный данному виду изделия, более выраженный горьковатый привкус	2
	Горький, дрожжевой, посторонние привкусы.	1
Запах	Свойственный данному виду изделия, запах приятный, хорошо выраженный.	5
	Свойственный данному виду изделия, менее выраженный.	4
	Свойственный данному виду изделия, не выраженный, кислый.	3
	Не выраженный, «пустой».	2
	Затхлый, посторонний, неприятный.	1

На основании разработанной авторами 5-балльной шкалы оценки качества образцов хлеба проведен контроль качества готового хлеба по органолептическим показателям (Таблица 3). Органолептическая оценка выпеченных образцов хлеба показала, что максимальный средний балл — 5 поставили кон-

трольному образцу № 1, изготовленному без внесения порошка вереска обыкновенного и образцу № 2 — с минимальной концентрацией (2 г) вносимой добавки. С точки зрения органолептических исследований основные отличия у образцов выявлены по показателям вкус и состояние мякиша. Об-

Таблица 3
Оценка качества образцов по 5-балльной шкале

Показатель	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Образец № 4
Внешний вид:	5,0	5,0	4,8	4,4
– форма	5,0	5,0	5,0	4,6
– поверхность	5,0	5,0	5,0	4,4
– цвет	5,0	5,0	4,5	4,3
Состояние мякиша:	5,0	5,0	4,6	4,2
– пропеченность	5,0	5,0	4,6	4,2
– пористость	5,0	5,0	4,5	4,0
– промес	5,0	5,0	4,6	4,3
Вкус	5,0	5,0	4,6	4,0
Запах	5,0	5,0	5	4,8
Средний балл	5,0	5,0	4,8	4,4

разец № 2 имел достаточно пропеченный мякиш, приятный, сладковатый вкус. При увеличении внесения порошка вереска обыкновенного до 5 г вкус становился горьковатым, мякиш более плотным, поры отсутствовали.

Далее сравнивали полученные данные с нормами показателей, установленными требованиями ГОСТ Р 58233–2018 “Хлеб из пшеничной муки. Технические условия”. Образец № 4 не соответствовал требованиям ГОСТ по показателям состояние мякиша, внешний вид и вкус.

С целью выявления посторонних привкусов в образцах обогащенного хлеба, разработаны профили вкуса и пористости образцов (Рисунки 1,2). Профили строили на основании шкалы интенсивности выраженности признака (представленной в учебном пособии)¹.

Данные рисунка свидетельствуют о преобладании горьковатого привкуса у образца № 3 — средней интенсивности выраженности и у образца № 4 —

высокой интенсивности выраженности. Слабо выраженный медовый привкус определен у образцов хлеба № 2, № 3 и № 4. Терпкость во вкусе хлеба усиливалась по мере увеличения вносимой концентрации порошка вереска обыкновенного.

Средние, равномерные поры определены у образцов хлеба № 1 и № 2. У образца № 3 поры являлись неравномерными. Образец № 4 имел плотный мякиш, поры отсутствовали.

Третьим этапом исследований являлось проведение физико-химических испытаний готовых образцов хлеба.

Физико-химические исследования образцов хлеба осуществляли по показателям пористости, влажности и кислотности мякиша (Таблица 4).

Рисунок 1

Профили вкуса исследуемых образцов хлеба

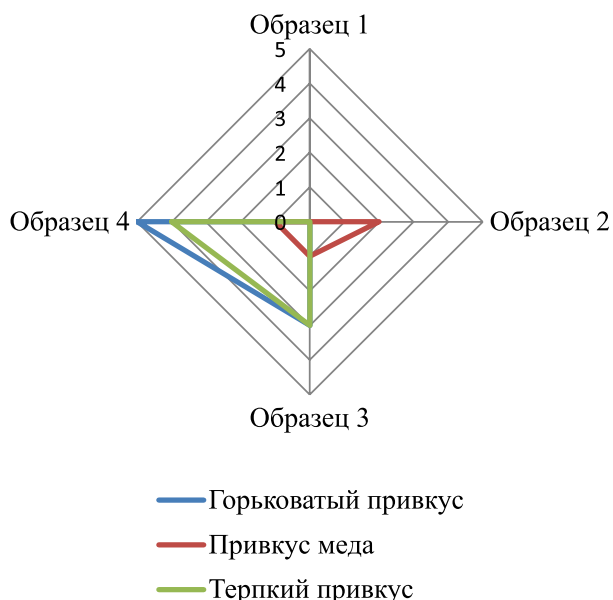
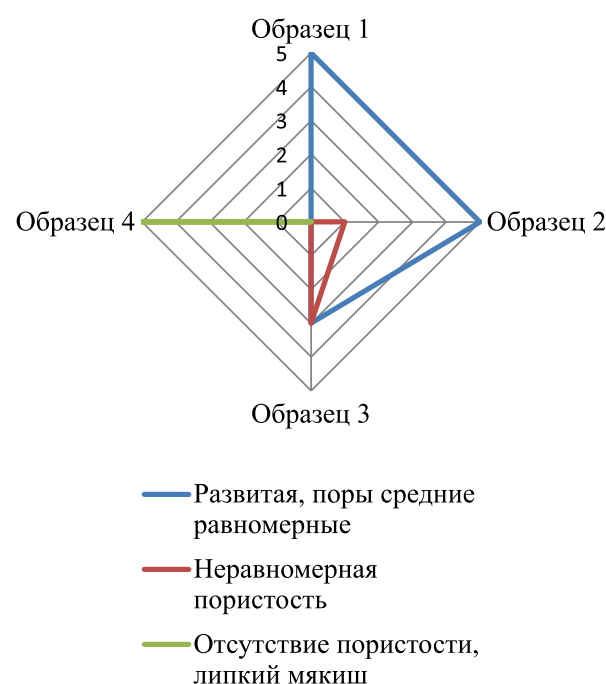


Рисунок 2

Профили пористости исследуемых образцов хлеба



¹ Медведев, П.В., & Федотов, В.А. (2017). *Сенсорный анализ продовольственных товаров: учебное пособие*. Оренбург: Оренбургский государственный университет.

Таблица 4

Физико-химические показатели качества хлеба

Показатель	Требования ГОСТ Р 58233–2018	Образцы			
		Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Образец № 4
Пористость мякиша,%, не менее	70,0	75 ± 0,05	74 ± 0,06	72 ± 0,03	68 ± 0,03
Влажность мякиша,%, не более	44,0	41,6 ± 0,03	41,8 ± 0,04	42,4 ± 0,06	42,9 ± 0,02
Кислотность мякиша, град., не более	3,0	2,8 ± 0,02	2,9 ± 0,03	3,0 ± 0,03	3,2 ± 0,02

Контроль качества образцов хлеба
по физико-химическим показателям

По показателям пористости, влажности, кислотности анализируемые образцы удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 58233–2018 “Хлеб из пшеничной муки. Технические условия”. Анализ показал, что при внесении в тесто порошка вереска обыкновенного, повышались влажность с 41,6% до 42,9% и кислотность мякиша от 2,8 до 3,2 град. готовых образцов хлеба, пористость снижалась с 75% до 68%.

Удельный объем см³ (/100 г) четырех образцов хлеба приведен на Рисунке 3.

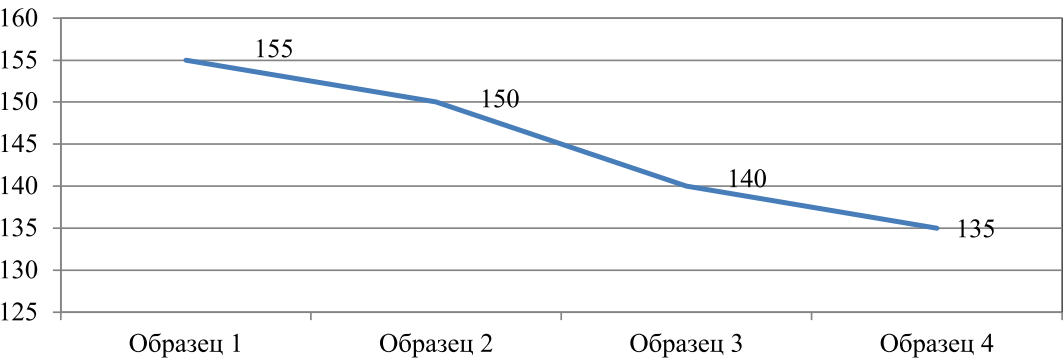
Рассматривая удельный объем хлеба, можно отметить, что положительное влияние на этот показатель наблюдали при внесении порошка вереска в концентрации 2 г.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные нами результаты с одной стороны противоречат исследованиям (Лазовиковой & Коха, 2023), в котором авторы разрабатывали рецептуру производства хлеба с использованием дикорастущего пряно-ароматического сырья (порошка черемши). Хлеб, изготовленный авторами с максимальным введением порошка черемши (в концентрации 5%) имел лучшие органолептические показатели качества (структуру, внешний вид, цвет, запах и форму). С другой стороны наши исследования согласуются с результатами испытаний (Волковой & Сысоева, 2021). Авторы использовали при разработке рецептуры хлеба дополнительно к пшеничной муке высшего сорта добавление муки из корня цикория и травы чабреца. У хлеба, изготовленного с использованием муки из корня цикория в количестве до 3% от массы муки, корка являлась хорошо выпуклой, имела ровную коричневую поверхность, равномерный пористый и эластичный мякиш. Увеличение концентрации муки из корня цикория в рецептуре способствовало снижению выпуклости корки, образованию неровной поверхности. При внесении муки из корня цикория

Рисунок 3

Удельный объем образцов хлеба



в концентрации выше 5 % мякиш хлеба становился заминающимся, во вкусе определялись горьковатые нотки. Хлеб, произведенный с введением в рецептуру муки из травы чабреца в количестве более 1 % от массы муки имел бугристую с трещинами корку, неравномерную пористость мякиша. Мякиш начинал заминаться на вариантах с внесением максимального количества муки из травы чабреца.

В наших исследованиях, при внесении порошка вереска обыкновенного в концентрации 2 г форма подового хлеба являлась округлой, не расплывчатой равномерно окрашенная корка в светло-коричневый цвет. Поверхность без подрывов и трещин. Мякиш, пропеченный не липкий, поры средние, достаточно равномерные. Вкус свойственный наименованию, сладковатый (привкус меда). По внешнему виду, состоянию мякиша и запаху образец № 2 не отличался от образца № 1. Хлеб, приготовленный с концентрацией порошка 3 г, имел менее выпуклую корку, более темный цвет, не равномерные поры. Во вкусе наблюдалась горьковатость. Образец, с внесенной концентрацией вереска 5 г имел самый низкий балл — 4,4 по результатам органолептической оценки. Корка имела подрывы и трещины, форма расплылась, мякиш заминающийся не пористый. Вкус горький. Установлено, что с повышением объема вносимого порошка вереска обыкновенного, показатели имеют низкое качество. Разница по показателям с лучшим опытным образцом № 2 составила 4,6 балла или 92 %, что связано с фитонцидными свойствами вереска обыкновенного. По запаху у всех образцов особых отличий не определено.

Результаты профильной оценки характеризуют наибольшую выраженность горького и терпкого привкуса у образца № 4, с максимально вносимой концентрацией вереска обыкновенного — 5 г. Привкус меда наиболее ощутим у образца № 2, с минимальной концентрацией добавки — 2 г.

Согласно представленным профилям пористости, пористость в норме наблюдалась у образцов № 1 и № 2 (развитые средние). По мере увеличения вносимой добавки (3 г) поры неравномерные, а при 5 г — пористость отсутствовала, мякиш липкий.

Физико-химические испытания свидетельствуют об увеличении показателей по мере повышения концентрации добавки, за исключением пористо-

сти, что совпадает с результатами исследований авторов (Волковой & Сысоева, 2021), использовавших муку из травы чабреца в рецептуре хлеба. Хотя при внедрении в рецептуру хлеба муки из корня цикория в количестве до 3 % авторы наблюдали увеличение показателей пористости, до 5 % — кислотности и влажности мякиша.

Результаты наших физико-химических исследований свидетельствуют о повышении влажности мякиша с 41,6 % у контрольного образца до 42,9 % у образца № 4 с внесенной добавкой 5 г, что можно объяснить высокой водопоглотительной способностью порошка вереска. Наибольшая кислотность определена так же у образца № 4, показатель превысил норму стандарта на 0,2 %, что может быть связано с содержанием в вереске обыкновенном органических кислот и аминокислот до 17 %, и фенольных кислот до 9 % (Веремчук и соавт., 2016). При рассмотрении удельного объема хлеба, отметим, что положительное воздействие на данный показатель наблюдалось при внесении 2 г порошка вереска, что может быть обусловлено хорошо развитой пористостью мякиша, и достаточной пропеченностью.

При проведении исследований мы ограничились определением трех основных физико-химических показателей (кислотность, влажность и пористость мякиша хлеба), на которые может оказывать влияние внесение пряно ароматического сырья, не ставили задач по определению массовой доли сахара и жира в пересчете на сухое вещество.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решена задача создания рецептуры пшеничного хлеба на ржаной закваске с внесением порошка вереска обыкновенного разной концентрации. В результате проведенных исследований получены новые научные данные о качественных показателях хлеба, обогащенного добавкой вереска обыкновенного. Полученные образцы хлеба можно использовать в питании людей разных возрастных категорий. В дальнейшем планируется проведение исследований, направленных на определение биологической ценности хлеба, изготовленного с использованием вереска обыкновенного.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Ражина Ева Валерьевна: проведение исследования, редактирование рукописи.

Смирнова Екатерина Сергеевна: проведение исследования, подготовка рукописи.

Шаравьев Павел Викторович: концептуализация; редактирование рукописи.

Неверова Ольга Петровна: разработка методики исследования.

Лопалева Надежда Леонидовна: концептуализация; валидация данных.

ЛИТЕРАТУРА

- Агибалова, В.С., Мажулина, И.В., & Тертычная, Т.Н. (2016). Использование перспективных добавок растительного происхождения для повышения биологической ценности хлеба. *Хлебопродукты*, (10), 54-55.
- Agibalova, V.S., Mazhulina, I.V., & Tertychnaya, T.N. (2016). The use of promising plant additives to improve the biological value of bread. *Khleboprodukty*, (10), 54-55. (In Russ.)
- Алексеева, М.М., Волкова, А.В., & Ромадина, Ю.А. (2015). Применение дополнительного сырья при производстве хлебобулочных изделий функционального назначения. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*, (4), 81-85.
- Alekseeva, M.M., Volkova, A.V., & Romadina, Y.A. (2015). The use of additional raw materials in the production of functional bakery products. *Izvestiya Samarskoy Gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy Akademii*, (4), 81-85. (In Russ.)
- Бертине, Р. (2011). *Хлебное дело*. М.: Астрель.
- Bertine, R. (2011). *Bread business*. Moscow: Astrel. (In Russ.)
- Бисчокова, Ф.А., Бориева, Л.З., & Шогенова, И.Б. (2020). Применение полуфабрикатов из дикорастущего сырья для повышения пищевой ценности хлебобулочных изделий. *Новые технологии*, (1), 11-20. <https://doi.org/10/24411/2072-0920-2020-10101>
- Bischokova, F.A., Borieva, L.Z., & Shogenova, I.B. (2020). Use of semi-finished products from wild raw materials to increase the nutritional value of bakery products. *Novye tekhnologii*, (1), 11-20. <https://doi.org/10/24411/2072-0920-2020-10101> (In Russ.)
- Веремчук, О. А., & Моисеев, Д.В. (2015). Оптимизация условий хроматографического определения изокверцитина в побегах вереска обыкновенного. *Достижения фундаментальной, клинической медицины и фармации: Сборник материалов 70-й научной сессии сотрудников университета* (с.163-164). Витебск.
- Veremchuk, O.A., & Moiseev, D.V. (2015). Optimization of conditions for chromatographic determination of isoquercitrin in common heather shoots. *Dostizheniya fundamental'noy, klinicheskoy meditsiny i farmatsii: Sbornik materialov 70-oy nauchnoy sessii sotrudnikov universiteta* (pp.163-164). Vitebsk. (In Russ.)
- Волкова, А.В., & Сысоев, В.Н. (2021). Применение дикорастущего лекарственного сырья при производстве продуктов питания. *East European Scientific Journal*, (9), 31-37.
- Volkova, A.V., & Sysoev, V.N. (2021). The use of wild medicinal raw materials in the production of food products. *East European Scientific Journal*, (9), 31-37. (In Russ.)
- Горбунова, А.В., & Соболева, Е.В. (2017). Влияние экстрактов дальневосточных дикорастущих растений на физико-химические показатели качества хлеба. *Альманах научных работ молодых ученых университета ИТМО: Материалы XVI научной и учебно-методической конференции* (с. 61-64). Санкт-Петербург.
- Gorbunova, A.V., & Soboleva, E.V. (2017). The influence of extracts from wild Far Eastern plants on the physicochemical quality of bread. *Almanac of Scientific Works of Young Scientists of ITMO University: Materials of the XVI Scientific and Educational-Methodical Conference* (pp. 61-64). Saint Petersburg. (In Russ.)
- Гришина, Е.С., & Ступаченко, К.А. (2019). Обзор нетрадиционного растительного сырья, применяемого при производстве хлебобулочных изделий дифференцированного назначения. *Известия Дагестанского ГАУ*, 2(2), 25-32.
- Grishina, E.S., & Stupachenko, K.A. (2019). Overview of unconventional plant raw materials used in the production of bakery products for differentiated purposes. *Izvestiya Dagestanskogo GSU*, 2(2), 25-32. (In Russ.)
- Житков, В.В., Федоренко, Б.Н., & Быков А.В. (2020). Питательные свойства хлеба с добавлением пивной дробины. *Health, Food & Biotechnology*, (4), 81-88. <https://doi.org/10/36107/hfb.2020.i4.s/75>
- Zhitkov, V.V., Fedorenko, B.N., & Bykov, A.V. (2020). Nutritional properties of bread with the addition of brewer's spent grain. *Health, Food & Biotechnology*, (4), 81-88. <https://doi.org/10/36107/hfb.2020.i4.s/75> (In Russ.)
- Какштыкс, Е.Н., & Кох, Д.А. (2022). Использование нетрадиционного растительного сырья для обогащения хлеба пшеничного 1 сорта. *Современные тенденции в пищевых производствах: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции* (с. 46-51). Красноярск.
- Kakshtyks, E.N., & Koh, D.A. (2022). The use of unconventional plant raw materials for enriching 1st-grade wheat bread. *Modern Trends in Food Production: Collection*

