

ISSN 2072-9669

eISSN 2658-767X

№ 3 2023

Хранение и переработка сельхозсырья
Storage and Processing of Farm Products

ХИПС

SPFP

Пищевые системы.
Био- и здоровьесберегающие технологии



ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬХОЗСЫРЬЯ

№ 3 | 2023

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

ISSN 2072–9669

eISSN 2658–767X

УЧРЕДИТЕЛЬ: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)"

РЕДАКЦИЯ

Заведующий редакцией и академический редактор —

Тихонова Елена Викторовна, канд. ист. наук

Выпускающий редактор — Шленская Наталия Марковна

Ответственный секретарь — Косычева Марина Александровна

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

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

- 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки) — с 01.02.2022
- 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки) — с 15.02.2023
- 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры (биологические науки) — с 15.02.2023
- 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры (технические науки) — с 15.02.2023
- 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры сельскохозяйственные науки) — с 15.02.2023
- 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки) — с 15.02.2023
- 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного 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.ru

Сайт учредителя: mgupp.ru

Сайт журнала: spfp-mgupp.ru

© ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», 2023

STORAGE AND PROCESSING OF FARM PRODUCTS

№ 3 | 2023

Periodicity of publication — 4 issues per year
Published since 1993

ISSN 2072–9669

eISSN 2658–767X

FOUNDER: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University

EDITORIAL OFFICE

Head of Editorial Team and Academic Editor —

Elena V. Tikhonova, Candidate of Historical Sciences

Issue Editor — Nataliya M. Shlenskaya

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.ru

Founder website: mgupp.ru

Journal website: spfp-mgupp.ru

© FSBEI HE “Russian Biotechnological University.” (BIOTECH University), 2023

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

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

Члены редакционной коллегии:

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

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

Members of the Editorial Board:

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

Кульнева Надежда Григорьевна	доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный университет инженерных технологий, ngkulneva@yandex.ru
Левшин Александр Григорьевич	доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Эксплуатация машинно-тракторного парка и высоких технологий в растениеводстве», ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева», alev200151@rambler.ru.
Лисицын Александр Николаевич	доктор технических наук, ВНИИ жиров, vniig@vniig.org
Лисицын Андрей Борисович	доктор технических наук академик РАН, ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, info@vniimp.ru
Мелешкина Елена Павловна	доктор технических наук, ВНИИ зерна и продуктов его переработки — филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, mer5@mail.ru
Неверов Евгений Николаевич	доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», neverov42@mail.ru
Никитюк Дмитрий Борисович	доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, профессор. ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», nikitjuk@ion.ru
Никифоров-Никишин Алексей Львович	доктор биологических наук, профессор, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, 9150699@mail.ru
Оганесянц Лев Арсенович	доктор технических наук, академик РАН. ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности — филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, institute@vniinapitkov.ru
Ожерельев Виктор Николаевич	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Брянский государственный аграрный университет, vicoz@bk.ru
Оробинский Владимир Иванович	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, main@agroeng.vsau.ru
Пасынкова Елена Николаевна	доктор биологических наук, Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха, филиал Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства "Белогорка" (Санкт-Петербург), pasynkova.elena@gmail.com
Панфилов Виктор Александрович	доктор технических наук, академик РАН. Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, var@timacad.ru
Петров Андрей Николаевич	доктор технических наук, академик РАН. ВНИИ технологии консервирования — филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, vniitekpetrov@vniitek.ru
Подвигина Ольга Анатольевна	доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова», vniiss@mail.ru
Савина Ольга Васильевна	доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», savina-999@mail.ru
Симоненко Сергей Владимирович	доктор технических наук. НИИ детского питания — филиал ФИЦ питания и биотехнологии, niidp@rambler.ru
Стогниенко Ольга Ивановна	доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова» stogniolga@mail.ru
Титов Евгений Иванович	доктор технических наук, академик РАН. ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», titov@mgupp.ru
Тихомирова Наталья Александровна	доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технологии молока, пробиотических молочных продуктов и сыроделия, «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», tikhomirovaNA@mgupp.ru
Тужилкин Вячеслав Иванович	доктор технических наук, член-корреспондент РАН. ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», titov@mgupp.ru
Тутельян Виктор Александрович	доктор медицинских наук, академик РАН, профессор. ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии», tutelyan@ion.ru
Уша Борис Вениаминович	доктор ветеринарных наук, академик РАН, ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», vet-san-dekanat@yandex.ru
Харитонов Владимир Дмитриевич	доктор технических наук, академик РАН, ВНИИ молочной промышленности, gnu-vnimi@yandex.ru
Храмцов Андрей Георгиевич	доктор технических наук, академик РАН. Северо-Кавказский федеральный университет, hramtsov@nsctu.ru
Щетинин Михаил Павлович	доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», shchetininmihail@mgupp.ru

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

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКТОРА

Е. В. Тихонова

ChatGPT в контексте научной коммуникации 8

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

О. А. Суворов, Л. Г. Ипатова, М. А. Погорелова, Д. А. Песоцкая, М. С. Сафонов, А. Г. Погорелов

Пленки из хитозана: модификация, применение и функционализация электрохимически активированным водным раствором 13

Г. А. Купин, Т. В. Першакова, В. Н. Алешин, Е. С. Семиряжко, Т. В. Яковлева

Разработка алгоритмов повышения лёжкоспособности корнеплодных овощей: обзор предметного поля 28

Л. И. Беляева, М. К. Пружин, А. В. Остапенко, Т. И. Сысоева

Состояние и перспективы совершенствования применения технологических вспомогательных средств в производстве белого свекловичного сахара 43

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

С. А. Соколов, И. Г. Дейнека, А. А. Декань, А. А. Яшонков

Экспериментальная оценка влияния комплексной обработки высоким давлением и ультразвуком на микробиологические показатели жидкого яичного меланжа 59

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ И ПРОДУКЦИИ АПК

М. Л. Зенькова

Медико-биологическая оценка нового консервированного продукта из пророщенного зерна пшеницы 68

Л. П. Нилова, С. М. Малютенкова, О. В. Федорук

Формирование композиции биологически активных соединений и антиоксидантной активности микрорзелени злаковых культур при выращивании на гидрогеле 82

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Л. Н. Харламова, М. Ю. Синельникова, Д. Ю. Матвеева

Фузариоз зерна овса и выявление антигенов токсинов в напитках на растительной основе 95

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В. Б. Мазалевский

Влияние компонентов рецептуры на технические характеристики кедрового напитка 102

С. О. Смирнов, О. Ф. Фазуллина, А. Ю. Данилкин, О. Е. Бакуменко, Р. Х. Кандроков

Обоснование подбора функциональных ингредиентов рецептуры смесей для энтерального питания, обеспечивающих биологическую эффективность и физиологическое действие: Обзор предметного поля 115

СЫРЬЕ И ДОБАВКИ

Н. В. Науменко, Р. И. Фаткуллин, И. В. Калинина, А. В. Радкевич, Е. Е. Науменко,

Н. В. Попова, Е. К. Васильева
Влияние экзогенной ГАМК на антиоксидантные свойства пророщенного зерна 133

И. Н. Грибкова, И. В. Лазарева

Исследование сорбционных свойств целлюлозно-лигнинного комплекса обработанной дробины 147

М. К. Садыгова, А. Ю. Догадин, Л. В. Андреева, С. Н. Сибикеев, Г. И. Шутарева

Смесительная способность муки из различных сортов твердой и мягкой пшеницы для производства Саратовского калача 156

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ НАУКИ В АПК

Е. С. Салина, Е. В. Алексеенко, Н. С. Левгерова

Влияние сортовых особенностей на качество вишневых соков 171

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ И НОВЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ

Д. В. Олдырев, О. Д. Сергазиева, Н. В. Ярцева, А. А. Бахарева

Получение коллагенсодержащей ихтиосубстанции из вторичных рыбных ресурсов 181

CONTENT

EDITORIAL

Elena V. Tikhonova

ChatGPT in the Context of Scientific Communication 8

THEORETICAL ASPECTS OF FARM PRODUCTS STORAGE AND PROCESSING

Oleg A. Suvorov, Larisa G. Ipatova, Maria A. Pogorelova, Darya A. Pesotskaya, Maxim S. Safonov, Alexander G. Pogorelov

Chitosan Films: Modification, Use and Fictionalization with Electrochemically Activated Aqueous Solutions 13

Grigory A. Kupin, Tatiana V. Pershakova, Vladimir N. Aleshin, Elizaveta S. Semiryazhko, Tatiana V. Yakovleva

Development of Algorithms for Increasing the Keeping Quality of Root Vegetables: Scoping Review 28

Lyubov I. Belyaeva, Mikhail K. Pruzhin, Alla V. Ostapenko, Tatyana I. Sysoeva

State and Prospects for Improving the Use of Technological Aids in the White Beet Sugar Production 43

PHYSICAL AND CHEMICAL METHODS OF FARM RAW MATERIAL PROCESSING

Sergey A. Sokolov, Innesa G. Deyneka, Aleksej A. Dekan, Aleksander A. Yashonkov

Experimental Evaluation of the Effect of Complex Treatment with High Pressure and Ultrasound on Microbiological Parameters of Liquid egg Melange 59

RESEARCH ON TRAITS OF SUBSTANCES AND AGRIBUSINESS PRODUCTS

Maria L. Zenkova

Medical-Biological Evaluation of a New Canned Product from Sprouted Wheat 68

Ludmila P. Nilova, Svetlana M. Malyutenkova, Oksana V. Fedoruk

Formation of the Composition of Biologically Active Compounds and Antioxidant Activity of Cereal Microgreens when Grown on Hydrogel 82