- of Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (pp. 46–51). Krasnoyarsk. (In Russ.)
- Лазовикова, Н.П., & Кох, Д.А. (2023). Совершенствование технологии хлебобулочных изделий с использованием дикорастущего растительного сырья. *Студенческая наука — взгляд в будущее: Сборник материалов XVIII Всероссийской научной конференции* (с. 92–96). Красноярск.
- Lazovikova, N.P., & Koh, D.A. (2023). Improving the technology of bakery products using wild plant raw materials. *Student Science — A Look into the Future: Collection of Materials of the XVIII All-Russian Scientific Conference* (pp. 92–96). Krasnoyarsk. (In Russ.)
- Саликова, А.А., Пономарчук, С.Г., & Плаксен, Н.В. (2021). Изучение химического состава плодов дальневосточных видов растений семейства вересковых. *Тихоокеанский медицинский журнал*, (3), 40–44. <https://doi.org/10/34215/1609-1175-2021-3-40-44>
- Salikova, A.A., Ponomarchuk, S.G., & Plaksen, N.V. (2021). Study of the chemical composition of fruits of Far Eastern species of plants from the heather family. *Pacific Medical Journal*, (3), 40–44. <https://doi.org/10/34215/1609-1175-2021-3-40-44> (In Russ.)
- Семенова, Е.Г., Башкуева, М.Р., Дагбаева, Т.Ц., & Тыхенова, О.Г. (2022). Использование черемши в технологии производства ржано-пшеничного хлеба. *Вестник КрасГАУ*, (8), 173–179. <https://doi.org/10/36718/1819-4036-2022-8-173-179>
- Semenova, E.G., Bashkueva, M.R., Dagbaeva, T.C., & Tyhenova, O.G. (2022). The use of wild garlic in the production technology of rye-wheat bread. *Vestnik KrasGAU*, (8), 173–179. <https://doi.org/10/36718/1819-4036-2022-8-173-179> (In Russ.)
- Скорбина, Е.А., Сычева, О.В., Трубина, И.А., & Ежова, Е.О. (2021). Обогащение хлебобулочных изделий пищевыми волокнами. *Пищевая индустрия*, (1), 30–32.
- Skorbina, E.A., Sycheva, O.V., Trubina, I.A., & Ezhova, E.O. (2021). Enrichment of bakery products with dietary fibers. *Pishchevaya Industriya*, (1), 30–32. (In Russ.)
- Тохтиева, Л.Х., & Цугкиева, В.Б. (2015). Использование дикорастущего растительного сырья в хлебопечении. *Известия городского государственного аграрного университета*, (4), 373–377.
- Tokhtieva, L.H., & Tsugkieva, V.B. (2015). The use of wild plant raw materials in baking. *Izvestiya gorodskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, (4), 373–377. (In Russ.)
- Ялалетдинова, Д.И. (2010). Комплексные показатели определения качества зернового хлеба электроконтактного способа выпечки. *Вестник ОГУ*, (10), 179–183.
- Yalaletdinova, D.I. (2010). Comprehensive indicators of grain bread quality determination in the electrocook baking method. *Vestnik OGU*, (10), 179–183. (In Russ.)
- Borcak, B., Sikora, M., Sikora, E., & Sobosz, A. (2018). Glycaemic index of wheat bread. *Starch Stärke*, 70(1–2), 1700022. <https://doi.org/10.1002/star.201700022>
- Dziki, D., Rozyfo, R., Gawlik-Dziki, U., & Swieca, M. (2014). Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat bread by the addition of plant materials rich in phenolic compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 40(1), 48–61. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2014.07.010>
- Chepel, V., Lisum, V., & Skrypnik, L. (2020). Changes in the content of some groups of phenolic compounds and biological activity of extracts of various parts of heather (*Calluna vulgaris* (L.) Hull) at different growth stages. *Plants*, 9(8), 926. <https://doi.org/10.3390/plants9080926>
- Khmelevskaya, A.V., Karaeva, I.T., Cherkhesova, S.K., & Sorokopudov, N.V. (2022). Justification of the feasibility of using wild-growing inulin-containing plants in bread technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 1010(1), 012154. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1010/1/012154>
- Krotova, I.V., Pushmina, I.N., Motovilov, O.K., Sherbinin, V.V., & Mokrousov, S.M. (2021). Justification of the choice of plant raw materials and forms of its processing for expanding the range of functional foods products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 848(1), 11. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/848/1/012027>
- Monschein, M., Iglesias Neira, J., Kunert, O., & Bucar, F. (2010). Phytochemistry of heather (*Calluna vulgaris* (L.) Hull) and its altitudinal alteration. *Phytochemistry Reviews*, 9, 205–215. <https://doi.org/10.1007/s11101-009-9153-5>
- Nouska, C., Georgiou, M., Lytous A.E., Skendi, A., Bouloumpasi, E., & Lazaridou, A. (2023). Physicochemical characteristics, antioxidant properties, aroma profile and sensory qualities of value-added wheat breads fortified with post-distillation solid waste of aromatic plants. *Foods*, 12(21), 4007. <https://doi.org/10/3390/122/4007>
- Skendi, A., Katsantonis, D.N., Chatzopoulou, P., Irakli, M., & Papageorgiou, M. (2020). Antifungal activity of aromatic plants of the Lamiaceae family in bread. *Foods*, 9(11), 1642. <https://doi.org/10/3390/911/1642>
- Szakiel, A., Nizynski, B., & Paczkowski, C. (2013). Triterpenoid profile of flower and leaf cuticular waxes of heather *Calluna vulgaris*. *Natural Product Research*, 27, 1404–1407. <https://doi.org/10.1080/14786419.2012.742083>
- Moise, A., Margitas, L.A., Dezmirean, D. Bobis, O., & Maghear, O. (2011). Theoretical study regarding the Heather Honey (*Calluna vulgaris*). *Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies*, 68(1–2), 233–237. <https://doi.org/10.15835/BUASVMC-ASB:68:1-2:6703>
- Samilyk, M., Demidova, E., Bolgova, N., & Savenko, O. (2022). Development of bread technology with high biological value and increased shelf life. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2(11), 116. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255605>
- Volkova, A., Sysoev, V., Blinova, O., Trots, A., & Prazdnichkova, N. (2019). Innovative technologies of using promising phyto-fortificants in bakery products of high nutritional value. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 403(1), 12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012119>
- Volkova, A.V., Sysoev, V.N., & Makushin, A.N. (2020). The use of wild medicinal raw materials in food production. *BIO Web of Conferences*. EDP Sciences, 17, 6. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700048>

Кавитация как альтернативный метод физического воздействия для улучшения вкусо-ароматического профиля кондитерских полуфабрикатов

¹ ВНИИП — филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, г. Москва, Российская Федерация,

² ВНИИТеК — филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, г. Видное, Российская Федерация

Т. В. Федосенко¹, Л. М. Аксенова¹, М. А. Пестерев¹,
А. И. Захарова², Л. К. Пацюк²

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Федосенко Татьяна Васильевна
E-mail: tianafedosenko@yandex.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Федосенко, Т.В., Аксенова, Л.М., Пестерев, М.А., Захарова, А.И., & Пацюк, Л.К. (2024). Кавитация как альтернативный метод физического воздействия для улучшения вкусо-ароматического профиля кондитерских полуфабрикатов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(1), 131-143. <https://doi.org/10.36107/spfr.2024.1.501>

ПОСТУПИЛА: 13.09.2023

ПРИНЯТА: 15.03.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение: Изменение потребительских предпочтений к здоровому питанию и выбору кондитерских изделий для быстрого перекуса стимулирует развитие сегмента полезных сладостей. Продукты на основе овощного сырья, богатые пектинами, витаминами, минералами и пищевыми волокнами, обретают популярность в кондитерской промышленности. Современные тенденции в пищевой промышленности стремятся к производству пищевых продуктов, сохраняющих нативные свойства с минимальной термообработкой, применяя альтернативные технологии, такие как высокое давление, импульсное электричество, магнитное поле, ультрафиолет или акустику.

Цель: установление изменения органолептических показателей кондитерского полуфабриката на основе пюре тыквы в условиях кавитационного воздействия для повышения вкусо-ароматического профиля.

Материалы и методы: Объекты исследования: образцы пюре тыквы промышленного производства, кондитерские полуфабрикаты, приготовленные в лабораторных условиях смешиванием пюре тыквы и сахарного/инвертного сиропа в соотношении 50:50. Кавитационную обработку проводили на ультразвуковой установке «Сирикс 250К», органолептическую оценку проводили дегустационной комиссией и на приборе «Электронный нос» «VOCmeter», дисперсность определяли на лазерном дифрактометре «Beckman Coulter».

Результаты: После кавитационной обработки продолжительностью 10 минут увеличилось содержание ароматических веществ: низкомолекулярных азотсодержащих соединений — на 24,2 %, свободных аминокислот — 41,4 %, кетонов — 32 %, при дальнейшей обработке содержание ароматических веществ снижается. Распределение частиц в тыквенном пюре характеризовалось тем, что основная масса частиц имела размер 50,2–153,8 мкм, а частицы с размером 7–38 мкм составляли менее 10 %. Исследование дисперсности тыквенных полуфабрикатов показало, что частицы размером 153,8 мкм и более разрушаются в ходе кавитационного воздействия.

Выводы: Оптимальная продолжительность воздействия ультразвуком на кондитерские полуфабрикаты — 10 минут. Выявлена перспектива определения маркеров ароматических соединений для использования мультисенсорных систем с целью идентификации натуральных фруктово-овощных компонентов в кондитерских изделиях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

кавитационное воздействие, сахарный сироп, инвертный сироп, пюре тыквы, органолептические свойства, кондитерские полуфабрикаты

Cavitation as an Alternative Method of Physical Action to Improve the Flavor Profile of Confectionery Semi-Finished Products

¹ VNIIEP – Branch of V.M. Gorbato
Federal Research Center for Food
Systems, Moscow, Russian Federation,

² VNIITeK – Branch of V.M. Gorbato
Federal Research Center for Food
Systems, Vidnoye, Russian Federation

Tatyana V. Fedosenko¹, Larisa M. Aksenova¹, Mikhail A. Pesterev¹,
Anna I. Zakharova², Lyubov K. Patsyuk²

CORRESPONDENCE:

Fedosenko Tatyana Vasilyevna
E-mail: tianafedosenko@yandex.ru

DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are
available upon request from the
corresponding author.

FOR CITATIONS:

Fedosenko, T., Aksenova, L., Pesterev, M.,
Zaharova, A., Patsyuk, L. (2024).
Cavitation as an alternative method
of physical action to improve the
flavor profile of confectionery
semi-finished products. *Storage
and Processing of Farm Products*, 32(1),
131-143. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.501>

RECEIVED: 13.09.2023

ACCEPTED: 15.03.2024

PUBLISHED: 30.03.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction: Changing consumer preferences towards healthy eating and choosing confectionery products for quick snacks are stimulating the development of the healthy confectionery segment. Products based on vegetable raw materials, rich in pectins, vitamins, minerals, and dietary fibers, are gaining popularity in the confectionery industry. Modern trends in the food industry aim to produce food products that preserve native properties with minimal heat treatment, employing alternative technologies such as high pressure, pulsed electricity, magnetic fields, ultraviolet light, or acoustic energy.

Purpose: to determine the changes in the organoleptic parameters of a semi-finished confectionery product based on pumpkin puree under cavitation conditions to increase the flavor profile.

Materials and Methods: Objects of research: samples of pumpkin puree of industrial production, confectionery semi-finished products prepared in laboratory conditions by mixing pumpkin puree and sugar/invert syrup in the ratio 50:50. Cavitation treatment was carried out on the ultrasonic unit «Syrinx 250K», organoleptic evaluation was carried out by the tasting committee and on the device «Electronic nose» «VOCmeter», dispersibility was determined on the laser diffractometer «Beckman Coulter».

Results: After cavitation treatment with duration of 10 minutes the content of aromatic substances increased: low-molecular nitrogen-containing compounds – by 24,2 %, free amino acids – 41,4 %, ketones – 32 %, at further treatment the content of aromatic substances decreases. The distribution of particles in pumpkin puree was characterized by the fact that the bulk of particles had a size of 50.2–153.8 µm, and particles with a size of 7–38 µm were less than 10 %. The study of dispersibility of pumpkin semifinished products showed that particles with the size of 153.8 microns and more are destroyed during cavitation action.

Conclusion: The optimal duration of ultrasound exposure to confectionery semi-finished products is 10 minutes. The prospect of determination of markers of aromatic compounds for use of multisensor systems for identification of natural fruit and vegetable components in confectionery products has been revealed.

KEYWORDS

cavitation effect; sugar syrup; invert syrup; pumpkin puree; organoleptic properties; confectionery semi-finished products

ВВЕДЕНИЕ

Популярность кондитерских изделий в России подтверждается ростом их продаж на 1,8 % за 2018–2022 гг.¹ Общий объем производства кондитерских изделий по данным Росстата составил 3892 тыс. т. в 2020 г.², из которых сахаристые КИ составляли 47,35 %. Среди факторов, способствующих этому эксперты выделяют: изменение потребительских предпочтений, приобретение кондитерских изделий в качестве быстрого перекуса, развитие сегмента полезных кондитерских изделий и экологически чистой продукции.¹

В последние десятилетия работы ВНИИ КП — филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН направлены на снижение сахароемкости выпускаемых кондитерских изделий, в том числе за счет использования фруктово-ягодного и овощного сырья. Наличие такого сырья в кондитерских изделиях ассоциируется у покупателей со здоровым питанием. При этом продукты переработки овощного сырья имеют большой потенциал для использования в кондитерской промышленности, например, тыква, обладает высоким содержанием пектинов, витаминов, минеральных веществ и пищевых волокон. В плодах тыквы содержится Витамин А, витамин С, β -каротин, витамины группы В, калий (Лодыгин & Давыденко, 2019).

К отличительным особенностям тыквы следует отнести повышенное содержание пектина — до 7–11,5 % (Донченко & Кондратенко, 1998), способствующего связыванию и выводу из организма стабильных и радиоактивных металлов (Кондратенко & Кондратенко, 2019). По существующим технологиям плодоовощное сырье в процессе обработки и при получении кондитерских изделий подвергается тепловым воздействиям (Табаторович, 2018), что приводит к снижению количества нативных витаминов и микронутриентов, в частности витамина С на 90,8 % (Овсеян & Худавердян, 2019). В связи с этим, одним из направлений исследований является получение кондитерских полуфабрикатов из овощей и фруктов с минимально возможным температурным воздействи-

ем для сохранности нативных микронутриентов (Руденко, и соавт., 2020; Bhargava et al., 2021).

В последнее время тенденции в разработке технологий пищевой промышленности были нацелены на производство продуктов питания с сохранением нативных свойств с использованием альтернативных технологий в условиях относительно низких тепловых воздействий. Вместо использования тепловой энергии для обеспечения безопасности пищевых продуктов, которая часто сопровождается ухудшением их качественных показателей, альтернативные методы обработки используют такие виды физических воздействий, как высокое давление, импульсное электрическое или магнитное поле, ультрафиолетовый свет или акустическую энергию (Lee & Feng, 2011).

Использование ультразвука высокой интенсивности в пищевой промышленности является относительно новым направлением. Так, в качестве нового метода обработки сырья и полуфабрикатов набирает популярность использование кавитационного воздействия (Askarniya et al., 2023; Ciriminna et al., 2023; Castro-Muñoz et al., 2023; Tang, 2023). Под кавитацией понимается процесс образования, роста и схлопывания пузырьков. Ультразвуковая кавитация предполагает генерацию ультразвуком попеременно высокого и низкого давления, вызывая циклы разряжения и сжатия в обрабатываемой среде. Разрежение приводит к росту вакуумных пузырьков (кавитационных пузырьков), возникающих под воздействием низкого давления (Carrillo-Lopez et al., 2021).

При этом, если значения параметров акустической кавитации (начальный радиус пузырька R_0 — отношение амплитуды акустического давления P_A к гидравлическому давлению P_0) не достигают нижнего порога Неппайраса — не будет происходить схлопывание пузырьков (дегазирующая кавитация). Коллапсирующая кавитация (со схлопыванием пузырьков) будет происходить в области, ограниченной порогом Блейка, а также верхним и нижним порогами Неппайраса (Рисунок 1).

¹ Анализ рынка кондитерских изделий в России в 2018–2022 гг, прогноз на 2023–2027 гг. BusinesStat. https://businessstat.ru/images/demo/confectionery_russia_demo_businessstat.pdf.

² Промышленное производство в России. (2021). М.: Росстат.

Рисунок 1

Поле режимов возникновения акустической кавитации в жидкой среде



Примечание. Адаптировано по Blake (1949); Neppiras (1980).