BIOTECHNOLOGICAL AND MICROBIOLOGICAL ASPECTS

Larisa N. Kharlamova, Marina Yu. Sinelnikova, Daria Yu. Matveeva

Oat Grain Fusariosis and Identification of Toxin Antigens in Plant-based Drinks 95

DESIGNING AND MODELLING THE NEW GENERATION FOODS

Viktor B. Mazalevskiy

Influence of the Recipe Components on the Technical Characteristics of the Pine Nuts and Oil Cake Beverages 102

Stanislav O. Smirnov, Oliya F. Fazullina, Aleksey Y. Danilkin, Olesya E. Bakumenko, Roman Kh. Kandrov

Substantiation of the selection of functional ingredients in the formulation of mixtures for enteral nutrition, providing biological efficacy and physiological effect due: A Scoping Review 115

RAW MATERIALS AND ADDITIVES

Natalya V. Naumenko, Rinat I. Fatkullin, Irina V. Kalinina, Anastasia V. Radkevich,

Ekaterina Eu. Naumenko, Nataliya V. Popova, Elizaveta K. Vasileva
The effect of exogenous gamma-aminobutyric acid on the antioxidant properties of sprouted grain 133

Irina N. Gribkova, Irina V. Lazareva

The brewer's spent grain cellulose lignin complex sorption capacity study 147

Madina K. Sadigova, Anatoly Yu. Dogadin, Lubov V. Andreeva, Sergey N. Sibikeev, Galina I. Shutareva

Mixing Capacity of Durum and Soft Wheat Varieties for the Production of Saratov Kalach 156

URGENT PROBLEM OF SCIENCE DEVELOPMENT IN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Elena S. Salina, Elena V. Alekseenko, Nadezhda S. Levgerova

Influence of Varietal Characteristics on the Quality of Cherry Juices 171

USING SECONDARY RESOURCES AND NEW TYPES OF RAW MATERIALS

Danil V. Oldyrev¹, Olga D. Sergazieva², Natalya V. Yartseva¹, Anna A. Bakhareva

Producing Collagen-Containing Ichthyosubstance From Secondary Fishery Resources 181

ChatGPT в контексте научной коммуникации

¹ МГИМО Университет, г. Москва, Российская Федерация

Е. В. Тихонова

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Тихонова Елена Викторовна

E-mail: tikhonova.e.v@inno.mgimo.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Тихонова, Е.В. (2023). ChatGPT в контексте научной коммуникации. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 8-12. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.518>

ПОСТУПИЛА: 01.09.2023

ПРИНЯТА: 15.09.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение: Все возрастающий интерес к возможностям использования ChatGPT в сфере образовательной и научной коммуникации обусловил пристальное внимание, которое уделяют редакторы научных журналов, администрация и преподаватели учебных заведений ограничению спектра его воздействия на потенциального потребителя. Очевидно, что тотальный запрет на использование ChatGPT в реалиях современного социума невозможен, что свидетельствует о необходимости достижения консенсуса по допустимым границам его использования.

Цель: Описать основные мнения редакторов научных изданий и издателей, сложившиеся вокруг механизмов использования контента, сгенерированного ChatGPT авторами рукописей научных статей.

Фокус и границы использования нейронных сетей в контексте научной коммуникации:

Сложившееся статус кво относительно частично допустимой опоры на сгенерированный ChatGPT контент в пространстве отдельных секций научной рукописи, в меньшей степени содержащих оригинальный контент, сопровождается целым рядом вопросов относительно этических аспектов вовлечения искусственного интеллекта в пространство научного творчества. Один из таких вопросов – рисунки, созданные инструментами искусственного интеллекта по запросу автора.

Выводы: Несмотря на отсутствие однозначного ответа на многие вопросы, связанные с перспективой использования нейронных сетей в научной коммуникации, отслеживание текущего консенсуса в проблематике позволит исследователям не противоречить политике журналов, не нарушать этику научной коммуникации и не имитировать создание научного контента.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

нейронные сети, ChatGPT, оригинальность рукописей, генерация текста, нейросети, искусственный интеллект

ChatGPT in the Context of Scientific Communication

¹ MGIMO University, Moscow, Russian Federation

Elena V. Tikhonova

CORRESPONDENCE:

Elena V. Tikhonova

E-mail: tikhonova.e.v@inno.mgimo.ru

FOR CITATIONS:

Tikhonova, E. V. (2023). ChatGPT in the context of scientific communication. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 8-12. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.518>

RECEIVED: 01.09.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background: The growing interest in the potential use of ChatGPT in the field of educational and scientific communication has prompted close attention from the editors of scientific journals, administrators, and educators to limit its impact on potential users. It's clear that a total ban on using ChatGPT in the realities of modern society is impossible, underscoring the need to reach a consensus on acceptable boundaries for its use.

Purpose: To describe the primary opinions of editors of scientific publications and publishers that have emerged around the mechanisms of using content generated by ChatGPT by authors of scientific article manuscripts.

Focus and Boundaries of Neural Networks in the Context of Scientific Communication:

The established status quo concerning the partially permissible reliance on content generated by ChatGPT in certain sections of a scientific manuscript, especially those containing less original content, is accompanied by a range of questions about the ethical aspects of involving artificial intelligence in the realm of scientific creativity. One such question pertains to illustrations created by artificial intelligence tools upon an author's request.

Conclusion: Although there is no clear answer to many questions related to the prospects of using neural networks in scientific communication, monitoring the current consensus on the issue will allow researchers to adhere to journal policies, uphold the ethics of scientific communication, and avoid the imitation of creating scientific content.

KEYWORDS

neural networks, ChatGPT, originality of manuscripts, text generation, artificial intelligence

ВВЕДЕНИЕ

Ландшафт научной коммуникации очень чувствителен к применению возможностей нейронных сетей для в процессе создания рукописей статей. И если раньше авторы использовали нейронные сети преимущественно с целью проверки грамотности перевода и улучшения стиля изложения, то сейчас — и для создания контента самой рукописи (Hutson, 2022; Косычева, 2023). Иными словами, нейронные сети все увереннее демонстрируют способность генерировать свободную речь, создавая предложения, которые становится все сложнее отличить от текста, созданного человеком. Создание чат-бота ChatGPT, опирающегося на искусственный интеллект и доступного массовой аудитории, ввиду возможности его бесплатного использования и интуитивной доступности для пользователя, породило революцию в сфере научной коммуникации. ChatGPT инициировал серьезный вызов самой сути научной коммуникации: созданию оригинального научного знания на благо развития общества (Tang et al., 2022; Tools such as ChatGPT..., 2023).

Цель данной статьи — изложить ключевые взгляды редакторов научных публикаций и издателей на тему применения контента, созданного с помощью ChatGPT, в рукописях научных работ.

Редакционная политика по использованию ChatGPT

Возможности нового инструмента породили серьезные дискуссии в среде редакторов научных журналов относительно выстраивания политики в отношении использования авторами ChatGPT в процессе создания рукописи научной статьи (Tikhonova & Raitskaya, 2023). Ряд академических журналов в рамках своей редакционной политики допускает включение контента, созданного с помощью ChatGPT, с условием декларирования авторами какая часть контента сгенерирована ChatGPT (Hosseini et al., 2023; Fuster et al., 2023). Более того, уже появились статьи, указывающие ChatGPT в качестве одного из официальных авторов статьи.

Springer Nature заявило о необходимости формулирования однозначных правил о возможности использования ChatGPT при создании рукописи научной статьи: (1) ни один инструмент больших языковых модулей (а именно он и лежит в основе ChatGPT) не будет рассматриваться в качестве полноценного автора исследовательской работы. Статус автора влечет за собой ответственность за представленный контент, а инструменты ИИ не могут взять на себя такую ответственность; (2) Исследователи, использующие ИИ, должны документировать это использование в разделах «Методы» или «Благодарности»¹. Эту инициативу поддерживают и редакторы журналов других ведущих издательств (Yeo-Teh & Tang, 2023).

Оригинальность рукописи научной статьи и ChatGPT

Большинство редакторов научных журналов настаивают на том, что политика редакции журнала должна напрямую описывать допустимую долю контента научной статьи, созданного ChatGPT, которую журнал полагает приемлемой. Tang (2023) акцентирует необходимость более глубокого подхода: уточнение подлежит не только объем созданного при помощи ИИ контента, но подсекция статьи, в которой этот контент размещен.

Уникальность и оригинальность академической статьи измеряются способностью заполнить пробел в знании в конкретной предметной области (Shibayama & Wang 2019). Указанный пробел демонстрируется в статье в секции «Введение», а вот способность статьи его заполнить измеряется контентом секций «Результаты» и «Заключение». Поскольку чат ChatGPT трактуется научным сообществом как не отвечающим критериям официального авторства, он не способен внести существенный вклад в формирование оригинального контента статьи. Если авторы используют содержимое, созданное с помощью ChatGPT, в этих разделах, то оригинальность научной статьи должна быть подвергнута сомнению.

¹ Nature. <https://www.nature.com/nature/for-authors/initial-submission>

Варианты уточнения редакционной политики научных журналов

Учитывая вышеизложенные, редакторы научных журналов призывают разместить в разделе политик журналов четкое указание на: (1) допустимые секции статьи, при создании которых авторы могут на возможности ChatGPT. Формулировка такой политики может выглядеть следующим образом: *Авторы, направляющие рукописи в «Название журнала» могут использовать содержимое, созданное с помощью ChatGPT, в разделах, посвященных обзору литературы и общему контексту проведения исследования, но не в секциях рукописи, представляющих результаты исследования, их обсуждение и выводы;* (2) Трактовку уровня оригинальности текста рукописи статьи: *«Название журнала» не препятствует авторам в использовании текста, созданного с помощью ChatGPT в секциях Введение и Литературный обзор. Однако, такой текст не должен представлять основную идею или выводы статьи* (Tang, 2023; Tikhonova & Raitskaya, 2023).

Нейросети vs человек

Исследователь всегда должен ставить во главу угла стремление развивать научное знание и способствовать прогрессу науки и общества, а не стремление имитировать исследование под давлением внешних обстоятельств. Именно поэтому научное сообщество демонстрирует столько пристальное внимание проблематике генерирования научного текста нейронными сетями. Необходимо сформировать четкие конвенции регулирующие возможности применения нейронных сетей в научно-исследовательской практике с тем, чтобы у потенциальных авторов появилась возможность опираться на разработанный инструментарий, понимания этические последствия его использования.

Маскировка использования нейронных сетей при создании текста не является продуктивной. Уже существуют инструменты, позволяющие до-

статочно уверенно отличить текст, сгенерированный искусственным интеллектом от текста, созданного человеком (Heidt, 2023). И даже на фоне предсказаний о потенциальной обучаемости нейронных сетей, сопровождающейся улучшением качества генерируемого текста, необходимо понимать и принципиальные возможности обучаемости программного обеспечения, нацеленного на отслеживание сгенерированного текста.

Важно открыто артикулировать и обсуждать интерференцию искусственно сгенерированных текстов в реальную научно-исследовательскую практику с тем, чтобы все акторы коммуникации понимали этический фон сложившейся ситуации и легально использовали открывающиеся возможности в той мере, в которой этика научной коммуникации это допускает. Например, Насколько приемлемым для редакции научного журнала является использование перевода текста, созданного ChatGPT? Возможно ли включение в текст рукописи статьи рисунков и схем, созданных ChatGPT? Как правильно маркировать тот факт, что рисунок создан при помощи ChatGPT? и пр.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопросы, связанные с потенциалом использования нейронных сетей в сфере научно-исследовательской деятельности не должны решаться изолированно в рамках национальных научно-исследовательских систем. Поскольку проблематика имеет глобальное прочтение, то и выработка инструментов интерференции нейронных сетей, равно как и потенциальная глубина этой интерференции требует внимания и совместных решений на международном уровне.

И первым шагом на этом пути является точная и детальная редакционная политика, призванная помочь авторам осознанно использовать ChatGPT, не искажая суть и предназначение научной коммуникации.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Косычева, М.А. (2023). *Редактор как помощник автору при подготовке рукописи к публикации*. Обучающий научно-практический семинар «Международные стандарты качества научных публикаций и журналов по сельскому хозяйству и смежным областям», 17–20 октября, 2023.
- Kosycheva, M.A. (2023). *The editor as an assistant to the author in preparing the manuscript for publication*. Educational scientific-practical seminar 'International standards of quality for scientific publications and journals in agriculture and related fields', October 17-20, 2023. (In Russ.)
- Fuster, V., Bozkurt, B., Chandrashekar, Y., Grapsa, J., Ky, B., Mann, D. L., Moliterno, D. J., Shivkumar, K., Silversides, C. K., Turco, J. V., & Wang, J. (2023). JACC journals' pathway forward with AI tools: The future is now. *JACC: Asia*, 3(2), 317–319. <https://doi.org/10.1016/j.jacasi.2023.03.002>
- Heidt A. (2023). 'Arms race with automation': professors fret about AI-generated coursework. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/d41586-023-00204-z>
- Hosseini, M., Rasmussen, L. M., & Resnik, D. B. (2023). Using AI to write scholarly publications. *Accountability in Research*, 1–9. <https://doi.org/10.1080/08989621.2023.2168535>
- Hutson M. (2022). Could AI help you to write your next paper? *Nature*, 611(7934), 192–193. <https://doi.org/10.1038/d41586-022-03479-w>
- Nature (2023). Tools such as ChatGPT threaten transparent science; Here are our ground rules for their use. *Nature*, 613(7945), 612. <https://doi.org/10.1038/d41586-023-00191-1>
- Shibayama S., & Wang J. (2019). Measuring originality in science. *Scientometrics*, 122, 409–427. <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03263-0>
- Stokel-Walker C. (2023). ChatGPT listed as author on research papers: Many scientists disapprove. *Nature*, 613(7945), 620–621. <https://doi.org/10.1038/d41586-023-00107-z>
- Tang G., Cai H., Jia J. (2022) Status bias in Chinese scholarly publishing: An exploratory study based on mixed methods. *Accountability in Research* 1–17. <https://doi.org/10.1080/08989621.2022.2117621>
- Tang G. (2023) Letter to editor: Academic journals should clarify the proportion of NLP-generated content in papers. *Accountability in Research*, 1–2. <https://doi.org/10.1080/08989621.2023.2180359>
- Tikhonova, E., & Raitskaya, L. (2023). ChatGPT: Where is a silver lining? Exploring the realm of GPT and large language models. *Journal of Language and Education*, 9(3), 1–7. <https://doi.org/10.17323/jle.2019.10688>

УДК 544.023

Пленки из хитозана: модификация, применение и функционализация электрохимически активированным водным раствором

О. А. Суворов^{1,2}, Л. Г. Ипатова², М. А. Погорелова²,
Д. А. Песоцкая¹, М. С. Сафонов^{1,2}, А. Г. Погорелов²

¹ Российский биотехнологический университет, г. Москва, Российская Федерация

² Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук, г. Пушкино, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Суворов Олег Александрович
E-mail: SuvorovOA@yandex.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Суворов, О.А., Ипатова, Л.Г., Погорелова, М.А., Песоцкая, Д.А., Сафонов, М.С., & Погорелов, А.Г. (2023). Пленки из хитозана: модификация, применение и функционализация электрохимически активированным водным раствором. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 13–27. <https://doi.org/10.36107/spfr.2023.448>

ПОСТУПИЛА: 19.06.2023

ПРИНЯТА: 15.09.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 20-16-00019, <https://rscf.ru/project/20-16-00019/>

АННОТАЦИЯ

Введение: Пролонгация срока хранения пищевых продуктов является актуальным вопросом индустрии питания. В данном обзоре предметного поля проанализированы научные источники опубликованных работ о способах изменения свойств полисахаридов (с 2013 по 2023 г.) с тем, чтобы использовать их в области производства упаковки для пищевых продуктов.

Цель: Целью работы является анализ методов модификации полисахаридов, создание биоразлагаемых защитных пленок, применение таких пленок, в том числе в сочетании с обработкой их поверхности электрохимически активированным водным раствором (ЭХАР).

Материалы и методы: В обзор включены научные публикации российских и зарубежных авторов по вопросам пролонгации сроков хранения продуктов питания с помощью биоразлагаемых защитных пленок из хитозана. В работе систематизированы статьи, которые опубликованы в 2013–2023 годах в изданиях, включенных в базы данных Scopus и РИНЦ.

Результаты: Рассмотрены методы направленного изменения свойств полисахаридов, новые виды пленок на основе хитозана с добавлением различных компонентов, а также результаты обработки поверхности пленки электрохимически активированным водным раствором. Настоящий обзор будет полезен при разработке способов хранения пищевых продуктов, используя упаковки на основе модифицированных полисахаридов в сочетании с другими средствами защиты.

Выводы: В обзоре систематизированы материалы, опубликованные за последние 10 лет, которые нацелены на разработку способов улучшения свойств пленок на основе полисахаридов. Анализ полученных результатов показывает, что хитозан уже используют для изготовления безопасной и биоразлагаемой упаковки. Такая упаковка становится значительно эффективнее при сочетанном воздействии физических или химических средств обеззараживания поверхности пищевых продуктов. В их ряду, пожалуй, наиболее перспективной является дополнительная обработка метастабильной фракцией ЭХАР, что одновременно обеззараживает поверхность пищевых продуктов и пролонгирует сроки их годности, не влияя при этом на качество и органолептические показатели.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

электрохимически активированный водный раствор, пищевые продукты и сырье, хитозан, модификация полисахаридов, биоразлагаемые пленки



Chitosan Films: Modification, Use and Fictionalization with Electrochemically Activated Aqueous Solutions

¹ Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation

² Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Oleg A. Suvorov

E-mail: SuvorovOA@yandex.ru

FOR CITATIONS:

Suvorov, O.A., Ipatova, L.G., Pogorelova, M.A., Pesotskaya, D.A., Safonov, M.S., & Pogorelov, A.G. (2023). Chitosan films: Modification, use and fictionalization with electrochemically activated aqueous solutions. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 13-27. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.448>

RECEIVED: 08.01.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FUNDING.

The research was supported by Russian Science Foundation grant № 20-16-00019, <https://rscf.ru/en/project/20-16-00019/>



Oleg A. Suvorov^{1,2}, Larisa G. Ipatova², Maria A. Pogorelova², Darya A. Pesotskaya¹, Maxim S. Safonov^{1,2}, Alexander G. Pogorelov²

ABSTRACT

Background: Prolongation of the shelf life of food products is an urgent issue of the food industry. This review of the subject field analyzes the scientific sources of published works on ways to change the properties of polysaccharides (from 2013 to 2023) in order to use them in the field of food packaging production.

Purpose: The aim of the work is to analyze the methods of modification of polysaccharides, the creation of biodegradable protective films, the use of such films, including in combination with the treatment of their surface with an electrochemically activated aqueous solution (ECAS).