Взрыв кавитационного пузырька приводит к физическим и химическим эффектам в обрабатываемой среде (микротоки, перемешивание, турбулентность, микроструи, ударные волны и диспергирование дисперсной фазы) в результате этого происходит изменение свойств среды. Например, для получения ценных соединений из растений применяется ультразвуковая экстракция как более современный подход, который позволяет избежать потери и разложения летучих и термолабильных соединений, благодаря сниженной температуре экстракции. Также для экстракции ценных компонентов из лавра, розмарина, тимьяна, орегана, туберозы, применяется высокочастотное воздействие, обеспечивающее сокращение времени обра-

ботки до 10 минут, что в 18 раз меньше, чем в случае паровой дистилляции, и в 2,5 раза меньше, чем при экстракции перегретой жидкостью и уменьшает расход сырья (Roldán-Gutiérrez et al., 2008). Гаджиева и соавт. (2020) получили комбинированный продукт функционального назначения на основе растительного сырья, производство которого позволяет не только улучшить органолептические показатели, но и сократить затраты на производство томатопродуктов в 1,5–2 раза.

Ультразвуковая обработка используется для экстракции главных химических компонентов настойки чая, положительно влияющих на органолептические показатели, при этом задерживая белок и пектин, ухудшающие качество чая (Тао et al., 2006). Чеснокова и соавт. (2023) установили положительное влияние ультразвуковой обработки на извлечение антоцианов из ягодного сырья, при этом отмечена существенная роль продолжительности ультразвукового воздействия на эффективность экстракции. Кроме того, доказано положительное влияние использования акустической кавитации на физико-химические и органолептические показатели при производстве адыгейского сыра, на вкусо-ароматические характеристики продуктов переработки мяса птицы. Изменения вкуса и аромата продуктов определяли с использованием газового хроматографа и дегустационной комиссии (Dunchenko et al., 2023; Потороко, 2014).

Оценить эффективность влияния кавитационной обработки на вкус готового продукта можно органолептической оценкой, проведенной дегустационной комиссией, и с использованием инструментальных методов анализа. Органолептическая оценка дегустационной комиссией — самый простой и доступный метод качественной оценки показателей пищевых продуктов по выбранным дескрипторам (запах, вкус, цвет, консистенция и др.), тогда как использование инструментальных методов, в частности хроматографии для получения информации о запахе пищевых продуктов зачастую требует больших затрат химических реактивов и времени. Мультисенсорная аналитическая система «Электронный нос» позволяет быстро анализировать запахи (Чернуха, 2011; Богданова и соавт., 2012) с помощью ряда специфических сенсоров (металлооксидные сенсоры из частиц наноразмера, кварцевых кристаллических микровесов и др.) и используется в целях определения качества

рыбных, мясных, молочных продуктов питания, продуктов растительного происхождения, а также кондитерских изделий (Головкова, 2021; Козырев и соавт., 2021; Магомедов и соавт., 2019; Никитина и соавт., 2015; Коренман и соавт., 2003). При этом мультисенсорные системы могут быть использованы для идентификации компонентов (Чернуха и соавт., 2011).

Целью данного исследования стало установление условий изменения органолептических показателей кондитерского полуфабриката на основе пюре тыквы в условиях кавитационного воздействия для повышения вкусо-ароматического профиля.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Объектами исследования стали образцы: пюре тыквы промышленного производства, кондитерские полуфабрикаты, приготовленные в лабораторных условиях смешиванием пюре тыквы и сахарного сиропа в соотношении 50:50; пюре тыквы с инвертным сиропом в соотношении 50:50.

Методы и инструменты

Кавитационную обработку пюреобразных полуфабрикатов проводили на стендовой ультразвуковой установке «Сиринкс 250К» в циркуляционном режиме. Частота излучения 24 кГц, мощность ультразвукового преобразователя 240 Вт.

Органолептическую оценку полуфабрикатов проводили дегустационной комиссией согласно показателям и характеристикам по ГОСТ 32741–2014 «Полуфабрикаты. Начинки и подварки фруктовые и овощные. Общие технические условия».

Содержание отдельных ароматических летучих компонентов в образцах полуфабриката определяли на приборе «VOCmeter» («AppliedSensor», Германия) с последующим анализом откликов металлоксидных сенсоров (MOS 1–4). Данные откликов обрабатывались в программе «Argus».

Исследование дисперсности проводили на лазерном дифрактометре «Beckman Coulter».

Процедура исследования

Для получения полуфабрикатов использовалось пюре из тыквы производства АО «Совхоз имени Ленина», изготовленное по ТУ 9162–009–00563051–15.

Сахарный сироп изготавливали по классической технологии путем смешивания воды с сахарным песком в соотношении 1:3 соответственно и последующим нагреванием до кипения с продолжительностью кипения 10 минут, до полного растворения сахарного песка и достижением 75 % сухих веществ.

Инвертный сироп изготавливали по рациональной технологии кислого инвертного сиропа ВНИИКП по ТУ 9111–106–00334675–2010 «Сироп инвертный» путем смешивания воды с сахарным песком в соотношении 0,65:1 с добавлением лимонной кислоты (0,35 % от массы сахара), с последующим нагревом до температуры 94°C и увариванием при заданной температуре до достижения содержания сухих веществ в сиропе 75 %.

Пюре смешивали с сиропами при температуре 60°C в соотношении 50:50 с последующей обработкой кавитационным воздействием, продолжительность которого составляла 10, 20 и 30 минут. Полученные образцы сравнивали с контрольными образцами тыквенно-сахарного и тыквенно-инвертного полуфабрикатов без применения кавитационного воздействия, а также с исходным тыквенным пюре.

Анализ данных

Данные откликов «Электронного носа» обрабатывались в программе «Argus».

Для обработки данных в ходе работы было использовано программное обеспечение MS Excel, в котором были построены графики и профилограммы по данным результатов исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Органолептическая оценка полуфабрикатов

Образцы полуфабрикатов получены путем сочетания сырья тыквы и сахарного или инвертного сиропов в условиях кавитационного воздействия сочетанием сырья тыквы в течение 10, 20, 30 мин. Для определения влияния кавитационной обработки на органолептические показатели была проведена дегустационная оценка полученных кондитерских полуфабрикатов с сахарным (Рисунок 2) и с инвертным сиропом (Рисунок 3). Дегустационная комиссия состояла из 7 экспертов и коэффициент согласованности комиссии на основании применения коэффициента конкордации Кендалла составлял 0,84.

Органолептическая оценка полуфабрикатов из тыквенного пюре и сахарного сиропа показала, что в результате кавитационной обработки продолжительностью 10 минут балльная оценка по всем дескрипторам повысилась в сравнении с контрольным образцом (тыквенно-сахарный полуфабрикат

до кавитационной обработки). При увеличении продолжительности кавитационного воздействия до 20 и 30 минут балльная оценка дескрипторов «Вкус» и «Запах» снижается на 0,5–1 балл по сравнению с образцом 10 минутами кавитационной обработки. Были отмечены повышение сладости во вкусе и снижение интенсивности запаха относительно образца, подвергнувшегося кавитационной обработке в течение 10-ти минут. При этом показатели «Внешний вид», «Консистенция» практически не изменились с 10 минутной обработки и были выше, чем у контрольного образца.

Органолептическая оценка полуфабриката с инвертным сиропом (Рисунок 3) показала, что в результате кавитационной обработки продолжительностью 10 минут балльная оценка по дескрипторам: «Внешний вид», «Консистенция» и «Вкус» повысилась в сравнении с контрольным образцом (тыквенно-инвертный полуфабрикат до обработки). При этом изменился «Цвет» и снизился характерный запах сырья тыквы, также отмечена близость вкусовых показателей полуфабриката к класси-

Рисунок 2

Органолептическая оценка полуфабриката с сахарным сиропом

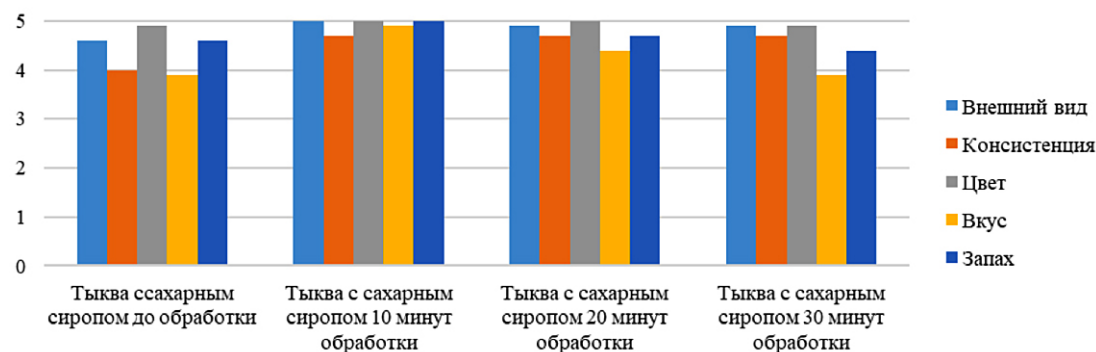
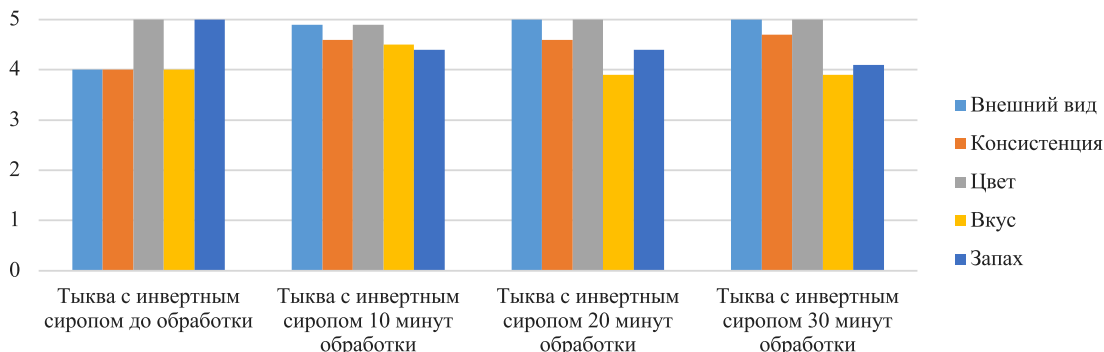


Рисунок 3

Органолептическая оценка полуфабриката с инвертным сиропом



ческим вкусовым показателям меда. При увеличении продолжительности обработки до 20 и 30 минут результаты органолептической оценки образцов схожи с образцом 10-ти минутной обработки, за исключением увеличения сладости, что привело к уменьшению оценки по дескриптору «Вкус» относительно контрольного образца на 18 %.

Исследование ароматических соединений полуфабрикатов

Все образцы пюре, подвергавшиеся кавитационной обработке, а также контрольные образцы тыквенно-сахарного и тыквенно-инвертного полуфабриката, не подвергавшиеся кавитационной обработке были исследованы при помощи прибора «Электронный нос». На Рисунках 4 и 5 представлены «визуальные отпечатки» запахов образцов, полученные мультисенсорной оценкой на приборе «Электронный нос».

Исследование ароматических веществ: альдегидов, низкомолекулярных азотосодержащих, свободных аминокислот и кетонов на приборе «Электронный нос» показало влияние продолжительности кавитационной обработки полуфабрикатов. В образце тыквенно-сахарного полуфабриката после кавитационной обработки продолжительностью 10 минут увеличилось содержание ароматических веществ: низкомолекулярных азотсодержащих со-

единений — на 24,2 %, свободных аминокислот — 41,4 %, кетонов — 32 %. При дальнейшей обработке содержание ароматических веществ снижается и при продолжительности кавитационной обработки 30 минут показатели содержания ароматических веществ были почти равны показателям полуфабриката до кавитационной обработки.

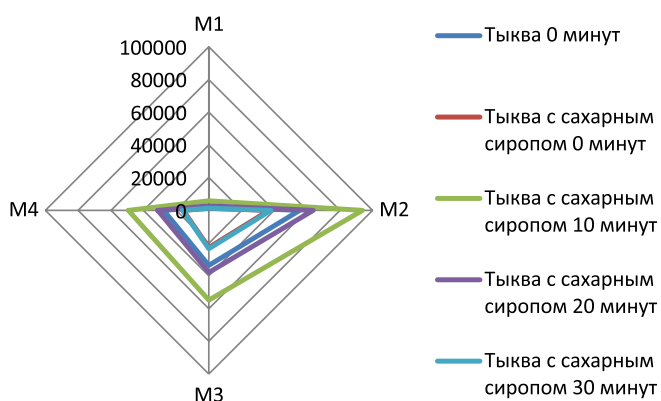
Содержание ароматических соединений в тыквенно-инвертном полуфабрикате снижается уже при 10-ти минутах кавитационной обработки по сравнению с контрольным образцом полуфабриката (не подвергавшемся кавитационной обработке) и при дальнейшем увеличении продолжительности обработки плавно снижается (Рисунок 5).

Сравнили динамику площадей «визуальных отпечатков» ароматических летучих соединений в образцах тыквенно-сахарного и тыквенно-инвертного полуфабриката (Рисунок 6).

В результате сравнения площадей «визуальных отпечатков» ароматических соединений испытуемых образцов тыквенного пюре и кондитерских полуфабрикатов установлено: при добавлении сахарного и инвертного сиропов в тыквенное пюре, снижается площадь «визуальных отпечатков» запаха, в сравнении с исходными показателями приблизительно в 2 раза. Выявлено, что в контрольных образцах тыквенно-сахарного и тыквенно-инвертного полуфабрикатов (без кавитационной обра-

Рисунок 4

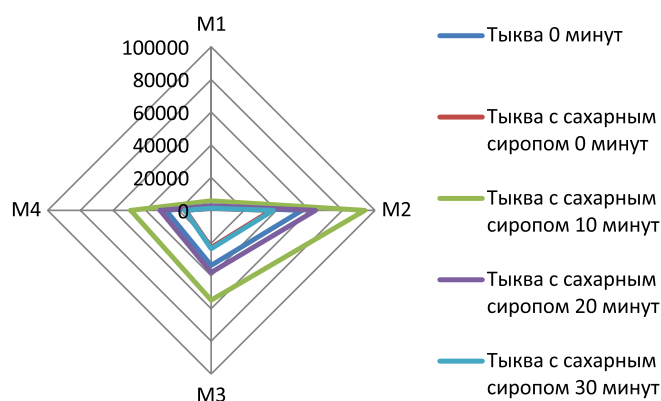
Сравнение «визуальных отпечатков» ароматических соединений образцов тыквенного полуфабрикатов с контрольным образцом



Примечание. *Спецификация сенсоров: альдегиды (M1), низкомолекулярные азотсодержащие соединения (M2), свободные аминокислоты (M3), кетоны (M4)

Рисунок 5

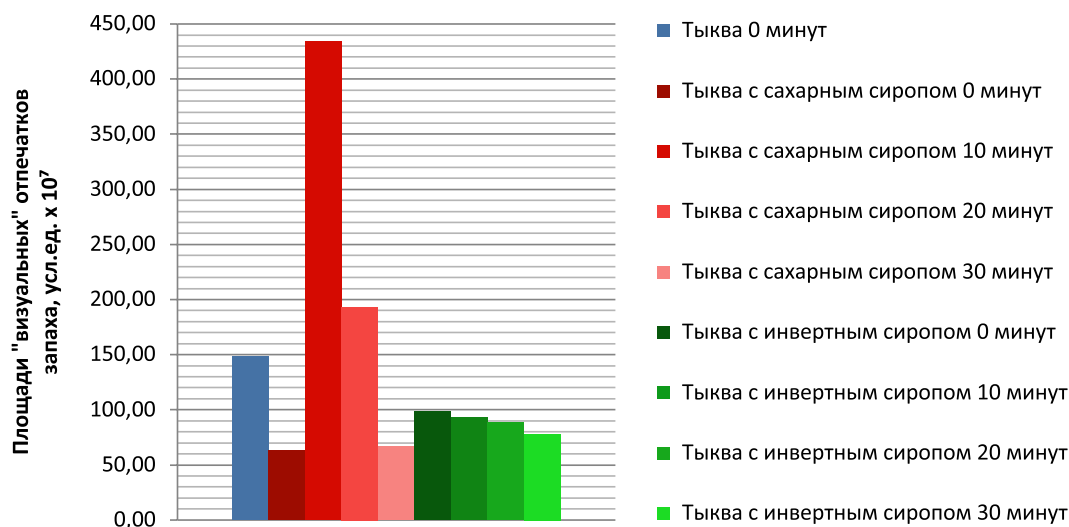
Сравнение «визуальных отпечатков» запахов образцов тыквенного полуфабрикатов с контрольным образцом



Примечание. *Спецификация сенсоров: альдегиды (M1), низкомолекулярные азотсодержащие соединения (M2), свободные аминокислоты (M3), кетоны (M4)

Рисунок 6

Сравнение площади «визуальных отпечатков» ароматических летучих соединений



ботки) площадь «визуальных отпечатков» запаха полуфабриката с инвертным сиропом составляла $98,6 \text{ усл.ед.п.} \times 10^7$ и была больше на 36,1 %, чем у полуфабриката с сахарным сиропом. В полуфабрикате с сахарным сиропом при продолжительности обработки 10 минут увеличилась интенсивность запахов почти в 7 раз в сравнении с контрольным образцом полуфабриката и почти в 3 раза в сравнении с исходным пюре тыквы. При десятиминутной обработке полуфабриката с инвертным сиропом площадь «визуальных отпечатков» уменьшается, в отличие от полуфабриката с сахарным сиропом, у которого при той же продолжительности обработки поле ароматических веществ увеличивается с 63,0 до 434,3 усл.ед.п. $\times 10^7$.