Materials and Methods: The review includes scientific publications of Russian and foreign authors on the extension of the shelf life of food products using biodegradable protective films made of chitosan. The paper systematizes articles that were published in 2013–2023 in publications included in the Scopus and RSCI databases.

Results: Methods of directional change in the properties of polysaccharides, new types of films based on chitosan with the addition of various components, as well as the results of treatment of the film surface with an electrochemically activated aqueous solution are considered. This review will be useful in the development of food storage methods using packaging based on modified polysaccharides in combination with other protective equipment.

Conclusion: The review systematizes materials published over the past 10 years, which are aimed at developing ways to improve the properties of polysaccharide-based films. Analysis of the results shows that chitosan is already used for the manufacture of safe and biodegradable packaging. Such packaging becomes much more effective with the combined effect of physical or chemical means of disinfecting the surface of food products. Among them, perhaps the most promising is the additional treatment with the metastable fraction of ECAS, which simultaneously disinfects the surface of food products and increases their shelf life, without affecting the quality and organoleptic characteristics.

KEYWORDS

electrochemically activated aqueous solution, food and raw material, chitosan, polysaccharide modification, biodegradable films

ВВЕДЕНИЕ

Полисахариды, как биологические макромолекулы, в большом количестве содержат растения, микроорганизмы и животные. В пищевой промышленности их часто применяют для регуляции параметров продуктов. Направленная модификация физико-химических свойств и функциональных возможностей полисахаридов является актуальным направлением научных исследований, так как позволит расширить их область применения, используя не только в качестве пищевых ингредиентов и добавок, но и биоразлагаемых упаковок для хранения продуктов, созданных на основе защитных пленок из полисахаридов.

Большое внимание уделяется экологически безопасной упаковке, которая способна продлить срок годности пищевых продуктов и сохранить их качество, препятствуя окислению и росту микроорганизмов. Среди источников натурального сырья, используемых для изготовления упаковки, хитин и хитозан привлекают наибольшее внимание. Эти безвредные для природы материалы представляют альтернативу искусственным полимерам, доля которых составляет более 90 %.

Анализ научной литературы показал, что в существующей картине знания важным является обзор предметного поля по следующим наиболее популярным, но недостаточно изученным направлениям в области исследуемой проблематики:

- (1) разработка новых методов направленной модификации полисахаридов, их биологическая и экологическая безопасность;
- (2) применение в сфере пищевых технологий полисахаридов для разработки биоразлагаемой упаковки;
- (3) реализация технологических свойств полисахаридов в сочетании с физико-химическими методами с тем, чтобы улучшить качество пищевых продуктов и продлить срок их хранения.

Обозначенные выше пробелы в знании позволили сформулировать следующее целеполагание исследования. С целью систематизации методов изменения свойств полисахаридов, необходимо получить ответы на актуальные вопросы. В их ряду: почему хитозан используют для изготовления защитных пленок? Как ЭХАР влияет

на свойства полисахаридов? Насколько эффективно комбинирование нескольких видов обработки продуктов?

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Базы данных и временные рамки

Акценты исследования были расставлены и реализованы на диапазоне выявленных результатов в области модификации, применения и функционализации полисахаридов электрохимически активированным водным раствором. Создание настоящего обзора предметного поля обосновано сложностью и многогранностью проблематики и отсутствием ее всестороннего анализа в области разработки новых методов направленной модификации полисахаридов, их биологической и экологической безопасности, а также их реализацией в индустрии питания и пищевой промышленности для разработки биоразлагаемой упаковки в сочетании с физико-химическими методами обработки для улучшения качества пищевых продуктов и пролонгации их срока годности

Материалами для исследования послужили публикации из баз данных Scopus, РИНЦ и других источников, опубликованные с 2013–2023 г. в количестве 180 источников, из которых в обзор было включено 44 статьи. Анализировались источники, опубликованные в научных журналах, материалах конференций различных уровней, а также монографии, посвященные тематике исследования, нормативные документы и патенты.

Критерии включения и исключения источников

Ключевыми словами для осуществления поиска в российских электронных библиотеках являлись следующие слова и словосочетания: “электрохимически активированный водный раствор”, “пищевые продукты и сырье”, “хитозан”, “модификация полисахаридов”, “биоразлагаемые плёнки”. Ключевыми словами для осуществления поиска в базах данных Scopus и РИНЦ выступили: ‘electrochemically activated aqueous solution’, ‘food and raw material’, ‘chitosan’, ‘polysaccharide modification’, ‘biodegradable films’.

Критерии включения и исключения для статей, подлежащих анализу, были следующими:

Критерии включения:

1. Анализируемые источники написаны в период 2013–2023 годы;
2. Статья соответствует теме исследования;
3. Типами анализируемых статей являются оригинальные исследовательские и обзорные статьи, монографии.

Критерии исключения:

1. Анализируемые источники не соответствуют теме данного обзора: не касаются области производства упаковки для пищевых продуктов; не касаются методов изменения свойств полисахаридов;
2. Статьи, написанные не на русском или английском языках;
3. Жанры статьи — не соответствуют указанным жанрам по критериям включения;
4. Содержание статьи дублируется. Если из разных баз данных или разных электронных библиотечных систем были извлечены повторяющиеся источники, и их классифицировали только один раз.

Анализ и систематизация данных

Результаты анализа были представлены в виде таблиц и диаграмм для визуализации данных. Для обзора предметного поля проведенного исследования использовали алгоритм в соответствии с протоколом PRISMA и составили схему проведения исследования (Рисунок 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для реализации поставленной цели в части систематизации методов изменения свойств полисахаридов необходимо результаты работы и их обсуждение разбить на следующие тематические блоки «Методы изменения свойств полисахаридов», «Применение биоразлагаемых защитных пленок на основе хитозана в пищевой промышленности», «Эффективность биоразлагаемых защитных пленок в сочетании с другими физико-химическими методами обработки продуктов». В результате выполненной работы будут определены новые направления в исследованиях и выделены ключевые аспекты нового прочтения к ранее существующим подходам. Анализ полученных материалов позво-

Рисунок 1

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



Примечание. PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation, 2018. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>

лит ответить на актуальные вопросы использования хитозана для изготовления защитных пленок, влияния ЭХАР на свойства полисахаридов и эффективности комбинирования нескольких видов обработки продуктов для повышения их биологической и экологической безопасности и пролонгации срока годности.

Методы изменения свойств полисахаридов

Модификацию пищевых ингредиентов осуществляют посредством разнообразных физических воздействий, например, нагревом, ультразвуком, кавитацией, электрическим полем, СВЧ излучением, а также с помощью обработки химическими реагентами (Cui & Zhu, 2021). Рассмотрены физические, химические и биологические способы улучшения свойств полисахаридов и факторы, влияющие на применение их в пищевой промышленности (Tang & Huang, 2021). В данной работе наиболее актуальными направлениями считают изучение эмульгирования полисахаридов, воздействие процесса переработки, расширение применения. Описаны методы, способствующие протеканию в пищевом сырье реакции Майяра с образованием белково-полисахаридных соединений (Kan et al., 2021). В цитируемой публикации приведены источники и характеристики используемых белков и полисахаридов, рассмотрены свойства и механизмы повышения эмульгирующей активности белково-полисахаридных конъюгатов Майяра. Структурные особенности и эмульгирующие свойства белков и полисахаридов зависят от природного сырья, из которого их получают. Отмечают, что после реакции гликирования конъюгаты Майяра приобретают улучшенные технологические свойства: растворимость, термическую стабильность, способность к эмульгированию, образованию пены и геля.

Эффект воздействия паром на структурные свойства и иммунологическую активность полисахаридов из корней растения *Polygonatum cyrtonema* исследовали в работе Wu и соавторы (Wu et al., 2022). Длительность процедуры влияла на характер изменений в структуре и свойствах полисахаридов. Пропаривание приводило к изменению состава сахаров, в частности, к фрагментации молекул в результате их деполимеризации. После термического воздействия в течение нескольких часов полисахариды обладали более высокой иммуноло-

гической активностью, чем те, что получены из необработанного корневища. Результаты послужили обоснованием необходимости щадящей обработки *Polygonatum cyrtonema*.

В ряде исследований показана эффективность использования ультразвука для направленного изменения структуры и свойств полисахаридов. Изучены физико-химические и функциональные свойства полисахаридов, извлеченных из растения *Sagittaria sagittifolia* L. с помощью ультразвука различных частот и их комбинаций (Feng et al., 2021). Такой подход, по сравнению с экстракцией горячей водой, способствовал увеличению выхода вещества, повышал его растворимость и антиоксидантную активность, а также стабильность пены и термическую устойчивость. И это открывает перспективу ультразвуковой обработки полисахаридов в пищевой и косметической промышленности, медицине и смежных областях. Установлена взаимосвязь интенсивности воздействия ультразвука и кинетики деградации, физико-химических свойств и пребиотической активности полисахарида съедобного гриба *Flammulina velutipes* (Xiao et al., 2022). Экспериментально подтверждено, что деградация ускоряется при увеличении интенсивности ультразвука, уменьшении концентрации полисахарида, повышении температуры до 60 °С. При этом ультразвук изменяет конформацию полисахарида в растворе, частично разрушая его третичную структуру. Модификация молекулы способствовала снижению вязкости и прочности геля исследуемого образца, но улучшала его термическую стабильность. По сравнению с контролем, опытные образцы легче утилизировались кишечной микробиотой, способствуя росту *Bifidobacterium* и *Brautella* и ингибируя рост вредных бактерий. Установлено влияние ультразвука на пространственную структуру и антиоксидантные свойства полисахаридов, выделенных из желтого чая (Wang et al., 2021; Бахир, 2014; Brychcy et al., 2015; Kang et al., 2021; Hopkins et al., 2021). Фракции полисахаридов выделяли путем осаждения в водном растворе этанола разной концентрации с последующей их обработкой 20 кГц излучением. В результате уменьшалась молекулярная масса фракций УТРС-3N и УТРС-5N, что означало частичную деградацию полисахаридов. Разными методами подтверждено изменение строения молекулы полисахарида и ее фрагментацию и, как следствие, увеличивалась активность по утилизации свободных радикалов (2,2-дифенил-1-пикрилгидразила, супероксида, ги-

дроксил радикала). Прогнозируют, что усиление антиоксидантной активности полисахарида желтого чая может быть полезно для функциональных продуктов питания или лекарственных средств.

Воздействие электрического поля является одним из способов модификации полисахаридов, содержащих в боковых группах ионогенные группы. Полисахариды представляют собой молекулы полиэлектролиты, которые способны образовывать водородные связи и создавать стабильные многокомпонентные молекулярные сети, устанавливая центры связывания с белками, липидами и ионами металлов (Tang & Huang, 2021; Jiang et al., 2020; Leceta et al., 2013; Lu et al., 2022; Rebezov et al., 2022; Riešutė et al., 2022; Turantaş et al., 2018). Наличие ионогенных групп обеспечивает макромолекулам характерные электрические, пространственные и гидродинамические свойства (Król et al., 2016). В зависимости от концентрации полиэлектролита в растворе, температуры, давления, присутствия низкомолекулярных веществ или величины pH меняется конформация и объем молекулы в растворе и, как следствие, его реологические свойства. На примере водных растворов каррагинана и альгината натрия, содержащих добавку хлорида натрия, показано, что обработка током 400 мА в течение 5 минут придавала растворам желательные физико-химические характеристики, при этом сохранялись реологические свойства гидрозолей, формируемых указанными растворами (Król et al., 2016).

Химические реагенты также изменяют структуру и технологические свойства полисахаридов. Установлено, что ионы кальция влияют на свойства полисахарида, выделенного из растения *Lucium barbarum* L., его реологические характеристики и механизм гелеобразования (Wang et al., 2022). В указанной работе определены химический состав, моносахаридный состав и молекулярная масса экстракта полисахарида, исследован эффект Ca^{2+} на дзета-потенциал, реологические свойства и инфракрасные спектры. Результаты показали, что экстракт полисахарида представляет собой кислую смесь гликопротеинов с молекулярной массой $4,05 \times 10^5$ Да. Показано, что добавление ионов Ca^{2+} улучшает структуру геля из экстракта полисахарида. Возможно, электростатическое взаимодействие и кальциевые мостики, образованные при добавлении катиона, сыграли ключевую роль в формировании структуры геля.

Liu с соавторами (Liu et al., 2019) изучали влияние карбоната натрия на образование, реологию, текстуру и свойства геля, образованного кукурузным крахмалом (MS) и анионным полисахаридом, выделенным из травы *Mesona chinensis* (MCP), которые используют для изготовления желевого десерта. Добавление Na_2CO_3 ускоряло процесс образования пасты и снижало вязкость смесей MS, которая увеличивалась с ростом концентрации MCP. Добавление Na_2CO_3 усиливало гелеобразование крахмальных гелей в присутствии 0,2 % MCP, если сравнивать с гелями MS-MCP. Результаты рентгеновской дифракции показали увеличение относительной кристалличности MS благодаря участию в желатинизации как MCP, так и Na_2CO_3 . Текстурные свойства геля улучшались в присутствии Na_2CO_3 при том, что микроструктура комплекса MS-MCP- Na_2CO_3 состояла из поперечно распределенных крупных пор с более толстой стенкой. Конфокальная микроскопия подтвердила увеличение размера MS-MCP гранул, которые набухали в большей степени в присутствии Na_2CO_3 . Улучшение реологических и текстурных свойств комплексных гелей MS-MCP- Na_2CO_3 позволило рассматривать Na_2CO_3 в качестве агента, укрепляющего гель в системе «крахмал — не крахмальный полисахарид». Присутствие таких полисахаридов во многом определяет характеристики геля, сформированного на основе крахмала. Отмечено, что добавление MCP оказывает значимое влияние на физико-химические и реологические свойства крахмала сладкого картофеля и свойства MCP-гелей на его основе. В частности, улучшается микроструктура, увеличивается вязкость и вязкоупругие свойства, повышается прочность и твердость геля, возможно, за счет образования водородных связей и электростатического взаимодействия, но без образования ковалентной связи. Последнее обстоятельство подтверждено методом инфракрасной спектроскопии (Ren et al., 2020).

Свойства полисахаридов определяются методами их экстракции. Группой Chen с соавторами (Chen et al., 2022) рассмотрено влияние концентрации щелочи на физико-химические характеристики, реологические и антиоксидантные свойства трех полисахаридов в процессе экстракции из кожицы бобов. Показано, что щелочная экстракция разрушает эфирные и водородные связи между полисахаридами, поэтому такая экстракция обеспечивает большее количество продукта, чем при экстракции горячей водой. Полисахариды, экстрагированные

щелочью, имели более низкий молекулярный вес, размер частиц и лучшую термическую стабильность. Отметим, образец с более высоким содержанием галактуроновой кислоты и более низкой молекулярной массой обладал повышенной антиоксидантной активностью.

Применение биоразлагаемых защитных пленок на основе хитозана в пищевой промышленности

Хитозан относится к нетоксичным и неаллергенным веществам, биосовместим с тканями человека и животных, безопасен для окружающей среды. В технологии формованных изделий хитозан используют в качестве структурообразующего агента, повышающего значения реологических характеристик пищевых масс. Данный полимер способен соединять в упорядоченную структуру фрагменты материалов различной влажности (Загрутдинова с соавт., 2014). Благодаря особенностям химического строения и структурно-механическим свойствам хитозан образует пленки, обладающие прочностью, необходимой для получения биоразлагаемой упаковки. Выраженный электрический заряд молекул хитозана, обусловленный наличием положительно заряженных аминогрупп, придает ему свойства полиэлектролита, способного длительное время сохранять фиксированный электрический заряд на поверхности (Загрутдинова с соавт., 2014).

С тем, чтобы увеличить растворимость и усилить антибактериальные свойства, аминогруппы хитозана подвергают модификации (Варламов с соавт., 2020). В производстве упаковки полимерные третные пленки рассматривают в качестве «активных» материалов, которые способны изменять газовую среду внутри упаковки, сохранять внешний вид и консистенцию пищевых продуктов, подавлять рост и развитие микроорганизмов (Загрутдинова с соавт., 2014). Последний фактор способен пролонгировать значительно срок хранения пищевых продуктов.

Хитозан ценен тем, что его полезные свойства усиливаются в сочетании с другими биокомпонентами. С целью улучшения потребительских характеристик, например, сопротивления растяжению и проницаемости водяного пара, в хитозановые пленки добавляют пластификаторы и сшивающие

агенты. Известно влияние соотношения глутаральдегид/глицерин на свойства хитозановых пленок. Исследовали получение и характеристики пленок хитозана без глутаральдегидом или с его добавлением в присутствии различных концентраций глицерина (De Oliveira et al., 2021). В цитируемой работе получали однородные пленки, без разделения фаз и с похожей химической структурой. Глутаральдегид делает хитозан частично гидрофобным, что приводит к насыщению глицерином полученные образцы пленки. Комбинирование пластификатора и сшивки перспективно для улучшения свойств пленки на основе хитозана, что повышает конкурентоспособность произведенной упаковки (De Oliveira et al., 2021).

Для природного хитина разработан метод щелочного деацетилирования с целью получения хитозана посредством отщепления ацетильной группировки N-ацетил-D-глюкозамина от молекулы полимера (Камская, 2016). Хитин содержится в панцире ракообразных, кутикуле насекомых, в клеточной стенке мицелиальных грибов и диатомовых водорослей. Выполняя главным образом трофическую функцию, хитин формирует экзоскелеты членистоногих, внутренние опорные пластины некоторых головоногих, сетчатые структуры в трубках погонофор, створках диатомовых водорослей и клеточных стенках грибов, чем обеспечивает целостность организма (Варламов с соавт., 2020). Хитин встречается в комплексе с другими веществами и является самым распространенным биополимером после целлюлозы. В природе запасы этого вещества, как сырья для получения хитозана, возобновляемы и практически неисчерпаемы (Загрутдинова с соавт., 2014). Акватория Российской Федерации богата промыслами ракообразными, что делает экономически целесообразным получение хитозана в промышленных масштабах. Хитин представляет собой линейный полисахарид, состоящий из различного количества 2-амино-2-дезоксид-β-D-глюкозы (глюкозамина) и его N-ацетилированного производного в пиранозной форме, связанных гликозидными связями. В выделенном из природных источников хитине, как правило, содержится 5–10% остатков 2-амино-2-дезоксид-β-D-глюкозы (Варламов с соавт., 2020). Хитозан — продукт щелочного деацетилирования хитина. Реакция отщепления ацетильной группировки от структурной единицы хитина сопровождается одновре-

менным разрывом гликозидных связей полимера, т.е. уменьшением молекулярной массы, изменением надмолекулярной структуры, степени кристалличности и другими трансформациями. Хитозан — полидисперсный по молекулярной массе полимер D-глюкозамина, содержащий 5–15 % ацетамидных групп, а также до 1 % групп, соединенных с аминокислотами и пептидами (Камская, 2016). Будучи линейными полимерами, хитозан и его производные, подобно целлюлозе, обладают волокнообразующими и пленкообразующими свойствами (Камская, 2016).