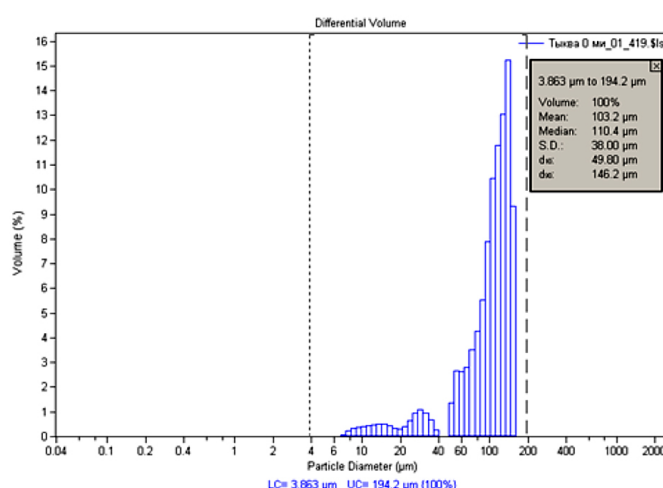
Исследование дисперсности полуфабрикатов

Все образцы пюре, подвергавшиеся кавитационной обработке, а также контрольные образцы полуфабриката, не подвергавшиеся кавитационной обработке, были исследованы на лазерном дифрактометре «Beckman Coulter». Исходное пюре тыквы характеризовалось высокой дисперсностью (Рисунок 7).

Распределение частиц в тыквенном пюре характеризовалось тем, что основная масса частиц имела размер 50,2–153,8 мкм, а частицы с размером 7–38 мкм составляли менее 10%. Профили распределения частиц по размерам в полуфабрикатах с сахарным и инвертным сиропами имеют схожий ха-

Рисунок 7

Дисперсность тыквенного пюре



актер с исходным пюре тыквы, однако в процессе кавитационного воздействия происходят изменения размеров частиц, а именно разрушение крупных частиц (Рисунки 8, 9).

Уже при 10-ти минутной продолжительности кавитационного воздействия в тыквенно-сахарном и тыквенно-инвертном полуфабрикатах полностью разрушаются самые крупные частицы (168,9 мкм), которые содержались в контрольных образцах (до кавитационного воздействия) (Таблица 1).

Анализ распределения частиц в образцах полуфабрикатов с сахарным и инвертным сиропами, до и после кавитационной обработки продолжи-

Рисунок 8

Распределение частиц в образцах кондитерского полуфабриката с сахарным сиропом при длительности 0, 10, 20, 30 мин кавитационной обработки

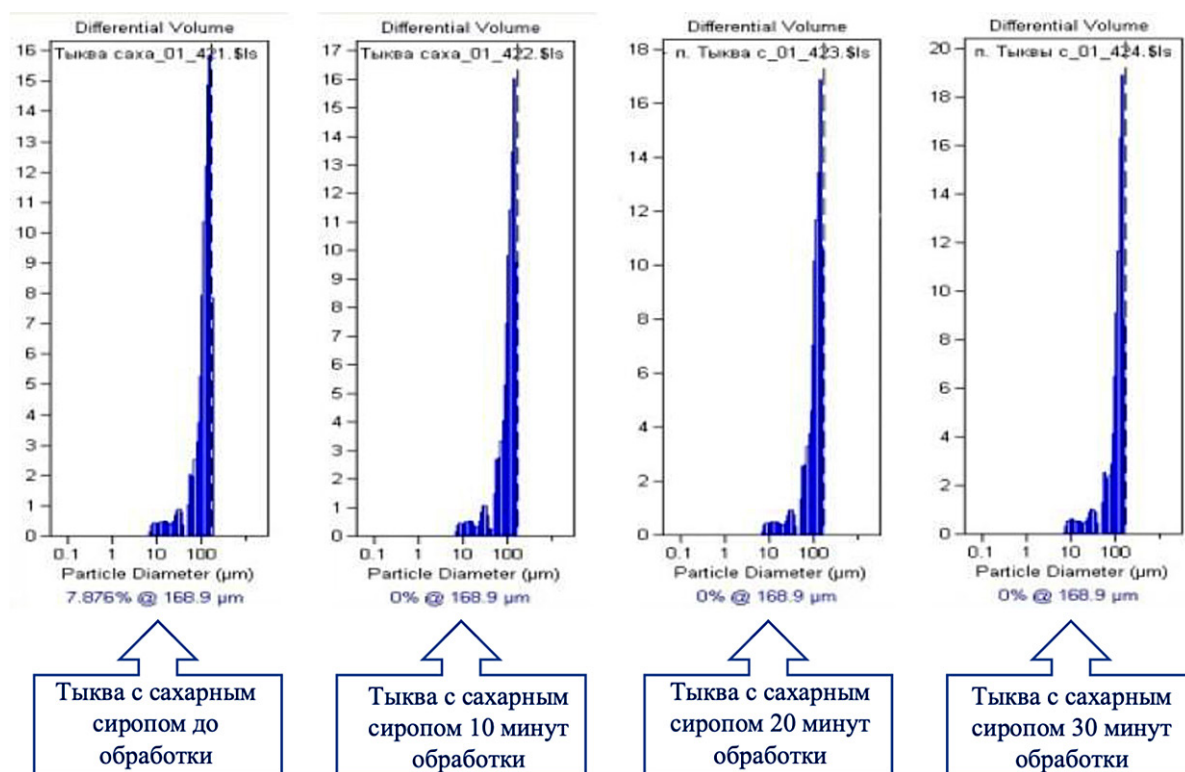


Рисунок 9

Распределение частиц в образцах кондитерского полуфабриката с инвертным сиропом при длительности 0, 10, 20, 30 мин кавитационной обработки

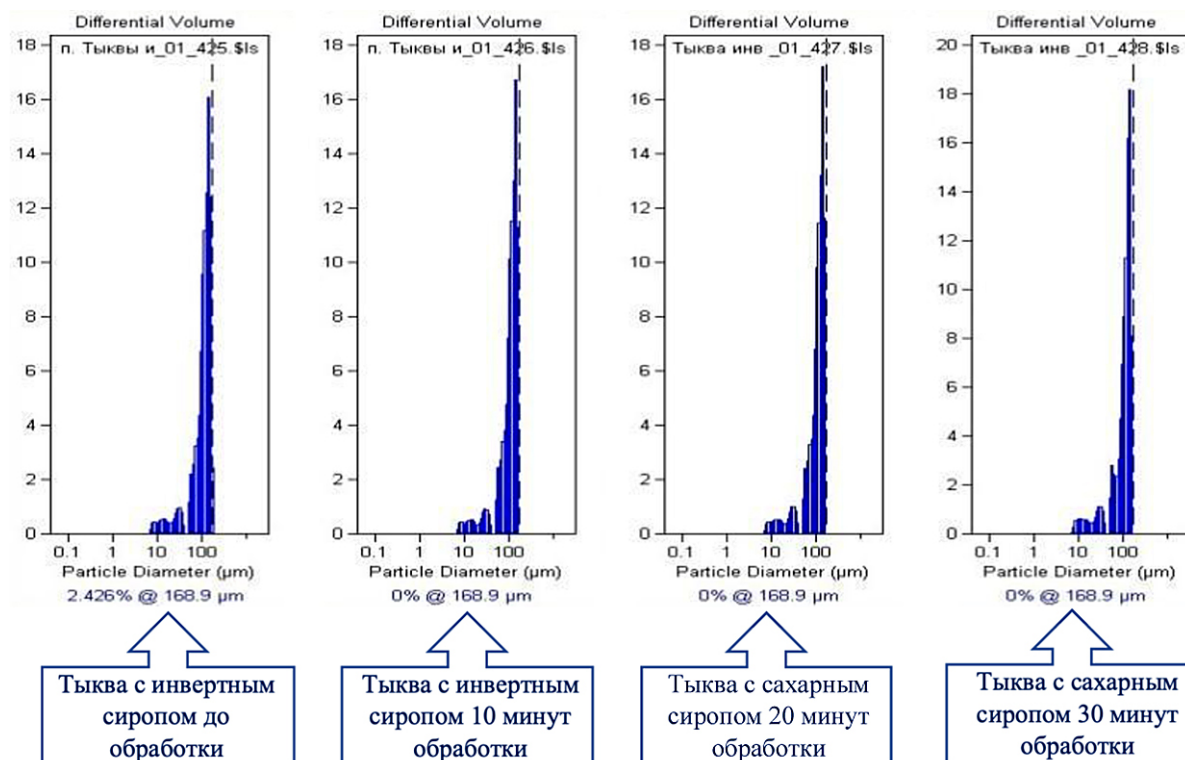


Таблица 1

Динамика размеров частиц в тыквенно-сахарном полуфабрикате в зависимости от продолжительности кавитационной обработки

Продолжительность, мин	Размер частиц, мкм, содержание в %					±Δ
	168,9	153,8	105,9	96,49	50,22	
0	7,88	15,88	7,95	5,28	1,01	0,1
10	0	9,55	9,84	7,46	1,48	0,1
20	0	10,7	10,17	7,05	1,32	0,2
30	0	8,85	9,12	6,47	1,28	0,1

Таблица 2

Динамика размеров частиц в тыквенно-инвертном полуфабрикате в зависимости от продолжительности кавитационной обработки

Продолжительность, мин	Размер частиц, мкм, содержание в %					±Δ
	168,9	153,8	105,9	96,49	50,22	
0	2,43	12,41	9,56	6,72	1,17	0,2
10	0	11,3	10,1	7,22	1,25	0,1
20	0	11,63	9,79	6,81	1,29	0,3
30	0	8,09	8,88	6,94	1,45	0,1

тельностью 10, 20 и 30 мин, показал, что частицы размером 153,8 мкм и более разрушаются в ходе кавитационного воздействия на 39,8 % в полуфабрикате с сахарным сиропом и на 8,9 % — с инвертным, при этом в образцах увеличивается количество частиц размером 105,9 и 96,49 мкм. В полуфабрикате с сахарным сиропом количество частиц 105,9 мкм увеличилось на 19,2 % и на 0,9 % — с инвертным, а также частицы 96,49 мкм на 29,2 % — с сахарным и на 6,9 % — с инвертным.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенной серией опытов доказано положительное влияние ультразвукового воздействия на изменения органолептических показателей и физико-химических свойств пищевых систем, что согласуется с результатами исследований авторов (Castro-Muñoz, 2023). По результатам органолептической оценки полуфабрикатов из тыквенного пюре и сахарного сиропа выявлено повышение сладости во вкусе и снижение интенсивности запаха

относительно образца, подвергнувшегося кавитационной обработке.

Определено, что оптимальная длительность воздействия ультразвуком для кондитерских полуфабрикатов — 10 минут, последующая обработка привела к снижению органолептических показателей. Данные изменения были выявлены и при органолептической оценке полуфабрикатов из тыквенного пюре с инвертным сиропом. Сопоставимые данные по влиянию продолжительности кавитационной обработки полуфабрикатов получены Dunchenko (2023), отметившим в образцах молока после 17 мин кавитационного воздействия увеличение аромата на 1–2 балла органолептическим методом с 5-балльной шкалой, но отсутствие данных по идентифицированным ароматическим соединениям и промежуточных данных с меньшей длительностью воздействия не дают возможности оценить оптимальную длительность кавитационного воздействия. Наши исследования показывают, что кавитационное воздействие более 10 минут не целесообразно, поскольку дальнейшее кавитационное воздействие приводит к снижению количества ароматических соединений. Тао Xia (2006), Потороко (2014) также отмечают динамику содержания ароматических соединений. В частности у Потороко (2014), в 2 раза повышалось содержания креатина при кавитационном воздействии на продукты переработки мяса цыплят-бройлера в течение 3 мин при значениях мощности воздействия аналогичной используемой в исследовании данной рукописи. Ультразвуковая экстракция (Тао Xia, 2006) при отсутствии кавитационных эффектов также повышает экстракцию ароматических веществ, но в меньшей степени и за более длительное время воздействия: 40 мин ультразвукового воздействия экстракция кофеина повысилась на 6 % из раствора чая, экстракция антоцианов из ягод черной смородины увеличилась в 1,4 раза при 20 мин (Чеснокова, 2023).

Результаты органолептической оценки дегустационной комиссии подтверждаются исследованием ароматических веществ на приборе «Электронный нос». При этом аналитический метод позволил установить снижение ароматических соединений в два раза по площади «визуальных отпечатков» запаха в полуфабрикатах с добавлением сахарного и инвертного сиропов в соотношении 50:50 по сравнению с исходным тыквенным пюре. Что опреде-

ляет перспективу использования мультисенсорных систем с целью идентификации натуральных фруктово-овощных компонентов в кондитерских изделиях, как в работе (Чернуха, 2011) авторы определяют видовую принадлежность мясного сырья. Но для дальнейших исследований необходимо определить маркерные соединения, характеризующие то или иное растительное сырье.

При десятиминутной обработке полуфабриката с инвертным сиропом площадь «визуальных отпечатков» уменьшается за счет наличия большого количества твердых частиц в инвертном сиропе и возможности образования оболочек вокруг частиц твердой фазы сиропа, что обеспечивает удержание ароматических веществ в монослое оболочек, в отличие от полуфабриката с сахарным сиропом, где твердых частиц значительно меньше. Стабильность толщины этих оболочек обеспечивается за счет поверхностного натяжения в оболочках, структуры пюре и образования тончайшего монослоя на межфазной поверхности с твердыми частицами за счет возникновения молекулярных сил сцепления из-за некомплектности данного слоя.

Дегустаторы также отметили увеличение интенсивности запаха в образцах полуфабриката с сахарным сиропом после 10 мин кавитационной обработки и снижение в образцах полуфабриката с инвертным сиропом после 10 мин кавитационной обработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований установлено повышение вкусо-ароматического профиля кондитерских полуфабрикатов в условиях кавитационного воздействия. Увеличение содержания ароматических веществ в полуфабрикате из тыквы и с инвертным, и с сахарным сиропами происходит при 10 минутах обработки, и увеличение времени обработки нецелесообразно.

Так как кавитация является способом диспергирования сред, поэтому в полуфабрикатах было выявлено снижение содержания крупных частиц (более 150 мкм) и увеличение количества частиц меньшего размера.

Это показывает перспективы применения кавитационных воздействий для пищевых техноло-

гий, в условиях которой получение готовых изделий проходит относительно низких тепловых воздействий, тем самым максимально сохраняются нативные вещества используемого сырья, и положительно изменяются физико-химические и органолептические показатели. Однако для каждого объекта нужно оптимизировать условия кавитационного воздействия с возможным снижением его длительности, что является направлением дальнейших исследований.

Использование прибора «Электронный нос» позволило выявить снижение площади «визуальных отпечатков» запаха, в сравнении с исходными показателями тыквенного пюре приблизительно в 2 раза при добавлении сахарного или инвертного сиропов в тыквенное пюре в соотношении 50:50.

Перспективным направлением дальнейших исследований является определение маркеров ароматических соединений с целью идентификации фруктово-овощной составляющей в кондитерских изделиях.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Татьяна Васильевна Федосенко: проведение исследования; верификация данных; визуализация; создание рукописи и её редактирование.

Лариса Михайловна Аксенова: концептуализация; методология и руководство исследованием.

Михаил Алексеевич Пестерев: проведение исследования; верификация данных; визуализация; ресурсы.

Анна Ивановна Захарова: проведение исследования; ресурсы.

Любовь Карповна Пацюк: проведение исследования; ресурсы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность О.С. Руденко и М.А. Талейснику за консультации и помощь в выполнении исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- Богданова, А.В., Кузнецова, Т.Г., & Иванкин, А.Н. (2012). Наносенсорный анализ летучих компонентов для дифференциации объектов растительного происхождения. *Вестник МГУЛ — Лесной вестник*, 7(90), 107-111.
- Bogdanova, A.V., Kuznetsova, T.G., & Ivankin, A.N. (2012). Nanosensor analysis of volatile components for differentiation of plant origin objects. *Bulletin of MSA — Forestry Bulletin*, 7(90), 107-111. (In Russ.).
- Гаджиева, А.М., Абасова, З.У., & Муртазалиева, З.А. (2020). Инновационные ресурсосберегающие технологии переработки томатного сырья. В *Биотехнологические, экологические и экономические аспекты создания безопасных продуктов питания специализированного назначения: Материалы международной научно-практической конференции* (с. 63-73). Краснодар: Кубанский государственный технологический университет.
- Gadzhieva, A.M., Abasova, Z.U., & Murtazaliev, Z.A. (2020). Innovative resource-saving technologies for processing tomato raw materials. In *Biotechnological, ecological, and economic aspects of creating safe food products of specialized purpose: Materials of the international scientific and practical conference* (pp. 63-73). Krasnodar: Kuban State Technological University.
- Головкова, Д.О., & Динер, Ю.А. (2021). Сенсорная аналитическая система «электронный нос» для анализа качества пищевых продуктов. В *Наука молодых — будущее России: сборник научных статей 6-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых* (т. 4, с. 153-155). Юго-Западный государственный университет.
- Golovkova, D.O., & Diner, Y.A. (2021). Sensory analytical system “electronic nose” for analysis of food product quality. In *Science of the Young — the Future of Russia: Collection of Scientific Articles of the 6th International Scientific Conference on Prospective Developments of Youth* (vol. 4, pp. 153-155). Southwest State University.
- Донченко, Л.В., & Кондратенко, В.В. (1998). Изменение содержания пектиновых веществ тыквы при созревании и хранении. *Известия вузов. Пищевая технология*, 1, 83-84.
- Donchenko, L.V., & Kondratenko, V.V. (1998). Changes in the content of pectin substances in pumpkin during ripening and storage. *Proceedings of universities. Food Technology*, 1, 83-84.
- Козырев, И.А., Батаева, Д.С., & Насонова, В.В. (2021). Мультисенсорная система «электронный нос» для определения качества мясных продуктов в процессе хранения. *Пищевые системы*, 4, 142-147. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-142-147>
- Kozyrev, I.A., Bataeva, D.S., & Nasonova, V.V. (2021). Multisensory system “electronic nose” for determining the quality of meat products during storage. *Food Systems*, 4, 142-147. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-142-147>
- Кондратенко, В.В., & Кондратенко, Т.Ю. (2019). Особенности формирования сорбционных свойств пектиновых веществ из разных видов тыквы. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 7, 5-12.
- Kondratenko, V.V., & Kondratenko, T.Yu. (2019). Features of the formation of sorption properties of pectin substances from different types of pumpkin. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 7, 5-12.
- Лодыгин, А.Д., & Давыденко, Н.И. (2019). Разработка технологии мучного кондитерского изделия с использованием плодов тыквы. *Пищевая индустрия*, 2, 40.
- Lodygin, A.D., & Davydenko, N.I. (2019). Development of technology for flour confectionery product using pumpkin fruits. *Food Industry*, 2, 40.
- Овсепян, В., & Худавердян, О. (2019). Изменение и содержание аскорбиновой кислоты в некоторых овощах при хранении и переработке. *Sciences of Europe*, 1(39), 3-6.
- Ovsepyan, V., & Khudaverdyan, O. (2019). Changes in the content of ascorbic acid in some vegetables during storage and processing. *Sciences of Europe*, 1(39), 3-6.
- Потороко, И.Ю., & Цирульниченко, Л.А. (2014). Формирование сенсорных характеристик пищевых продуктов под воздействием эффектов сонохимии. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 2(2), 27-34.
- Potoroko, I.Yu., & Tsurulnichenko, L.A. (2014). Formation of sensory characteristics of food products under the influence of sonochemistry effects. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 2(2), 27-34.
- Никитина, С.Ю., Кучменко, Т.А., Рудаков, О.Б., & Дроздова, Е.В. (2015). Применение методики «Электронный нос» для оценки качества пищевого этанола. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*, (1), 26-35.
- Nikitina, S.Yu., Kuchmenko, T.A., Rudakov, O.B., & Drozdova, E.V. (2015). Application of the “Electronic Nose” technique for assessing the quality of food ethanol. *Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, (1), 26-35.
- Табаторович, А.Н. (2018). Характеристика фруктовых и овощных пюре-полуфабрикатов для кондитерских изделий. Качество продукции, технологий и образования. *Материалы XIII Международной научно-практической конференции* (с. 145-153). Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
- Tabatorovich, A.N. (2018). Characteristics of fruit and vegetable puree semi-finished products for confectionery products. Product quality, technology, and education.