Физико-химические, антиоксидантные, антимикробные и pH-чувствительные свойства пленок на основе хитозана

Следующий этап исследований был посвящен анализу физико-химических, антиоксидантных, антимикробных и pH-чувствительных свойств пленок на основе хитозана. Так, в работе (Jakubowska et al., 2021) определены физико-химические свойства хитозановых пленок, пластифицированных эвтектическим растворителем. Для этого ученые использовали хитозан в сочетании с холин хлоридом и малоновой кислотой. Оценивали структурные, механические, тепловые и барьерные свойства модифицированных и немодифицированных пленок. Добавление смеси приводило к значительному увеличению эластичности, по сравнению с контрольными образцами, и более выраженной шероховатости. Подтверждено увеличение паропрооницаемости для всех вариантов модифицированных пленок (Jakubowska et al., 2020). В качестве пластификаторов также использовали растворитель, на основе смеси холина хлорида и молочной кислоты. Молекулярная структура и свойства пленок из хитозана с различной степенью деацетилирования изучали с помощью FTIR-спектроскопии, сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии, регистрируя оптические характеристики, скорость пропускания водяного пара, прочность на разрыв при растяжении. Микроснимки показали, что все исследуемые пленки были гладкими и однородными, значительно повышалась их гибкость, увеличивалось растяжение разрыва, улучшались антиоксидантные свойства. Другими словами, пленки из хитозана демонстрируют характеристики, которые перспективны при производстве упаковочного материала.

Опубликованы исследования антиоксидантных свойств хитозана и его производных, проявляющих свойства ловушки свободных радикалов (Варламов с соавт., 2020). Антиоксидантную активность хитозана объясняют наличием протонированной аминогруппы и связыванием ионов металлов, индуцирующих образование свободных радикалов. В производстве пищевых пленок из хитозана в качестве дополнительной присадки, нейтрализующей активные формы кислорода и обладающей бактерицидными свойствами, целесообразно применять побочные продукты переработки фруктов и ягод, остающихся после выделения целевых ингредиентов (Икрамов & Нилова, 2019).

Для формирования пленок с заданными механическими и барьерными свойствами оптимизируют соотношение и типы растительных экстрактов, пластификаторов и композиционных полисахаридных материалов. Пленки на основе полисахаридов, обогащенные полифенольными экстрактами, которые показали многофункциональный потенциал, могут быть основой для разработки активной и «умной» упаковки. С этой целью получали съедобную упаковку хитозана с экстрактами выжимок черники, красного винограда и петрушки (Dordevic et al., 2021). Для такой упаковки определили газобарьерные свойства, толщину, содержание воды, растворимость, степень набухания, текстурные свойства, общее содержание полифенолов, диффузию биологически активных веществ, антиоксидантную и антимикробную активность. Пленка, включающая в состав высокие концентрации экстракта красного винограда, показала максимальную антимикробную активность в отношении кишечной палочки, сниженный уровень газопрооницаемости по отношению к кислороду и набухания.

Изучено влияние экстракта листьев манго (MLE) на антиоксидантную активность пленки хитозана в упаковке для пищевых продуктов (Rambabu et al., 2019). Введение MLE в концентрации 1–5 % изменяло морфологию, оптическую природу, воздействие воды и механические характеристики композитных пленок. Повышение концентрации вещества в экстракте приводило к получению пленок с увеличенной толщиной и уменьшенным содержанием влаги. Анализ контактного угла, растворимости в воде и проницаемости для пара показал снижение гидрофильности и паропрооницаемости для пленок хитозан-MLE. У таких пленок увеличивалась проч-

ность на разрыв и уменьшалось значение коэффициента удлинения, по сравнению с пленкой чистого хитозана. Оценка общего содержания фенолов, поглощения радикалов DPPH и ABTS, способности восстанавливать железо показала улучшение антиоксидантной активности с увеличением содержания MLE в пленке. Микроскопические исследования показали гладкую, компактную и плотную природу MLE-хитозан пленок, обеспечивающую низкую скорость переноса кислорода. Исследования при длительном хранении орехов выявили повышение на 56 % устойчивости продукта к окислению для хитозановой пленки, содержащей 5 % MLE, по сравнению с пленкой из полиамида/полиэтилена. Авторы подчеркивают перспективность хитозановых пленок с MLE добавкой в качестве альтернативы коммерческим материалам, используемых для производства пищевых пленок.

Разработана биоразлагаемая пищевая упаковочная пленка на основе хитозана, содержащая экстракт корня китайского лука (Riaz et al., 2020). Исследовали структуру, потенциал взаимодействия и термическую стабильность приготовленной пленки. С помощью сканирующей электронной микроскопии обнаружено, что более высокая концентрация экстракта вызывала образование агломератов внутри пленок. Включение экстракта лука привело к снижению растяжимости пленки притом, что увеличилась ее толщина, но растворимость в воде, степень набухания и паропроницаемость снизились. Рассматриваемые комбинированные пленки продемонстрировали хорошую антиоксидантную и антимикробную активность, что свидетельствует о перспективности их использования в качестве композитного упаковочного материала для пищевой промышленности.

Исследовали антиоксидантные, антимикробные и pH-чувствительные свойства пленок на основе хитозана, экстракта фиолетовой кукурузы с высоким содержанием антоцианов с включением наночастиц серебра. Сравнительный анализ показал появление частиц и пятен на поверхности пленки и поперечном сечении пленок. Инфракрасный и рентгеноструктурный анализ подтвердили, что взаимодействие между хитозаном и частицами серебра основано на координационном эффекте, в то время как взаимодействие между хитозаном и антоцианами, как правило, устанавливается через водородные связи. Добавление экстракта кукурузы

и/или наночастиц увеличило свето- и паронепроницаемость, механическую прочность, антиоксидантные и антимикробные свойства хитозановой пленки. Наличие антоцианов обусловило изменение цвета пленка в зависимости от pH раствора, что позволило предложить такой материал в качестве нового вида «умной» упаковки для пищевой промышленности.

Анализировали функциональные свойства и антимикробный эффект хитозановых пленок для упаковки пищевых продуктов, которые готовили путем литья и сушили при комнатной температуре или в процессе термической обработки (Leceta et al., 2013). Во всех случаях пленка оставалась гибкой и прозрачной, независимо от молекулярной массы хитозана, содержания глицерина и температурного режима. Растворы хитозана проявили антимикробный (бактериостатический) эффект в отношении *Escherichia coli* и *Lactobacillus plantarum*, выраженность которого зависела от температуры обработки. Нагревание вызывало изменения свойств пленок, например, механических показателей и цвета, гидрофобности, устойчивости к ультрафиолетовому излучению. Методами определения общего содержания растворимых веществ, ИК-спектроскопии, термогравиметрического и рентгеноструктурного анализа показано изменение химической структуры пленки хитозана в процессе термообработки, возможно, из-за реакции Майяра.

В литературе описано антимикробное защитное действие пленок из хитозана, нанесенных на поверхность яблок, апельсинов, земляники, томатов, перца. Однородные хитозановые пленки, не дающие трещин и гибкие, обладают избирательной проницаемостью подобно другим полимерным покрытиям, нанесенным на поверхность плодов и овощей. При этом пленки играют роль микробного фильтра и/или регулируют состав газов в растительной ткани, влияя на активность и тип дыхания, что способствует продлению сроков хранения сырья. Помимо этого, покрытие из хитозана вызывает морфологические изменения в возбудителях порчи томатов и перца (Камская, 2016). Изучали покрытие ягод клубники съедобными пленками на основе хитозана для механической/биологической защиты (Pavinatto et al., 2020; Qin et al., 2019). Защитный слой формировали методом капельного литья, используя глицерин для повышения эластичности и гидрофобности пленки. Клубника,

покрытая пленкой из хитозана/30%/глицерина, продемонстрировала устойчивость к поражению серым грибом и незначительное изменение вкуса, внешнего вида, аромата и текстуры. Хитозановая пленка, оставаясь съедобным покрытием, защищала клубнику от развития грибковой инфекции.

Описаны бактерицидные свойства пленок из хитозана и желатин-хитозанового комплекса (Malinowska-Pańczyk et al., 2015). Доказано, что бактерицидное действие растворов хитозана усиливается со временем и повышением температуры инкубации образца. Выявлено, что два психротрофных штамма (*Pseudomonas fluorescens* и *Listeria innocua*) были более чувствительны к хитозану, чем мезофильные штаммы (*Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*). В случае двухкомпонентных желатино-хитозановых пленок также наблюдался сильный антимикробный эффект. Покрытия на основе хитозана с различными антимикробными добавками (аллилизотиоцианурат, низин, этиллауроиларгинат, органические кислоты) показали свою эффективность против ряда болезнетворных организмов на поверхностях сыров, фруктов, овощей, яиц, мясной продукции.

Исследован состав, антимикробные свойства, микрокапсуляцию эфирного масла базилика *Ocimum basilicum* в составе хитозановой пленки, предназначенной для увеличения срока хранения продуктов питания (Amor et al., 2021). Основным компонентом эфирного масла базилика, как показано, является линалоол. Выявлен значительный ингибирующий эффект в отношении всех протестированных микроорганизмов, в основном грамположительных бактерий. Испытание образцов вареной ветчины, обернутой в пленку на основе хитозана и эфирного масла базилика, показало наличие бактерицидного эффекта у пленки, которая подавляла повышение кислотности упакованного продукта.

Эффективность биоразлагаемых защитных пленок в сочетании с другими физико-химическими методами обработки продуктов

Добиться повышения дезинфицирующей активности хитозановой пленки с включенными в ее состав противомикробными добавками удастся посредством комбинирования с методами обеззаражива-

ния поверхностей пищевых продуктов. В последние годы акцент делается на применение в качестве перспективного дезинфицирующего средства электрохимически активированного водного раствора (ЭХАР), который в англоязычной литературе называют «электролизная вода». Принцип получения ЭХАР состоит в накоплении фракций водного раствора в пространстве электролизера, прилегающем к аноду или катоду прибора, анолита или католита, соответственно (Bakhir & Pogorelov, 2018). Эти метастабильные фракции обладают особыми физико-химическими свойствами. Для анолита характерно аномально высокое положительное значение ОВП, увеличивается кислотность раствора и содержание в нем кислорода, а также его активных форм. Напротив, католит приобретает щелочную реакцию, а его ОВП можно снизить до отрицательных значений, при этом в растворе возрастает уровень молекулярного водорода. Подходы, разработанные на основе ЭХАР, относят к «зеленым» технологиям, так как это эффективное противомикробное средство, экологически чистое, безопасное для человека и экономически выгодное. Интерес представляет сочетанное применение ЭХАР с химическими и физическими методами воздействия, такими как ультрафиолетовое излучение и ультразвук.

Бактерицидные свойства биоразлагаемых пленок на основе полисахаридов могут быть усилены воздействием ЭХАР. Обработывая яйца слабокислой электролизной водой с последующим покрытием хитозановой пленкой, изучалась возможность защиты продукта от заражения микроорганизмами при его длительном хранении при комнатной температуре (Sheng et al., 2021). Такая процедура инактивирует бактерии на поверхности яиц, но при этом скорлупа повреждается, что показано методом сканирующей электронной микроскопии. Для того, чтобы избежать потери влаги и углекислого газа через поврежденную оболочку, было успешно применено покрытие скорлупы пленкой хитозана.

Управление параметрами фракции ЭХАР позволяет модифицировать свойства пищевых защитных пленок, регулируя их растворимость, гидрофобность, эластичность (Brychcu, 2015). Физико-химические свойства композитных пленок на основе хитозана и гидроксипропилметилцеллюлозы (хитозан/ГПМЦ) направленно изменяли посредством добавления анолита и фермента лизоцима. Увеличение длительности электролиза и подбор концен-

трации хлорида натрия в исходном растворе вызывает снижение растворимости опытных образцов пленки, формирует структуру пленки в виде сети, обеспечивает однородное покрытие и сцепление с поверхностью. Увеличение концентрации соли, влияло на повышение гибкости пленки, увеличивало ее термомеханическую стойкость. При этом использование кислой фракции ЭХАР не меняло химический состав пленки, что подтверждено методами ЯМР ^1H , MALDI-TOF масс-спектрометрии и FT-IR спектрометрии.

Обработка продуктов кислой фракцией ЭХАР в сочетании с лизоцимом была эффективна для увеличения срока хранения охлажденного карпа (*Syrpinus carpio*), хранящегося в вакуумной упаковке при 2 °C (Palotás et al., 2020). В этом исследовании образцы свежего филе карпа с кожей помещали на 5 минут в ЭХАР, содержащий 100 мг/кг активного хлора. Другую группу образцов обрабатывали последовательно электролизной водой и 0,5 % раствором лизоцима. Еще одну группу после обработки ферментом обмывали ЭХАР. В течение периода хранения проводили химические и микробиологические тесты, а также делали органолептическую оценку. По сравнению с контролем, комбинация ЭХАР и лизоцима увеличивала срок хранения и обеспечивала снижение уровня обсемененности притом, что органолептические показатели образцов не менялись.

Показано влияние кислой фракции ЭХАР в сочетании с химическими и физическими процедурами для обеззараживания свежих яблок и томатов на фоне хранения при 4 °C и 23 ± 0,15 °C (Tango et al., 2017). Цельные яблочные и томатные плоды были привиты коктейльными штаммами *Escherichia coli* и *Listeria monocytogenes*. Плоды последовательно промывали дистиллированной водой или ЭХАР с добавлением в раствор оксидом кальция или фумаровой кислотой. По сравнению с контрольной обработкой водой, все процедуры приводили к снижению общего числа бактерий. Увеличение концентрации добавок усиливало бактерицидный эффект. Таким образом, ЭХАР в комбинации с другими дезинфицирующими средствами может быть использован для послеуборочной санитарной обработки в индустрии свежих фруктов.

Исследовали возможность удаления с поверхности крабов и креветок биопленки, сформированной

Vibrio parahaemolyticus (Roy et al., 2021). В данной работе изучали обеззараживающее действие (отдельно или в комбинации) ультрафиолета (UV), гипохлорита натрия (NaOCl) и слабокислой фракции ЭХАР. Отметим то, что обработка ЭХАР превосходила по эффективности действие NaOCl. Комбинированная обработка UV/NaOCl показала снижение содержания *V. parahaemolyticus* на поверхности моллюсков, но сочетание UV/ЭХАР обеспечило более выраженный эффект. Таким образом, полученные результаты показали то, что в сочетании с воздействием UV как гипохлорит натрия, так и ЭХАР могут быть использованы для повышения микробиологической безопасности индустрии морепродуктов.

Последовательную обработку слабокислым ЭХАР и ультрафиолетом, источником которого были светодиоды, применяли и для дезактивации *Salmonella Typhimurium* на поверхности салата (Han et al., 2021). Обработка только промывкой ЭХАР или облучением ультрафиолетом привели к сокращению до 1–1,8 \log_{10} КОЕ/г *Salmonella Typhimurium* на поверхности листьев. Более эффективной была последовательная обработка указанными воздействиями, снижая содержание бактерий до 2,56–2,97 \log_{10} КОЕ, что подтверждает перспективность сочетанного действия UV и ЭХАР для обеспечения микробиологической безопасности свежих пищевых продуктов.

Микроорганизмы в естественной среде существуют, как правило, в форме симбиотической биопленки. Первичным источником формирования на поверхности оборудования пищевой промышленности биопленки является адгезия бактерий, которая является причиной загрязнения и, следовательно, несет риск инфицирования человека и/или нарушения технологического цикла.

Дезинтеграцию биопленки слабокислой фракцией ЭХАР изучали на образце, образованном из суспензии двух видов *Listeria monocytogenes* и *Staphylococcus aureus* (Yan et al., 2022). Кроме стабильности фракции ЭХАР при хранении, исследовали ее дезинфицирующую активность на (не) спорообразующие патогенные микроорганизмы. Установлено, что фракция ЭХАР, содержащая 30 ppm и 50 ppm соединений активного хлора, полностью уничтожила спорообразующий патоген *Bacillus cereus*. Кроме того, слабокислая

фракция ЭХАР в концентрации 25 мг/л инактивирует в биопленке клетки *Listeria monocytogenes* и *Staphylococcus aureus*. При этом клетки первого вида были более чувствительны к обработке. Эти результаты свидетельствуют об антибиопленочной активности слабокислой фракции ЭХАР, ее способности к нарушению гомеостаза внутри биопленки, снижению плотности клеток и, как следствие, дезинтеграции биопленки.

Перспективными представляются и такие новые направления исследований, направленные на создание активной упаковки хитозановой пленки, модифицированной маслом базилика, инкапсулированными в наночастицы кремнезема, в качестве альтернативы пластиковым упаковочным материалам (Sultan et al., 2023).

ВЫВОДЫ

Существующий спектр методов, направленных на изменение структуры и свойств полисахаридов, способствует решению актуальной задачи — разработке биоразлагаемой упаковки. Для этого используют отходы переработки природного сырья, содержащие полисахаридную компоненту. Интерес представляет упаковочный материал на основе пленок, изготовленных из хитозана с добавлением различных функционально активных компонент. Прочность, гибкость, антимикробная и антиоксидантная активность придают такой упаковке свойства, которые способны пролонгировать срок годности пищевых продуктов, сохраняя их полезные свойства и органолептические показатели. При этом обеспечивается биоразлагаемость — основной критерий экологической безопасности упаковочного материала.

В обзоре систематизированы материалы, опубликованные за последние несколько лет, которые нацелены на разработку способов улучшения свойств

пленок на основе полисахаридов. Анализ полученных результатов показывает, что хитозан уже используют для изготовления безопасной и биоразлагаемой упаковки¹. Такая упаковка становится значительно эффективнее при сочетании воздействия физических или химических средств обеззараживания поверхности пищевых продуктов. В их ряду, пожалуй, наиболее перспективной является дополнительная обработка метастабильной фракцией ЭХАР, что одновременно обеззараживает поверхность пищевых продуктов и увеличивает сроков их хранения, не влияя при этом на качество. Предварительная обработка электрохимически активированным водным раствором с последующей упаковкой в материал на основе хитозановой пленки повышает противомикробную и антиоксидантную защиту пищевых продуктов. Исследования в указанном направлении вносят значимый вклад в развитие методов консервации и хранения продукции пищевой промышленности.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Суворов Олег Александрович: концептуализация; подготовка и редактирование рукописи.

Ипатова Лариса Григорьевна: разработка методологии исследования; редактирование рукописи.

Погорелова Мария Александровна: администрирование и валидация данных.

Песоцкая Дарья Андреевна: проведение исследования; создание черновика рукописи.

Сафонов Максим Сергеевич: проведение исследования; валидация данных.

Погорелов Александр Григорьевич: общее руководство исследованием.