- Materials of the XIII International scientific and practical conference* (pp. 145–153). Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University.
- Чернуха, И.М., Кузнецова, Т.Г., Анисимова, И.Г., & Богданова, А.В. (2011). Сенсорные аналитические системы «электронный нос» для совершенствования контроля качества мясного сырья. *Пищевая промышленность*, (4). Chernukha, I.M., Kuznetsova, T.G., Anisimova, I.G., & Bogdanova, A.V. (2011). Sensory analytical systems “electronic nose” for improving the quality control of meat raw materials. *Food Industry*, (4).
- Чеснокова, Н.Ю., Кузнецова, А.А., & Кушнаренко, Л.В. (2023). Влияние условий извлечения на экстрагирование антоцианов из ягодного сырья. *Вестник КрасГАУ*, (8), 218–226. Chesnokova, N.Yu., Kuznetsova, A.A., & Kushnarenko, L.V. (2023). Influence of extraction conditions on the extraction of anthocyanins from berry raw materials. *Bulletin of KrasGAU*, (8), 218–226.
- Askarniya, Z., Sun, X., Wang, Z., & Boczkaj, G. (2023). Cavitation-based technologies for pretreatment and processing of food wastes: Major applications and mechanisms — A review. *Chemical Engineering Journal*, 454, 140388. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.140388>
- Blake, F.G. (1949). *The onset of cavitation in liquids*. Harvard University.
- Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., & Sharanagat, V. S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105293. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293>
- Carrillo-Lopez, L. M., Garcia-Galicia, I. A., Tirado-Gallegos, J. M., Sanchez-Vega, R., Huerta-Jimenez, M., Ashokkumar, M., & Alarcon-Rojo, A. D. (2021). Recent advances in the application of ultrasound in dairy products: Effect on functional, physical, chemical, microbiological and sensory properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105467. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105467>
- Castro-Muñoz, R., Boczkaj G., & Jafari S. M. (2023). The role of hydrodynamic cavitation in tuning physicochemical properties of food items: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 134, 192–206. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.03.010>
- Ciriminna R., Scurria A., Pagliaro M. (2023). Natural product extraction via hydrodynamic cavitation. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 33, 101083. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25391.82088/2>
- Dunchenko N., Olga K, Elena V, Svetlana K, Kermen M, Arina O, & Anandan S. (2023). Influence of acoustic cavitation on physico-chemical, organoleptic indicators and microstructure of Adyghe cheese produced from cow and goat milk. *Ultrasonics Sonochemistry*, 98(6), 106493. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106493>
- Lee, H., & Feng, H. (2011). Effect of power ultrasound on food quality. In *Food Engineering Series (Food Engineering Series)* (pp. 559–582). https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7472-3_22
- Neppiras, E.A. (1980). Acoustic cavitation thresholds and cyclic processes. *Ultrasonics*, 18, 201–209. [https://doi.org/10.1016/0041-624X\(80\)90120-1](https://doi.org/10.1016/0041-624X(80)90120-1)
- Roldán-Gutiérrez, J. M., Ruiz-Jiménez, J., & Luque de Castro, M. D. (2008). Ultrasound-assisted dynamic extraction of valuable compounds from aromatic plants and flowers as compared with steam distillation and superheated liquid extraction. *Talanta*, 5, 1369–1375. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.01.057>
- Tang, J., Zhu, X., Jambrak, A. R., Sun, D. W., & Tiwari, B. K. (2023). Mechanistic and synergistic aspects of ultrasonics and hydrodynamic cavitation for food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–22. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0418-1>
- Xia, T., Shi, S., & Wan, X. (2006). Impact of ultrasonic-assisted extraction on the chemical and sensory quality of tea infusion. *Journal of Food Engineering*, 74(4), 557–560. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.043>

Анализ микробиологических показателей сырого молока с использованием химических газовых сенсоров

Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Российская Федерация

А. А. Шуба, Е. П. Анохина, Р. У. Умарханов, Е. В. Богданова, И. Ю. Буракова

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Богданова Е.В.,

E-mail: ek-v-b@yandex.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Шуба, А.А., Анохина, Е.П., Умарханов, Р.У., Богданова, Е.В., & Буракова И.Ю. (2024). Перспективы оценки микробиологических показателей сырого молока с применением химических газовых сенсоров. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(1), 144-159, 144-160. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.559>

ПОСТУПИЛА: 03.08.2023

ПРИНЯТА: 15.03.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена за счет средств гранта РНФ № 22-76-10048 на тему «Разработка поликомпозиционных пьезо-нановесов для технологий мониторинга микробиологической безопасности молока и молочных продуктов» (соглашение от 28.07.2022 г.) в рамках программы «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными.

АННОТАЦИЯ

Введение: Молоко представляет собой сложную смесь жиров, белков, углеводов, витаминов и минеральных веществ в доступной форме, благодаря чему в нем могут быстро развиваться как нативные, так и посторонние микроорганизмы. Поэтому разработка быстрых способов оценки микробиологических показателей молока и молочных продуктов является важной задачей.

Цель: сравнительная оценка микробиологических и физико-химических показателей сырого молока с результатами анализа его газовой фазы с применением массива химических газовых сенсоров для разработки экспрессного способа определения безопасности молока.

Материалы и методы: Эксперимент проводили с образцами сырого молока, полученного в нескольких хозяйствах от коров различных пород. Определяли стандартные физико-химические показатели по ГОСТ (содержание жира, белка, сухих веществ, титруемую кислотность) и микробиологические показатели (КМАФАнМ, содержание дрожжей и плесени) методом посева на питательные среды, а также идентификацию выросших на них микроорганизмов с помощью секвенирования по Сэнгеру с биоинформатическим анализом. Проводили анализ газовой фазы проб молока с помощью пьезокварцевых сенсоров с композитными покрытиями в статическом режиме сорбции с обработкой сигналов методом главных компонент.

Результаты: Определены физико-химические и микробиологические показатели проб сырого молока, а также идентифицированы микроорганизмы и фаза микрофлоры молока из каждого хозяйства. По результатам предварительного тестирования сенсоров в парах летучих соединений установлено, что они характеризуются высокой чувствительностью и различной селективностью к веществам, выделяемым посторонней микрофлорой проб сырого молока. Проведено сопоставление сигналов сенсоров и определенных показателей. Показано, что по форме «визуальных отпечатков» пробы различаются, что соответствует изменениям физико-химических и микробиологических показателей образцов молока.

Выводы: Оценка взаимосвязи результатов анализа газовой фазы проб молока и микробиологических показателей методом главных компонент позволила установить, что с помощью массива химических сенсоров возможно разделение проб молока с различным уровнем бактериальной обсемененности. Это позволяет сократить продолжительность микробиологического анализа посредством замены рутинных методов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

микробиология сырого молока; метаболиты микроорганизмов; химические сенсоры



Analysis of Microbiological Indicators of Raw Milk Using Chemical Gas Sensors

Voronezh State University
of Engineering Technologies, Voronezh,
Russian Federation

A. A. Shuba, E.P. Anokhina, R. U. Umarkhanov, E.V. Bogdanova,
I. Yu. Burakova

CORRESPONDENCE:

Bogdanova E.V.

E-mail: ek-v-b@yandex.ru

DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

FOR CITATIONS:

Shuba, A., Anokhina, E., Umarkhanov, R., Bogdanova, E., & Burakova, I. (2024). Analysis of Microbiological Indicators of Raw Milk Using Chemical Gas Sensors. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(1), 144-160. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.559>

RECEIVED: 03.08.2023

ACCEPTED: 15.03.2024

PUBLISHED: 30.03.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FUNDING

The work was carried out with the support of the Russian Science Foundation grant No. 22-76-10048 on the topic «Development of polycomposite piezonanoscopes for technologies monitoring microbiological safety of milk and dairy products» (agreement dated 28.07.2022), within the framework of the program «Conducting research by scientific groups under the guidance of young scientists» of the Presidential program of research projects implemented by leading scientists, including young scientists.

ABSTRACT

Introduction: Milk is a complex mixture of fats, proteins, carbohydrates, vitamins and minerals in an accessible form, due to which both native and pathogen microorganisms can rapidly grow in it. Therefore, the development of rapid methods for assessing the microbiological parameters of milk and dairy products is an important task.

Purpose: comparative evaluation of microbiological and physicochemical indicators of raw milk with the results of gas phase analysis over it using an array of chemical gas sensors to develop an express method for determination of its safety.

Materials and Methods: The experiment was carried out with samples of raw milk obtained in several farms from cows of various breeds. Standard physicochemical indicators were determined according to GOST (fat, protein, dry solids amount, titratable acidity) and microbiological indicators (QMAFAnM, yeast and mold concentration) by inoculation on nutrient media, as well as identification of microorganisms grown on them using Sanger sequencing with bioinformatics analysis. The gas phase of milk samples was analyzed using piezoelectric quartz sensors with composite coatings in a static sorption mode with signal processing by the principal component analysis.

Results: Physico-chemical and microbiological parameters of raw milk samples were determined, and microorganisms and the microflora phase of milk from each farm were identified. Based on the results of preliminary testing of the sensors in vapors of volatile compounds, it was established that they are characterized by high sensitivity and varying selectivity to substances emitted by microflora of raw milk samples. A comparison of sensor signals and standard indicators was carried out. It is shown that the samples differ in the shape of their “visual prints,” which corresponds to changes in the physicochemical and microbiological indicators of milk samples.

Conclusion: An assessment of the relationship between the results of the gas phase analysis of milk samples and their microbiological indicators using the principal component analysis allowed to establish that using an array of chemical sensors it is possible to separate milk samples with different levels of bacterial contamination. It reduces microbiological analysis time by replacing routine methods.

KEYWORDS

microbiology of raw milk; microorganisms' metabolites; chemical sensors



ВВЕДЕНИЕ

Молоко и молочные продукты входят в список Доктрины продовольственной безопасности¹ и имеют первостепенное значение в рационе питания населения, поскольку они содержат макро- и микрокомпоненты, рекомендуемые к потреблению различными возрастными группами людей. Молоко представляет собой сложную смесь жиров, белков, углеводов, витаминов и минеральных веществ, пригодную для питания детей, в том числе с раннего возраста. При этом молочные белки являются биологически полноценными и легко усваиваемыми относительно большинства других белков животного происхождения (перевариваемость составляет 96–98 %) (Guetouache, et al., 2014; Пономарев с соавт., 2018). Кроме того, молочный жир достаточно хорошо усваивается в организме человека благодаря относительно низкой температуре плавления (28–33 °С), а также нахождению его в молоке в тонко диспергированном виде (перевариваемость составляет 97–99 %).

Молоко, поступающее в организм человека, служит также источником минеральных веществ, которые поддерживают кислотно-щелочное равновесие в тканях и осмотическое давление крови, а также способствуют нормальной физиологической деятельности организма. Особенно следует отметить высокое содержание в молоке и молочных продуктах кальция и фосфора, выполняющих ряд важных функций в организме человека. Эти элементы находятся в молоке в соотношении 1,2–1,3:1, что обуславливает их сравнительно высокую усвояемость. Около 80 % суточной потребности человека в кальции удовлетворяется за счёт молока и молочных продуктов². Кроме того, молоко содержит практически все витамины, необходимые для нормального развития новорождённого в первые недели его жизни. Большинство витаминов (и провитаминов) поступает в организм животного с кормом и синтезируется микрофлорой рубца. В частности, в молоке содержится свободный тиамин (50–70 % от всего количества), а также фосфолированный и связанный с белком, рибофлавин, аскорбиновая кислота и жирорастворимые витамины в неактивной форме (в виде провитаминов).

В то же время присутствие в молоке большого количества макро- и микрокомпонентов в качестве доступных источников углерода и энергии, а также высокая активность воды обуславливает быстрое развитие в нем нативных и посторонних микроорганизмов (Ouamba, et al., 2022; Soumitra & Shanker, 2017). Сырое молоко, полученное от здоровых животных, при доении характеризуется достаточно низкой микробной обсемененностью (Kumar, et al., 2020). Общее содержание бактерий в молоке может увеличиться вследствие неблагоприятных санитарно-гигиенических условий получения и хранения молока, повышенной температуры его хранения и транспортирования.

В соответствии с российским законодательством (ГОСТ 52054–2003, ГОСТ 31449–2013) в сыром молоке не реже 1 раза в неделю необходимо контролировать содержание соматических клеток и бактериальную обсемененность. Для учета количества соматических клеток в молоке наиболее быстрыми и легко выполняемыми являются визуальный метод по изменению вязкости и метод с применением капиллярного вискозиметра (ГОСТ 23453–2014). Общую бактериальную обсемененность рекомендуется определять по редуктазной пробе или путем посева на твердую питательную среду предварительного подготовленного разведения сырого молока (ГОСТ 32901–2014). Однако, редуктазная проба характеризует лишь примерное содержание микроорганизмов в 1 см³, в то время как посевы на стерильных чашках Петри трудоемки и требуют достаточно много времени (обнаружение и идентификация микроорганизмов, как правило, происходит через 24–72 ч). Единственным достаточно быстрым методом определения общей бактериальной обсемененности молока является турбидофлуориметрический (ГОСТ 34472–2018), однако он не позволяет дифференцировать микроорганизмы и имеет широкий предел воспроизводимости.

В последние годы активно развиваются методы ускоренного обнаружения и мониторинга посторонних микроорганизмов в сырье, полуфабрикатах и готовом продукте. Эти методы могут быть как прямыми, основанными на определении состава внутриклеточных соединений и компонентов

¹ Минсельхоз РФ (2020). Указ Президента РФ «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности РФ до 2030 года». ФГБНУ «Росинформагротех», 26 с.

² Тёпел, А. (2012). *Химия и физика молока*. СПб.: Профессия.

клеточной стенки микроорганизмов, например, по строению ДНК их клеток с помощью полимеразной цепной реакции (Holeva et al., 2019; Patil-Joshi et al., 2021) или петлевой изотермической амплификации нуклеиновых кислот (He et al., 2019; Srivastava & Prasad, 2023), по биолюминесценции образующегося АТФ (Liu et al., 2023; Zhang et al., 2022), так и косвенными, основанными на распознавании продуктов метаболизма различных микроорганизмов с использованием сенсоров (Ghafouri et al., 2023; Li et al., 2021; Ropero-Vega et al., 2021).

При использовании сенсоров для оценки наличия посторонних микроорганизмов и их количественного определения в молоке показана взаимосвязь между относительными сигналами сенсора и ростом количества бактерий в пробе при различных условиях хранения (холодильник, комнатная температура) и технологических режимах (Kalit et al., 2014, Korel & Balaban, 2002, Yang & Wei, 2021, Carrillo-Gómez et al., 2021). Однако в данных работах исследовали мониторинг изменений в одной пробе молока и по отношению к неконтаминированной пробе наблюдалось увеличение сигнала. В настоящий момент доказано, что состав летучих соединений молока может варьироваться в зависимости от физико-химических показателей и сезонности (Nalepa et al., 2018), следовательно, данные подходы еще не могут быть применимы для оценки микробиологических показателей сырого молока на заводах.

В работах по определению общей обсемененности молока (Yang & Wei, 2021) не ясен механизм взаимосвязи состава летучих соединений и сигналов сенсоров, так как обработка данных сенсоров основана на применении искусственных нейронных сетей, которые строят нелинейные модели и не оценивают степень взаимосвязи выходных данных сенсоров и количества микроорганизмов. Кроме этого, выборка проб была небольшой (14 проб), в которую вошли как сырое, так пастеризованное и ультрапастеризованное молоко, что может дополнительно приводить к погрешностям при апробации модели, так как показано, что при пастеризации меняется газовый состав молока, не только за счет уменьшения количества микроорганизмов, но и за счет изменения дисперсности жировой фракции в составе молока (Reis et al., 2020).

Определение патогенных микроорганизмов (Korel & Balaban, 2002, Núñez-Carmona et al. 2009, Carrillo-Gómez et al., 2021) проводилось в пробах пастеризованного молока или искусственно созданных стандартов с заданным составом, в которых присутствие других микроорганизмов минимально и не может быть применимо к анализу сырого молока. Следовательно, на данный момент не установлена взаимосвязь между газовым составом сырого молока и сигналами сенсоров с микробиологическими показателями, а также не оценена возможность влияния видового состава микрофлоры молока на выходные данные сенсоров, значимые для оценки бактериальной обсемененности.

Цель данного исследования — сравнительная оценка микробиологических и физико-химических показателей сырого молока с результатами анализа его газовой фазы с применением массива химических газовых сенсоров для разработки экспрессного способа определения безопасности.

Для достижения поставленной цели было необходимо получить ответы на следующие исследовательские вопросы:

- (1) Отвечают ли требованиям нормативной документации физико-химические и микробиологические показатели исследованных проб сырого молока и какие основные виды микроорганизмов входят в состав их микрофлоры?
- (2) Применимы ли композитные покрытия пьезокварцевых резонаторов для анализа газовой фазы проб сырого молока?

Гипотеза исследования: в сыром коровьем молоке существовала взаимосвязь между содержанием легколетучих биомаркеров, выделяемых присутствующей в нем микрофлорой, и основными микробиологическими и физико-химическими показателями анализируемой пробы.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

В процессе жизнедеятельности микроорганизмов образуется большое количество химических соединений — первичных и вторичных метаболитов. Продуктами обмена веществ являются разнообразные летучие соединения (кислоты, кетоны, альдегиды, эфиры, фенольные и гетероциклические со-

единения), так называемые летучие биомаркеры, некоторые из которых зависят от питательной среды, а некоторые являются уникальными для вида микроорганизмов (Al-Attabi et al., 2021; Biçer et al., 2021; Lu et al., 2013; Rubio-Sánchez et al., 2024). Их концентрация пропорциональна количеству микробных клеток, выделяющих такие летучие вещества. Поэтому применение этого показателя в качестве аналитического сигнала позволяет разрабатывать новые методы экспресс-контроля микробиологической безопасности молока и молочных продуктов.

В мировом сообществе ведутся разработки по применению массивов сенсоров, как газовых, так и жидкостных, для количественного определения микроорганизмов в пищевых продуктах (Bonah et al., 2020), в том числе молочных продуктах (Poghossian et al., 2019). В основном они посвящены разработке способов оценки срока хранения или порчи продуктов при нарушении условий хранения (Hussain et al., 2016; Kalit et al., 2014, Phukkaphan et al., 2021). В этих работах оценивается качество и хранение, как правило, пастеризованного молока или других готовых молочных продуктов.

Встречаются единичные работы по применению массивов газовых сенсоров для оценки общей бактериальной обсемененности молока с применением сложных математических алгоритмов обработки данных (Yang & Wei, 2021). Кроме того, в настоящее время с помощью газовых сенсоров предлагают качественное и количественное определение некоторых патогенных микроорганизмов в молоке, таких как *Campylobacter jejuni* (Núñez-Carmona et al. 2009) *Pseudomonas fluorescens* or *Bacillus coagulans* (Korel & Balaban, 2002), *E. coli* or *Enterobacteriaceae* (Carrillo-Gómez et al., 2021).

В основном для определения количества микроорганизмов используются металлоксидные сенсоры и их массивы (Núñez-Carmona et al. 2009, Carrillo-Gómez et al., 2021), но встречаются работы с применением других типов сенсоров: на проводящих полимерах, одностенных углеродных нанотрубках, пьезогравиметрических и др. (Hussain et al., 2016; Kalit et al., 2014, Poghossian et al., 2019, Phukkaphan et al., 2021). При этом важную роль играет математическая обработка выходных данных сенсоров, которая позволяет для косвенных методов получать градуировочные зависимости или математи-

ческие образы для распознавания определенных видов микроорганизмов (Poghossian et al., 2019, Bonah et al., 2020, Carrillo-Gómez et al., 2021).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Эксперимент проводили с 14 образцами сырого коровьего молока, полученного в хозяйствах Воронежской области от коров различных пород в период с марта по июль 2023 г. После доения каждая проба была сразу же охлаждена до температуры $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$ и доставлена в лабораторию. Продолжительность хранения образцов с момента дойки до анализа микробиологических и физико-химических показателей не превышала 3 ч.

Материалы

Реактивы для анализа физико-химических показателей

При определении массовой доли жира в пробах сырого молока использовали серную кислоту (ХЧ, АО «Вектон», Россия), из которой готовили водный раствор плотностью $1810\text{--}1820\text{ кг/м}^3$, а также изоамиловый спирт (ЧДА, АО «Вектон», Россия). Для анализа массовой доли белка в образцах применяли формалин технический (АО «Химреактивснаб», Россия) и фенолфталеин (АО «ЛенРеактив», Россия), из которого готовили спиртовой раствор с массовой долей 2 %. Титруемую кислотность проб сырого молока определяли с помощью раствора гидроксида натрия концентрацией $0,1\text{ моль/дм}^3$, полученного из стандарт-титра (ООО «ЭКРОСХИМ», Россия).

Питательные среды для микробиологических посевов

Посевы присутствующих в пробе микроорганизмов осуществляли с применением сухой питательной среды для определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, дрожжей и плесневых грибов — питательной среды № 2 ГРМ (Сабура) (ФБУН ГНЦ ПМБ, Россия).

Праймеры для секвенирования

Для выделения ДНК присутствующей микрофлоры применяли коммерческий набор «Проба-ГС» (ООО

«ДНК-Технология», Россия) согласно инструкции производителя. Амплификацию бактерий проводили с помощью коммерческого микса 5X ScreenMix-NS (ЗАО «Евроген», Россия) и универсального бактериального праймера, плесневых грибов — универсального грибного праймера. Последовательности праймеров представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Последовательности праймеров

Название праймера	Последовательность 5' – 3'
ITS1	TCC GTA GGT GAA CCT GCG G
ITS4	TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC
337F	GAC TCC TAC GGG AGG CWG CAG
1100R	GGG TTG CGC TCG TTG

Продукты амплификации очищали от агарозного геля с использованием коммерческого набора «Cleanup Standard» (ЗАО «Евроген», Россия) согласно протоколу производителя. Непосредственно перед секвенированием проводили окончательную очистку полученных продуктов амплификации с использованием коммерческого реагента BigDye X Terminator™ Purification Kit («Thermo Scientific», США) согласно протоколу производителя.

Модификаторы пьезокварцевых резонаторов

В качестве сорбентов для формирования сорбционных пленок и композитных покрытий на поверхности электродов пьезокварцевых резонаторов (ПКР) с базовой частотой колебания 14,0 МГц использовали вещества различной природы. Растворители сорбционных фаз (толуол, этанол, ацетон) применяли классификации ЧДА (ООО «АО РеаХим», Россия). Все хроматографические фазы приобретены в фирме «Alfa Aesar», США; хитозан (ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, лаборатория проф. Варламова В.П.), концентрат мицеллярного казеина (КМК) (АО «Молвест»), холина хлорид, ди-гидрокверцетин, сорбит, эритрит (Shandong, Китай). Электроды пьезокварцевых резонаторов предварительно обезжиривали растворителем (ацетон), высушивали в сушильном шкафу и далее наносили покрытия. Композитные покрытия формировали из смеси растворов сорбентов в соотношении по массе 1:1 методом напыления с предварительной фильтрацией размера частиц дисперсной си-

стемы или капле раствора через насадку распылителя (Шуба с соавт., 2023). Массу полученных покрытий рассчитывали по уравнению Зауэрбрея (Sayerbrey, 1964), которая в зависимости от природы сорбента составила от 4 до 25 мкг.

Тест-вещества для оценки характеристик сорбционных покрытий

Выбраны различные классы летучих органических соединений, которые присутствуют в газовой фазе над пробами молока: спирты (этанол, бутанол, изобутанол, изопентанол), кетоны (ацетон, бутанон-2), этилацетат, ацетальдегид, карбоновые кислоты (муравьиная, уксусная, масляная), вода. (ч.д.а. ООО «Реахим»). Эти соединения, согласно литературным данным, являются метаболитами патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, которые могут присутствовать в пробах сырого молока (Heng et al., 2023; Hettinga et al., 2008; Huanhuan et al., 2022; Iacumin & Comi, 2021; Lepe-Balsalobre et al., 2022).

Оборудование

Экспериментальные исследования проводили с применением оборудования лабораторий ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»: сушильного шкафа Binder ED 53 (BINDER Inc., Германия), центрифуги лабораторной «ОКА» (ОАО «Ветзоотехника», Россия), бокса ультрафиолетового УФ-1 (ООО «Проинтех», Россия), термостата суховоздушного MIR-162 (Sanyo, Япония), автоклава вертикального MLS-3020U (Sanyo, Япония), генетического анализатора НАНОФОР 05 (научно-производственная компания «Синтол», Россия), прибора для анализа газов и паров «МАГ-8» (ООО «Сенсорика — Новые Технологии», Россия).

Инструменты

Обработку выходных данных сенсоров осуществляли в специальном программном обеспечении прибора «МАГ-8» (Kuchmenko et al., 2021), в котором в режиме реального времени с частотой 1 с записывались выходные данные каждого сенсора — в виде графика (хроночастотограммы), определялись максимальные изменения сигналов сенсоров за время

измерения — аналитические сигналы ($\Delta F_{\max,i}$, Гц), рассчитывалась площадь «визуальных отпечатков» сигналов сенсоров ($S_{в.о.}$, Гц·с). Хроматограммы, полученные в результате секвенирования, обрабатывали с помощью программы «Chromas» (Technelysium Pty Ltd, Австралия). Идентификацию последовательностей проводили с использованием программы «Basic Local Alignment Search Tool» (Blast, США).

Методы

Анализ стандартных физико-химических и микробиологических показателей

Массовую долю сухих веществ в пробах сырого молока определяли ускоренным методом высушивания навески до постоянной массы при температуре $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ (ГОСТ Р 54668–2011), массовую долю жира — кислотным методом Гербера (ГОСТ 5867–90), массовую долю белка — формольным титрованием (ГОСТ 25179–2014), плотность — ареометрическим методом (ГОСТ Р 54758–2011), титруемую кислотность — индикаторным методом по изменению окраски фенолфталеина в точке эквивалентности при титровании (ГОСТ Р 54669–2011), группу чистоты — с помощью фильтрования пробы молока и визуальной оценки фильтра после высушивания (ГОСТ 8218–89), КМАФАнМ, дрожжи и плесени — посредством микробиологической инокуляции на универсальных питательных средах (ГОСТ 32901–2014, ГОСТ 33566–2015).

Секвенирование по Сэнгеру и биоинформатический анализ

Из чистых культур микроорганизмов, полученных после посевов на питательных средах разведений нескольких образцов сырого молока, была выделена ДНК с последующей амплификацией. Условия для ее проведения: начальная денатурация при 94°C 4 мин; затем 39 циклов (общая денатурация при 94°C 20 с; отжиг праймеров при 54°C 30 с; элонгация при 72°C 50 с).

Последующую визуализацию полученных продуктов амплификации проводили с помощью метода гель-электрофореза в 2% агарозном геле в 1хтрис-ацетатном буфере. Далее продукты амплификации были механически вырезаны из агарозного геля для последующей очистки. Затем

с продуктами ПЦР проводилась сиквенсная амплификация с использованием ITS4 и 1100R праймеров и реакционной смеси Quantum Dye Terminator Cycle Sequencing Kit v3.1 (Thermo Scientific, США) согласно инструкции производителя. Протокол амплификации: начальная денатурация при 96°C 1 мин; затем 25 циклов (общая денатурация при 96°C 10 с; отжиг праймеров при 50°C 5 с; элонгация при 60°C 4 мин).

После продукты амплификации очищали, проводили их секвенирование и анализ полученных последовательностей для нахождения сходства с имеющимися в базах данных.

Анализ газовой фазы проб молока с помощью сенсоров

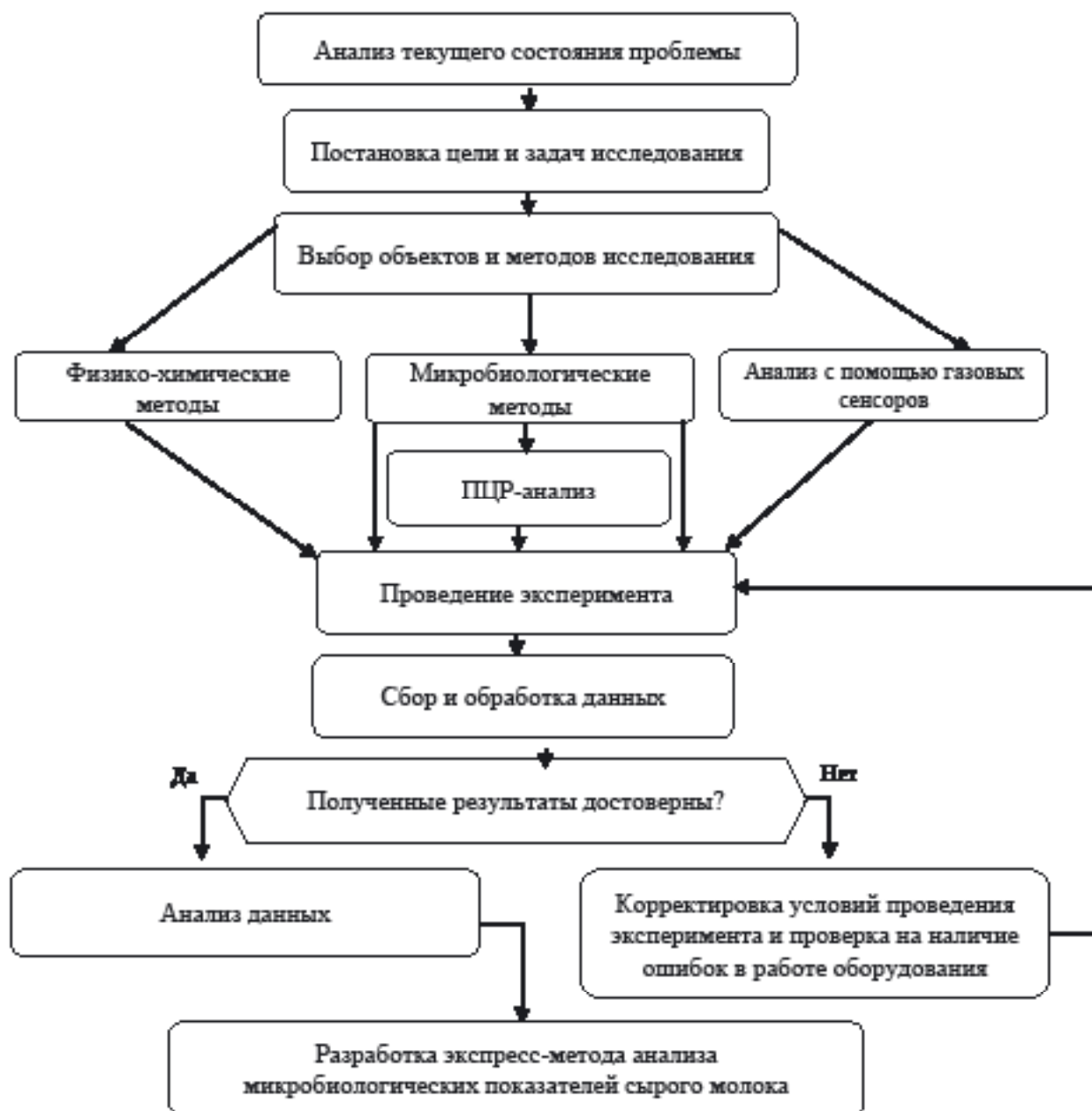
Исследование сорбции летучих соединений проводилось на приборе «МАГ-8» с пьезокварцевыми датчиками и инжекторным вводом газовой фазы в ячейку детектирования (Kuchmenko et al., 2022). Равновесная газовая фаза объемом 3 см^3 над образцом сырого молока объемом 20 см^3 , помещенным в стерильную, плотно закрывающуюся тару, отбиралась стерильным герметичным шприцем и вводилась в патрубок для ввода пробы. Время измерения сорбции паров равновесной газовой фазы над чистыми соединениями или образцами сырого молока составило 80 с. Перед исследованием газовой фазы над пробами молока аналогично проводили анализ равновесной газовой фазы над чистыми летучими соединениями (тест-веществами). Во время исследования проб сырого молока в течение дня по обоснованному ранее алгоритму (Shuba et al., 2021) проводили измерение газовой фазы над дистиллированной водой, как основного компонента молока. Эффективность сорбции летучих соединений полученными покрытиями оценивали по величинам удельной массовой чувствительности ($S_m^{уд}$, Гц·см³/мкг²) и коэффициента селективности ($K_{уд}$) (Шуба с соавт., 2023).

Процедура исследования

Методологическая схема проведения исследований приведена на Рисунке 1.

Рисунок 1

Дизайн эксперимента



Анализ данных

Каждый показатель был измерен не менее 5–10 раз в трехкратной последовательности. Расчеты проводились методами математической статистики с использованием программного обеспечения Statistica (StatSoft, США). Ограничениями экспериментальных исследований были ошибки и неопределенности используемых методов анализа.

Нормальное распределение переменных по каждому показателю было определено с использованием критерия Шапиро-Уилка. Полученные результаты выражены как среднее $\pm$ стандартное отклонение и медиана (минимальное значение ~ максимальное значение) для данных с нормальным и ненормальным распределением соответственно. Доверительный интервал — $P > 0,95$ при условии, что рассчитанные величины были значимыми.

Для визуализации данных сенсоров строили «визуальные отпечатки» аналитических сигналов сенсоров, которые позволяют проводить визуальное сравнение проб между собой. Также для оценки тонких различий в составе газовой фазы над пробами молока и компенсации возможного дрейфа сенсоров при эксплуатации в различных условиях рассчитывали относительные сигналы сенсоров путем деления сигнала сенсора для пробы молока на сигнал сенсора при измерении равновесной газовой фазы воды, как стандарта (Shuba et al., 2021). Оценку взаимосвязи между относительными сигналами сенсоров и физико-химическими и микробиологическими характеристиками проб сырого молока проводили методом главных компонент (МГК) (Esbensen et al., 2002). Алгоритм расчета главных компонент — NIPALS, проверку модели ввиду небольшой выборки проводили методом кросс-валидации. Обработку экспериментальных данных, полученных с помощью сенсоров, и расчет их статистических параметров проводили в программе MS Excel (надстройка Chemometrix-Add-in).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Установлены физико-химические и микробиологические показатели проб сырого молока (Таблица 2). Из образцов, полученных из разных хозяйств, были выделены чистые культуры бактерий, дрожжей и плесеней, которые затем были подвергнуты ПЦР-анализу. В результате секвенирования были идентифицированы видовые названия и процент идентичности микроорганизмов, выросших на микробиологических питательных средах. Основные представители микрофлоры образцов сырого молока из различных хозяйств представлены в Таблице 3.

Параллельно был проведен анализ газовой фазы всех проб молока с помощью массива газовых сенсоров для оценки соответствия полученных результатов изученным физико-химическим и микробиологическим показателям. Некоторые характеристики использованных покрытий указаны в Таблицах 4 и 5. По результатам тестирования сенсоров в парах летучих соединений установле-

Таблица 2
Физико-химические и микробиологические показатели образцов сырого молока

Расположение хозяйства	№ пробы	Массовая доля сухих веществ, %	Массовая доля жира, %,	Массовая доля общего белка, %	Титруемая кислотность, °Т	КМАФАнМ, КОЕ/см³	Дрожжи, КОЕ/см³	Плесени, КОЕ/см³
Хохольский район, хозяйство № 1	1	16,02 ± 0,12	7,5 ± 0,3	3,46 ± 0,15	19 ± 0,5	10,0·106	1,0·104	0
	4	15,15 ± 0,14	7,5 ± 0,5	3,26 ± 0,10	15 ± 0,5	3,4·105	0	0
	14	15,07 ± 0,15	6,5 ± 0,3	3,07 ± 0,10	16 ± 0,5	3,9·107	1,0·104	0
Хохольский район, хозяйство № 2	2	12,22 ± 0,13	3,8 ± 0,1	3,74 ± 0,10	20 ± 0,5	4,0·106	1,0·103	6,6·102
	6	11,77 ± 0,11	3,1 ± 0,1	3,30 ± 0,15	19 ± 0,5	5,9·105	6,5·102	9,0·102
	8	12,31 ± 0,12	3,7 ± 0,1	3,10 ± 0,15	18 ± 0,5	9,8·107	8,0·103	60
	11	11,72 ± 0,07	3,4 ± 0,1	1,16 ± 0,10	15 ± 0,5	3,5·107	1,8·103	1,4·103
Репьевский район, хозяйство № 1	3	13,36 ± 0,08	4,8 ± 0,1	3,45 ± 0,10	19 ± 0,5	4,5·106	1,0·103	10
	9	11,41 ± 0,06	3,2 ± 0,1	2,00 ± 0,05	15 ± 0,5	4,8·105	0	10
	13	11,44 ± 0,11	3,6 ± 0,1	2,59 ± 0,15	17 ± 0,5	3,4·106	1,7·104	10
Рамонский район	5	11,63 ± 0,13	3,5 ± 0,1	3,01 ± 0,10	19 ± 0,5	2,4·106	1,5·103	1,6·102
	10	12,14 ± 0,10	4,1 ± 0,1	2,88 ± 0,10	16 ± 0,5	5,7·106	3,4·104	3,0·102
Репьевский район, хозяйство № 2	7	10,83 ± 0,09	3,9 ± 0,1	2,40 ± 0,10	15 ± 0,5	4,6·106	5,7·103	0
	12	10,92 ± 0,09	3,3 ± 0,1	1,35 ± 0,10	11 ± 0,5	2,0·106	2,3·103	10

Таблица 3
Характеристика идентифицированных с помощью ПЦР-анализа микроорганизмов в пробах сырого молока

Расположение хозяйства	Вид микро-организма	Идентифицированное видовое название	% совпадения с базами данных	Спорообра-зование	Патогенность
Хохольский район, хозяйство № 1	Бактерия	<i>Corynebacterium variabile</i>	94,56	Нет	Непатогенный
	Дрожжи	<i>Clavispora lusitaniae</i>	95,18	Есть	Условно-патогенный
Хохольский район, хозяйство № 2	Бактерия	<i>Acinetobacter johnsonii</i>	96,47	Есть	Условно-патогенный
	Бактерия	<i>Pseudomonas helleri</i>	93,26	Нет	Условно-патогенный
Рамонский район	Бактерия	<i>Bacillus thuringiensis</i>	85,92	Есть	Непатогенный для теплокровных
	Бактерия	<i>Uncultured Acinetobacter sp.</i>	93,78	Нет	Малопатогенный
	Дрожжи	<i>[Candida] pseudoglaebosa</i>	99,83	Нет	Малопатогенный
	Дрожжи	<i>Clavispora lusitaniae</i>	97,58	Есть	Условно-патогенный
	Гриб	<i>Geotrichum candidum</i>	99,7	Есть	Патогенный
Репьевский район, хозяйство № 1	Бактерия	<i>Acinetobacter johnsonii</i>	97,87	Есть	Условно-патогенный
	Бактерия	<i>Corynebacterium variabile</i>	98,61	Нет	Непатогенный
	Дрожжи	<i>Trichosporon coremiiforme</i>	100	Есть	Патогенный
	Дрожжи	<i>Rhodotorula dairenensis</i>	99,65	Есть	Патогенный
	Гриб	<i>Schizophyllum commune</i>	99,33	Нет	Условно-патогенный
	Гриб	<i>Aureobasidium melanogenum</i>	99,27	Есть	Патогенный
Репьевский район, хозяйство № 2	Бактерия	<i>Uncultured Acinetobacter sp.</i>	83,2	Нет	Малопатогенный
	Дрожжи	<i>Clavispora lusitaniae</i>	98,03	Есть	Условно-патогенный
	Гриб	<i>Schizophyllum commune</i>	100	Нет	Условно-патогенный
	Гриб	<i>Dothiorella gregaria</i>	98,82	Есть	Патогенный

Таблица 4
Характеристики покрытий сенсоров

Номер сенсора	Состав покрытия	Растворитель	Масса, мкг	Дрейф*, МГц
1	ДЦГ18К6, хитозан	Толуол	28,7	2,58
2	ДГК, хитозан	Этанол	14,7	1,818
3	Хитозан, КМК	Этанол	12,5	1,41
4	Холин, сорбит	Этанол	15,2	-0,736
5	Холин, эритрит, АОК	Этанол	5,29	0,519
6	ПВП, хитозан	Ацетон	12,0	1,123
7	ПЭГ-2000, хитозан	Ацетон	3,41	-0,454
8	Эритрит, АОК	Этанол	7,97	0,945

Примечание. * Оценивали по сдвигу базовой частоты колебания сенсора за 6 мес. активной эксплуатации.

Таблица 5
Массовая удельная чувствительность ($S_m^{уд}$, Гц·см³/мкг²) покрытий сенсоров к парам летучих соединений

№	Покровтие	муравьиная кислота	уксусная	масляная	этанол	бутанол	изобутанол
1	ДЦГ18К6/хитозан	0,09	1,08	26,42	0,14	0,54	2,43
2	ДГК/хитозан	0,85	8,70	1,10	0,18	0,23	2,55
3	Хитозан/КМК	0,29	5,32	5,03	0,11	0,39	0,05
4	Холин+сорбит	0,82	11,25	10,13	0,46	0,34	2,48
5	Холин+эритрит+АОК	0,52	6,54	23,84	0,50	1,17	1,94
6	ПВП/хитозан	0,25	2,60	1,13	0,09	0,09	0,51
7	ПЭГ-2000/хитозан	0,73	13,85	26,95	0,43	1,06	2,61
8	Эритрит+АОК	0,17	1,95	27,81	0,25	0,65	3,61

№	Покровтие	изопентанол	гексанол	ацетон	бутанон-2	ацетальдегид	этилацетат
1	ДЦГ18К6/хитозан	1,70	0,99	0,07	1,55	0,42	0,29
2	ДГК/хитозан	4,04	2,85	0,03	1,77	0,85	1,05
3	Хитозан/КМК	1,26	1,02	0,05	0,24	0,61	0,52
4	Холин+сорбит	3,57	4,16	0,08	1,65	1,93	1,55
5	Холин+эритрит+АОК	7,13	9,27	0,14	3,13	2,06	1,15
6	ПВП/хитозан	0,80	0,98	0,01	0,28	0,21	0,31
7	ПЭГ-2000/хитозан	15,18	7,76	0,20	1,44	2,65	0,20
8	Эритрит+АОК	3,41	2,34	0,08	3,16	0,85	0,62

18К6 – дициклогексан-18-краун-6, ДГК – дигидроокверцетин, КМК – концентрат мицеллярного казеина, ПВП – поливинилпирролидон, АОК – аморфный оксид кремния

но, что они характеризуются различной чувствительностью и селективностью к веществам, выделяемым посторонней микрофлорой проб сырого молока (Рисунок 2).

На Рисунке 3 представлены «визуальные отпечатки» усредненных аналитических сигналов сенсоров для образцов сырого молока, характеризующихся максимальным содержанием микроорганизмов или существенным изменением их соотношения в составе КМАФАнМ (Таблица 2).



Рисунок 3

«Визуальные отпечатки» сигналов сенсоров для некоторых проб сырого молока, Гц

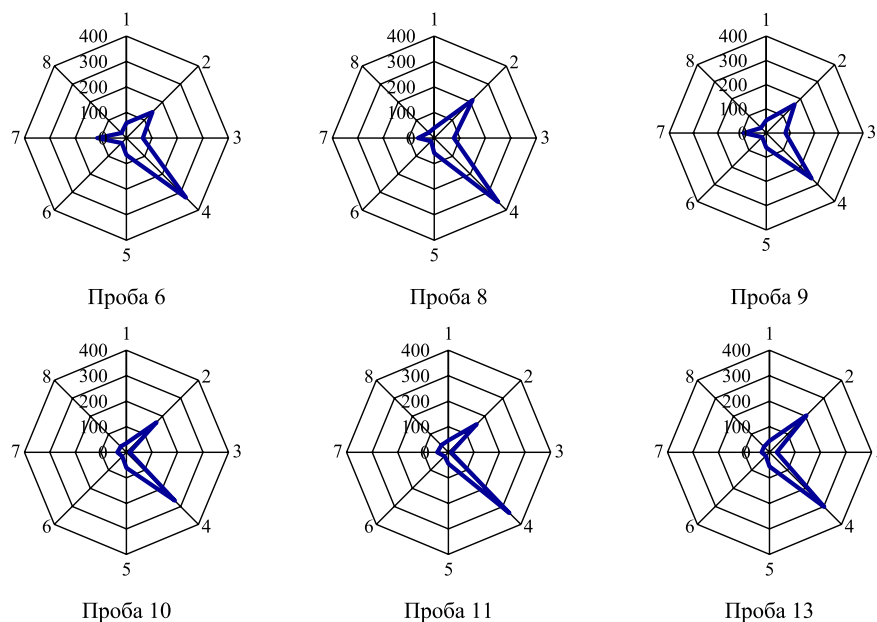
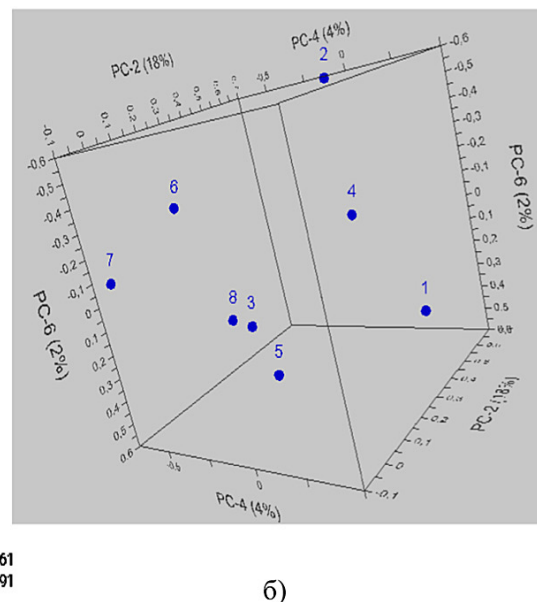
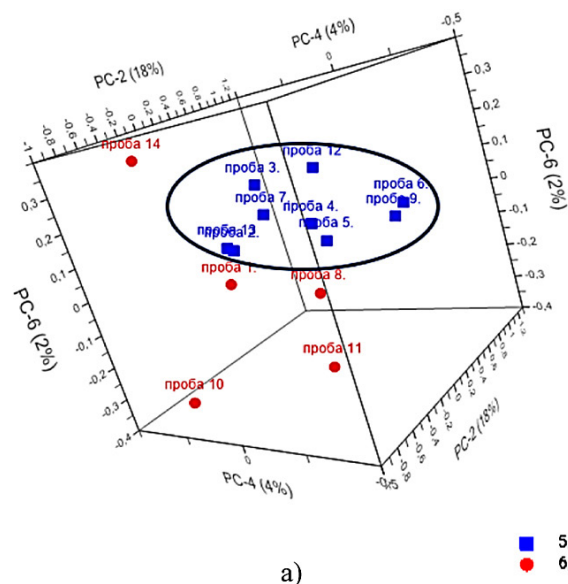


Рисунок 4

График счетов (а) и график нагрузок (б) модели при обработке относительных сигналов сенсоров методом главных компонент



По форме «визуальных отпечатков» пробы различаются, что соответствует изменениям физико-химических и микробиологических показателей этих проб молока. Для одновременной оценки взаимосвязи результатов всех экспериментов применен проекционный метод анализа — метод главных компонент (Рисунок 4).

Все пробы были разделены на две группы (разные маркеры) по значениям $\lg(\text{КМАФАНМ, КОЕ/см}^3)$. По значениям трех главных компонент (PC-2, PC-4, PC-6) можно выделить пробы с крайне высоким содержанием КМАФАНМ.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По величине титруемой кислотности и микробиологическим показателям образцов молока можно сделать вывод, что микрофлора проб № 4, 7, 9 находилась в бактерицидной фазе, в то время как остальные пробы характеризовались фазой смешанной микрофлоры, и, следовательно, большим содержанием легколетучих метаболитов бактерий. При этом соотношение между дрожжами и плесеньями в общем количестве микроорганизмов в пробах было различным, что оказало влияние на качественное содержание летучих веществ в их газовой фазе. Кроме того, низкая массовая доля общего белка в пробах № 10, 11 и 13 с достаточно высокой бактериальной обсемененностью свидетельствует об активном развитии присутствующей микрофлоры и выделении в молоко продуктов своей жизнедеятельности.

По результатам проведенных исследований с применением разработанных газовых сенсоров установлено, что их покрытия характеризуются высокой удельной чувствительностью к парам изопентанола, бутанола-2, ацетальдегида, уксусной и масляной кислоты (Таблица 5), которые по литературным данным являются маркерами таких патогенных микроорганизмов как *E. coli*, *Listeria monocytogenes*, *Clostridium spp.*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* (Afreen et al., 2022; Bekuma & Galmessa, 2018; Boor et al., 2017; Eugster & Jakob, 2019; Huanhuan et al., 2022; Quigley et al., 2013). При этом они обладают разной селективностью к этим маркерам и могут быть обнаружены в газовой фазе над водными растворами. Согласно рис. 2 с помощью сенсора № 1 и № 8 можно обнаружить изопентанол и бутанол-2 в газовой фазе над пробой, с помощью сенсоров № 2, № 3, № 6 — пары уксусной кислоты, с помощью сенсоров № 5, № 7 — пары уксусной кислоты и изопентанола. Таким образом, комбинация сигналов сенсоров позволяет обнаружить эти соединения в газовой фазе над водными растворами или пробами с большим содержанием воды, например, в молоке.

Установлено, что формы «визуальных отпечатков» аналитических сигналов сенсоров для проб № 6 и 9 имеют максимальное сходство (рис. 3), что связано с их близкими значениями таких макрокомпонентов, как массовая доля сухих веществ и массовая доля жира, а также КМАФАнМ (табл. 2). Пробы № 10, 11, 13 по форме «визуальных отпечатков» (Рисунок

3) могут быть также отнесены к одной группе, для которых характерно высокое КМАФАнМ и содержание дрожжей (более 10^5 КОЕ/см³, Таблица 2). Проба № 8 по форме «визуального отпечатка» отличается от всех вышеперечисленных проб, так как характеризуется наибольшим значением КМАФАнМ и содержанием дрожжей.

Пробы № 6, 8 и 12 имеют сходные физико-химические характеристики по содержанию белка, жира и сухих веществ, но при этом существенно различаются по микробиологическому составу. При сравнении форм «визуальных отпечатков» для пробы № 6 по сигналам сенсоров № 2, 3 и 7 характерно меньшее содержание в газовой фазе органических кислот и большее количество изоспиртов по сравнению с другими пробами, что связано с достаточно высоким содержанием дрожжей и плесневых грибов в этом образце. При увеличении дрожжей в пробе сырого молока № 13 по сигналам сенсора № 2 в газовой фазе детектируется увеличение концентрации органических кислот (в основном уксусной кислоты), этанола и уменьшение содержания других летучих соединений. При кратном увеличении в пробе молока КМАФАнМ (проба № 8) наблюдается увеличение сигналов сенсоров № 3, 4 и, следовательно, содержания летучих кислот (уксусной и масляной) и кетонов в газовой фазе над пробой молока по отношению к другим классам летучих соединений. Увеличение кетонов в газовой фазе над пробами молока может также быть связано с естественными изменениями в пробе молока при хранении (Li et al., 2022), а также со степенью дисперсности жировой фракции в составе сырого молока (Reis et al., 2020). Для снижения влияния этих факторов время доставки и анализа проб строго контролировали, и разница в степени дисперсности жировой фракции для сырого молока не превышала 2% от всей массы жира.

При одновременном анализе относительных сигналов сенсоров методом главных компонент, установлено, что можно ранжировать пробы по величине КМАФАнМ. При этом необходимо учитывать комбинации относительных сигналов всех сенсоров для расчета второй (PC-2), четвертой (PC-4) и шестой (PC-6) главной компоненты, в этом случае доля объясненной дисперсии по трем главным компонентам составляет всего 24%. Это обусловлено тем, что максимальные изменения сигналов сенсоров, которые соответствуют первой главной

компоненте, преимущественно связаны с содержанием белка и кислотностью проб молока. Более тонкие различия в составе газовой фазы можно отследить, анализируя старшие главные компоненты (2 и выше). При сопоставлении графика счетов и нагрузок модели по результатам обработки относительных сигналов сенсоров методом главных компонент видно, что для проб с меньшими значениями КМАФАнМ (выделено областью, Рисунок 4) наиболее важными являются относительные сигналы сенсоров с покрытиями № 1, 2, 3, а для проб с большими значениями КМАФАнМ — относительные сигналы сенсоров с покрытиями, № 5, 6, 7. В первом приближении можно предположить на основе величин удельной массовой чувствительности (Таблица 5), что для проб с меньшим содержанием КМАФАнМ наряду с кислотами и спиртами в газовой фазе преобладает изобутанол, этилацетат, и по мере увеличения содержания микроорганизмов повышается массовая доля уксусной кислоты, изопентанола, ацетальдегида, что соответствует по литературным данным тенденции изменения классов летучих соединений в газовой фазе молока при изменении количества микроорганизмов в нем (Chramostová et al., 2016; Galaby et al., 2021; Reis et al., 2020; Wang et al., 2021). При этом данные изменения характерны для проб молока независимо от принадлежности к хозяйству и видового разнообразия микроорганизмов.

Небольшая выборка проб и диапазон варьирования КМАФАнМ (от $3,4 \cdot 10^5$ до $9,8 \cdot 10^7$ КОЕ/см³) ограничивают применение полученных выводов. Кроме того, для увеличения точности и надежности прогнозирования микробиологических показателей необходимо более глубокое изучение влияния компонентов молока (содержания аминокислот, жирных кислот, лактозы) на состав и количество летучих соединений молока при различной бактериальной обсемененности проб, в том числе различными видами условно-патогенных и патогенных микроорганизмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненных исследований проведена сравнительная оценка микробиологических и физико-химических показателей сырого молока с результатами анализа его газовой фазы с применением массива химических газовых сенсоров.

Установлено, что не все пробы отвечают требованиям нормативной документации по физико-химическим и микробиологическим показателям, также идентифицированы виды микроорганизмов, входящие в состав микрофлоры проб молока. С помощью разработанных сенсоров возможно проведение анализа газовой фазы проб сырого молока, поскольку установлено, что по их выходным данным возможно определение летучих веществ в водных растворах.

Полученные данные сенсоров подтвердили гипотезу исследования о взаимосвязи между содержанием легколетучих биомаркеров, выделяемых присутствующей в молоке микрофлорой, и основными микробиологическими и физико-химическими показателями анализируемой пробы. Разработан подход для анализа выходных данных сенсоров, позволяющий ранжировать пробы молока с различной степенью бактериальной обсемененности.

Данный подход может быть принят за основу для разработки экспрессного способа определения КМАФАнМ молока, что позволит в несколько раз сократить продолжительность анализа посредством замены рутинных методов, используемых на предприятиях молочной отрасли. Основными ограничениями данного исследования являются небольшая выборка проб с ограниченным диапазоном варьирования КМАФАнМ (от $3,4 \cdot 10^5$ до $9,8 \cdot 10^7$ КОЕ/см³), а также необходимость более глубокого изучения влияния компонентов молока (содержания аминокислот, жирных кислот, лактозы) на состав и количество летучих соединений молока при различной бактериальной обсемененности проб, в том числе различными видами условно-патогенных и патогенных микроорганизмов.

В дальнейшем для определения более значимых различий в составе газовой фазы над пробами молока и более глубокой его дифференциации в зависимости от содержания и соотношения различных видов микроорганизмов необходимо изучение особенностей кинетики сорбции на покрытиях, расчет дополнительных параметров по информативным участкам выходных кривых сенсоров и составление многомерных паттернов на основе сигналов сенсоров и параметров.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Шуба Анастасия Александровна - методология и концепция исследования; обработка данных методом главных компонент; верификация данных; подготовка черновика и редактирование рукописи.

Анохина Екатерина Петровна - проведение микробиологического исследования проб молока; поиск и систематизация литературных источников.

Умарханов Руслан Умарханович - проведение анализа газовой фазы молока; визуализация.

Богданова Екатерина Викторовна - определение физико-химических показателей проб молока; верификация данных, подготовка черновика и оформление рукописи.

Буракова Инна Юрьевна - проведение молекулярно-генетического анализа проб молока; подготовка черновика рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

- Пономарев, А. Н., Мельникова, Е. И., Богданова, Е. В. (2018). Молочная сыворотка как сырьевой ресурс для производства пищевых ингредиентов. *Молочная промышленность*, 7, 38-39.
- Шуба, А. А., Кучменко, Т. А., & Умарханов, Р. У. (2023). Оценка возможности прогноза и регуляции сорбционных свойств композитных покрытий пьезокварцевых сенсоров. *Сорбционные и хроматографические процессы*, 23(4), 630-641. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2023.23/11571>
- Afreen, A., Ashraf, A., & Chaudhry, A. (2022). Assessment of microbiological quality of raw milk and identification of pathogenic bacteria: microbiological quality of raw milk. *Pakistan BioMedical Journal*, 5(5), 88-93. <https://doi.org/10.54393/pbmj.v5i5.469>
- Al-Attabi, Z. H., Ehsan, S., & Rahman, M. S. (2021). *Quality assessment of milk by sensory and instrument methods*. In M.S. Khan & M. Shafiur Rahman (Eds.), *Techniques to measure food safety and quality*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68636-9_16
- Bekuma, A., & Galmessa, U. (2018). Review on hygienic milk products practice and occurrence of mastitis in cow's milk. *Agricultural Research & Technology: Open Access Journal*, 18(2), e556053. <https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2018.18.556053>
- Biçer, Y., Ezgi Telli, A., Sönmez, G., Telli, N., & Uçar, G. (2021). Comparison of microbiota and volatile organic compounds in milk from different sheep breeds. *Journal of Dairy Science*, 104(12), 12303-12311. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20911>
- Bonah, E., Huang, X., Aheto, J.H., & Osae R. (2020). Application of electronic nose as a non-invasive technique for odor fingerprinting and detection of bacterial foodborne pathogens: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 1977-1990. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04143-4>
- Boor, K. J., Wiedmann, M., Murphy, S., & Alcaine S. (2017). A 100-year review: Microbiology and safety of milk handling. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 9933-9951. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12969>
- Chramostová, J., Hanuš, O., Klimešová, M., Němečková, I., Roubal, P., Kopecký, J., Jedelská, R., & Nejeschlebová, L. (2016). Proteolysis in raw milk in relation to microbiological indicators. *Czech Journal of Food Sciences*, 34(4), 306-312. <https://doi.org/10.17221/64/2016-CJFS>
- Carrillo-Gómez, J. K., Acevedo, C. M. D., & García-Rico, R. O. (2021). Detection of the bacteria concentration level in pasteurized milk by using two different artificial multisensory methods. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 33, 100428. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2021.100428>
- Esbensen, K. H., Guyot, D., Westad, F., & Houmoller, L. P. (2002). *Multivariate data analysis: in practice: an introduction to multivariate data analysis and experimental design*. CAMO AS publ.
- Eugster, E., & Jakob, E. (2019). Pre-treatments of Milk and their Effect on the Food Safety of Cheese. *Milk Science International*, 72(8), 45-52.
- Galaby, S., Maharik, N., & Khalifa, M. I. (2021). Prevalence of some deteriorating microorganisms in raw milk and some locally made cheese. *New Valley Veterinary Journal*, e245155271 <https://doi.org/10.21608/nvj.2021.205838>
- Ghafouri, P., Kasaei, B., Aghili, S., Monirvaghefi, A., Hosseini, A. M., Amoozegar, H., & Mirfendereski, G. (2023). Application of nanobiosensors in detection of pathogenic bacteria: An update. *Research in Biotechnology and Environmental Science*, 2(4), 65-74. <https://doi.org/10.58803/rbes.v2i4.22>
- Guetouache, M., Guessas, B., & Medjekal, S. (2014). Composition and nutritional value of raw milk. *Issues in Biological Sciences and Pharmaceutical Research*, 2(10), 115-122. <http://dx.doi.org/10.15739/ibspr.005>
- He, X. P., Zou, B. J., Qi, X. M., & Yi, Ch. (2019). Methods of isothermal nucleic acid amplification-based microfluidic chips for pathogen microorganism detection. *Yi Chuan*, 41(7), 611-624. <https://doi.org/10.16288/j.ycz.19-051>
- Heng, W. S., Jadhav, S. R., Ueland, M., & Shellie, R. A. (2023). Rapid detection of *Escherichia coli* in dairy milk using static headspace-comprehensive two-dimensional gas chromatography. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 415, 2535-2545 <https://doi.org/10.1007/s00216-022-04485-7>

- Hettinga, K. A., van Valenberg, H. J. F., Lam, T. J. G. M., & van Hooijdonk, A. C. M. (2008). Detection of mastitis pathogens by analysis of volatile bacterial metabolites. *Journal of Dairy Science*, 91(10), 3834–3839. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0941>
- Holeva, M. C., Morán, F., Scuderi, G., González, A., López, M. M. (2019). Development of a real-time PCR method for the specific detection of the novel pear pathogen *Erwinia uzenensis*. *PLOS ONE*, 14 (7), e0219487. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219487>
- Iacumin, L., & Comi G. (2021). A survey of a blown pack spoilage produced by *Clostridium perfringens* in vacuum-packaged wurstel. *Food Microbiology*, (94), e103654. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103654>
- Kennang, A., Gagnon, M., LaPointe, G., Chouinard, Y., & Roy, D. (2022). Graduate Student Literature Review: Farm management practices: Potential microbial sources that determine the microbiota of raw bovine milk. *Journal of Dairy Science*, 105(9). <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21758>.
- Korel, F., & Balaban, M. Ö. (2002). Microbial and sensory assessment of milk with an electronic nose. *Journal of Food Science*, 67(2), 758–764. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb10672.x>
- Kuchmenko, T., Menzhulina, D., & Shuba, A. (2022). Noninvasive detection of bacterial infection in children using piezoelectric e-nose. *Sensors*, 22(21), e8496. <https://doi.org/10.3390/s22218496>
- Kuchmenko, T., Shuba, A., Umarhanov, R., & Chernitskiy, A. (2021). Portable electronic nose for analyzing the smell of nasal secretions in calves: toward noninvasive diagnosis of infectious bronchopneumonia. *Veterinary Sciences*, 8(5), 74. <https://doi.org/10.3390/vetsci8050074>
- Kumar, N., Kumar, V., Waheed, S. M., & Pradhan, D. (2021). Efficacy of reuterin and bacteriocins nisin and pediocin in the preservation of raw milk from dairy farms. *Food Technology & Biotechnology*, 58(4), 359–369. <https://doi.org/10.17113/ftb.58.04.20.6728>
- Lepe-Balsalobre, E., Rubio-Sánchez, R., Ubeda, C. & Lepe, J. A. (2022). Volatile compounds from *in vitro* metabolism of seven *Listeria monocytogenes* isolates belonging to different clonal complexes. *Journal of Medical Microbiology*, 71(6). <https://doi.org/10.1099/jmm.0.001553>
- Li, D., Liu, L., Huang, Q., Tong, T., Zhou, Y., Li, Z., Bai, Q., Liang, H., & Chen, L. (2021). Recent advances on aptamer-based biosensors for detection of pathogenic bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 37(3), e45. <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03002-9>
- Li, H., Geng, W., Zhang, M., He, Z., Haruna, S. A., Ouyang, Q., & Chen, Q. (2022). Qualitative and quantitative analysis of volatile metabolites of foodborne pathogens using colorimetric-bionic sensor coupled robust models. *Microchemical Journal*, 177, e107282. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.107282>
- Li, H., Xi, B., Yang, X., Wang, H., He, X., Li, W., & Gao, Y. (2022). Evaluation of change in quality indices and volatile flavor components in raw milk during refrigerated storage. *LWT*, 165, 113674. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113674>
- Liu, S., Zhao, J., Guo, Y., Ma, X., Sun, C., Cai, M., Chi, Y., & Xu, K. (2022). Application of ATP-based bioluminescence technology in bacterial detection: A review. *Analyst*, 26, 148(15), 3452–3459. <https://doi.org/10.1039/d3an00576c>
- Lu, M., Shiau, Y., Wong, J., Lin, R., Kravis, H., Blackmon, T., Pakzad, T., Jen, T., Cheng, A., Chang, J., Ong, E., Sarfaraz, N., & Sun Wang, N. (2013). Milk spoilage: Methods and practices of detecting milk quality. *Food and Nutrition Sciences*, 4, 113–123. <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2013.47A014>
- Nalepa, B., Olszewska, M. A., & Markiewicz, L. H. (2018). Seasonal variances in bacterial microbiota and volatile organic compounds in raw milk. *International Journal of Food Microbiology*, 267, 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.12.024>
- Patil-Joshi, A., Rangaswamy, B. E., & Apte-Deshpande, A. (2021). Paper-based PCR method development, validation, and application for microbial detection. *Journal of Genetic Engineering & Biotechnology*, 19, e37. <https://doi.org/10.1186/s43141-020-00110-1>
- Poghossian, A., Geissler, H., & Schöning, M. J. (2019). Rapid methods and sensors for milk quality monitoring and spoilage detection. *Biosensors and Bioelectronics*, 140, 111272. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.04.040>
- Quigley, L., O'Sullivan, O., Stanton, C., Beresford, T. P., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F., & Cotter, P. D. (2013). The complex microbiota of raw milk. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(5), 664–698. <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12030>
- Reis, M. G., Harris, P., Berry, C., Nguyen, H., Maclean, P., & Weeks, M. (2020). Tracking changes in volatile components and lipids after homogenisation and thermal processing of milk. *International Dairy Journal*, 103, e104624. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104624>
- Ropero-Vega, J. L., Albiarés-Sánchez, L. J., León-Sánchez, W. R., Valdivieso-Quintero, W., & Flórez-Castillo, J. M. (2022). Detection of pathogenic *E. coli* by electrochemical biosensors based on aptamers designed by bioinformatic tools. *Chemical Engineering Transactions*, 93, 283–288. <https://doi.org/10.3303/CET2293048>
- Rubio-Sánchez, R., Lepe-Balsalobre, E., Ubeda, C., & Lepe-Jiménez, J. A. (2024). Volatile biomarkers of Gram-positive bacteria of clinical relevance as a tool for infection diagnosis. *International Microbiology*. <https://doi.org/10.1007/s10123-024-00511-z>
- Sayerbrey, G. (1964). Messung von plattenschwingungen sehr kleiner amplitude durch lichtstrommodulation. *Zeitschrift Fuer Physik*, 178, 457–471.
- Shuba, A., Kuchmenko, T., & Menzhulina, D. (2021). Drift compensation of the electronic nose in the development of instruments for out-of-laboratory analysis. *Chemistry Proceedings*, 5(1), 68. <https://doi.org/10.3390/CSAC2021-10464>
- Soumitra, B., & Shanker, L. S. (2017). Recent trends in milk processing — A short review. *Approaches in Poultry, Dairy & Veterinary Sciences*, 2(1), e000527. <https://doi.org/10.31031/APDV.2017.02.000527>
- Srivastava P., & Prasad D. (2023). Isothermal nucleic acid amplification and its uses in modern diagnostic technologies. *Biotech*, 13, e200. <https://doi.org/10.1007/s13205-023-03628-6>

- Wang, Y., Nan, X., Zhao, Y., Jiang, Y. L., Wang, M., Wang, H., Zhang, F., Xue, F., Hua, D., Liu, J., Yao, J., & Xiong, B. (2021). Rumen microbiome structure and metabolites activity in dairy cows with clinical and subclinical mastitis. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12, e36. <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00543-1>
- Zastempowska, E., Grajewski, J., & Twarużek, M. (2016). Food-borne pathogens and contaminants in raw milk — A review. *Annals of Animal Science*, 16(3), 623-639. <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0089>