¹ Чувелёв, Д. И. (2022). Патент РФ 2770588. Пищевая плёнка на основе хитозана, способ её получения и применения.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Бахир, В. М. (2014). *Электрохимическая активация. Изобретения, техника, технология*. М.: ВИВА-СТАР
- Bakhir, V. M. (2014). *Electrochemical activation. Inventions, equipment, technology*. Moscow: VIVA-STAR. (In Russ.)
- Варламов, В. П., Ильина, А. В., Шагдарова, Б. Ц., Луньков, А. П., & Мысякина, И. С. (2020). Хитин/хитозан и его производные: Фундаментальные и прикладные аспекты. *Успехи биологической химии*, 60, 317–368.
- Varlamov, V. P., Il'ina, A. V., Shagdarova, B. Ts., Lun'kov, A. P., & Mysyakina, I. S. (2020). Chitin/chitosan and its derivatives: Fundamental and applied aspects. *Advances in Biological Chemistry*, 60, 317–368. (In Russ.)
- Загрутдинова, А. К., Гужова, А. А., & Хайруллин, Р. З. (2014). Электретные биорастворимые материалы на основе полиэтилена высокого давления и хитозана. *Вестник технологического университета*, 17(14), 281–284
- Zagrutdinova, A. K., Guzhova, A. A., & Khairullin, R. Z. (2014). Electret biodegradable materials based on high-pressure polyethylene and chitosan. *Bulletin of the Technological University*, 17(14), 281–284. (In Russ.)
- Икрамов, Р. А., & Нилова, Л. П. (2019). Формирование антиоксидантных свойств жележных продуктов на основе композиций ягодных экстрактов. В *Потребительский рынок: Качество и безопасность товаров и услуг: Материалы X Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева* (с. 230–233). Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева.
- Ikramov, R. A., & Nilova, L. P. (2019). Formation of antioxidant properties of jelly products based on berry extract compositions]. In *The Consumer Market: Quality and safety of goods and services: Materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 10th anniversary of the I. S. Turgenev Oryol State University* (pp. 230–233). Orel: Orlovskii gosudarstvennyi universitet imeni I.S. Turgeneva. (In Russ.)
- Камская, В. Е. (2016). Хитозан: Структура, свойства и использование. *Научное обозрение. Биологические науки*, (6), 36–42.
- Kamskaya, V. E. (2016). Chitosan: Structure, properties and use. *Scientific Review. Biological Sciences*, (6), 36–42. (In Russ.)
- Amor, G., Sabbah, M., Caputo, L., Idbella, M., de Feo, V., Porta, R., Fechtali, T., Mauriello, G., (2021). Basil essential oil: Composition, antimicrobial properties, and microencapsulation to produce active chitosan films for food packaging. *Foods*, 10(1), Article 121. <https://doi.org/10.3390/foods10010121>
- Bakhir, V. M., & Pogorelov, A. G. (2018). Universal electrochemical technology for environmental protection. *The International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences*, 7, 41–57.
- Brychcu, E., Kulig, D., Zimoch-Korzycka, A., Marycz, K., Jarmoluk, A. (2015). Physicochemical properties of edible chitosan/hydroxypropyl methylcellulose/lysozyme films incorporated with acidic electrolyzed water. *International Journal of Polymer Science*, 2015, Article 604759. <https://doi.org/10.1155/2015/604759>
- Chen, S., Qin, L., Xie, L., Yu, Q., Chen, Y., Chen, T., Lu, H., & Xie, J. (2022). Physicochemical characterization, rheological and antioxidant properties of three alkali-extracted polysaccharides from mung bean skin. *Food Hydrocolloids*, 132, Article 107867. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107867>
- Cui, R., & Zhu, F. (2021). Ultrasound modified polysaccharides: A review of structure, physicochemical properties, biological activities and food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 107, 491–508. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.018>
- De Oliveira, A. C. S., Ugucioni, J. C., & Borges, S. V. (2021). Effect of glutaraldehyde/glycerol ratios on the properties of chitosan films. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1), Article e15060. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15060>
- Dordevic, S., Dordevic, D., Sedlacek, P., Kalina, M., Tesikova, K., Antonic, B., Tremlova, B., Tremel, J., Nejezchlebova, M., Vapenka, L., Rajchl, A., & Bulakova, M. (2021). Incorporation of natural blueberry, red grapes and parsley extract by-products into the production of chitosan edible films. *Polymers*, 13(19), Article 3388. <https://doi.org/10.3390/polym13193388>
- Feng, Y., Juliet, I. C., Wen, C., Duan, Y., Zhou, J., He, Y., Zhang, H., & Ma, H. (2021). Effects of multi-mode divergent ultrasound pretreatment on the physicochemical and functional properties of polysaccharides from *Sagittaria sagittifolia* L. *Food Bioscience*, 42, Article 101145. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101145>
- Han, R., Liao, X., Ai, C., Ding, T., & Wang, J. (2021). Sequential treatment with slightly acidic electrolyzed water (SAEW) and UVC light-emitting diodes (UVC-LEDs) for decontamination of *Salmonella typhimurium* on lettuce. *Food Control*, 123, Article 107738. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107738>
- Hopkins, D. Z., Parisi, M. A., Dawson, P. L., & Northcutt, J. K. (2021). Surface decontamination of fresh, whole peaches (prunus persica) using sodium hypochlorite or acidified electrolyzed water solutions. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1822269>
- Jakubowska, E., Gierszewska, M., Nowaczyk, J., & Olewnik-Kruszkowska, E. (2021). The role of a deep eutectic solvent in changes of physicochemical and antioxidative properties of chitosan-based films. *Carbohydrate Polymers*, 255, Article 117527. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117527>
- Jakubowska, E., Gierszewska, M., Nowaczyk, J., & Olewnik-Kruszkowska, E. (2020). Physicochemical and storage properties of chitosan-based films plasticized with deep eutectic solvent. *Food Hydrocolloids*, 108, Article 106007. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106007>
- Jiang, Y. H., Cheng, J. H., & Sun, D. W. (2020). Effects of plasma chemistry on the interfacial performance of protein and polysaccharide in emulsion.

- Trends in Food Science & Technology*, 98, 129–139. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115208>
- Kan, X., Chen, G., Zhou, W., & Zeng, X. (2021). Application of protein-polysaccharide Maillard conjugates as emulsifiers: Source, preparation and functional properties. *Food Research International*, 150, Article 110740. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110740>
- Kang, M., Park, B., & Ha, J.-H. (2021). Characteristics in fresh cabbage disinfection against human norovirus. *Frontiers in Microbiology*, 12, Article 616297. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.616297>
- Król, Ż., Malik, M., Marycz, K., & Jarmoluk, A. (2016). Characteristic of gelatine, carrageenan and sodium alginate hydrosols treated by direct electric current. *Polymers*, 8(8), Article 275. <https://doi.org/10.3390/polym8080275>
- Leceta, I., Guerrero, P., Ibarburu, I., Duenas, M. T., & Caba, K. (2013). Characterization and antimicrobial analysis of chitosan-based films. *Journal of Food Engineering*, 116(4), 889–899. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.022>
- Liu, S., Xiao, Y., Shen, M., Zhang, X., Wang, W., & Xie, J. (2019). Effect of sodium carbonate on the gelation, rheology, texture and structural properties of maize starch-Mesona chinensis polysaccharide gel. *Food Hydrocolloids*, 87, 943–951. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.025>
- Lu, L., Guo, H., Kang, N., He, X., Liu, G., Li, J., He, X., Yan, X., & Yu, H. (2022). Application of electrolyzed water in the quality and safety control of fruits and vegetables: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(9), 5698–5711. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15916>
- Malinowska-Pańczyk, E., Staroszczyk, H., Gottfried, K., Kolodziejska, I., & Wojtasz-Pajak, A. (2015). Antimicrobial properties of chitosan solutions, chitosan films and gelatin-chitosan films. *Polimery*, 60(11–12), 735–741. <https://doi.org/10.14314/polimery.2015.735>
- Palotás, P., Jonas, G., Lehel, J., & Friedrich, L. (2020). Preservative effect of novel combined treatment with electrolyzed active water and lysozyme enzyme to increase the storage life of vacuum-packaged carp. *Journal of Food Quality*, 2020, Article 4861471. <https://doi.org/10.1155/2020/4861471>
- Pavinatto, A., de Almeida Mattos, A. V., Granato Malpass, A. C., Okura, M. H., Balogh, D. T., & Sanfelice, R. C. (2020). Coating with chitosan-based edible films for mechanical/biological protection of strawberries. *International Journal of Biological Macromolecules*, 151, 1004–1011. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.076>
- Qin, Y., Liu, Y., Yuan, L., Yong, H., & Liu, J. (2019). Preparation and characterization of antioxidant, antimicrobial and pH-sensitive films based on chitosan, silver nanoparticles and purple corn extract. *Food Hydrocolloids*, 96, 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.017>
- Rambabu, K., Bharath, G., Banat, F., Show, P. L., & Cicoletzi, H. H. (2019). Mango leaf extract incorporated chitosan antioxidant film for active food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 126, 1234–1243. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.196>
- Rebezov, M., Saeed, K., Khaliq, A., Ur Rahman, S. J., Sameed, N., Semenova, A., Khayrullin, M., Dydykin, A., Abramov, Y., Thiruvengadam, M., Ali Shariati, M., Bangar, S. P., Lorenzo, J. M. (2022). Application of electrolyzed water in the food industry: A review. *Applied Sciences*, 12(13), Article 6639. <https://doi.org/10.3390/app12136639>
- Ren, Y., Jiang, L., Wang, W., Xiao, Y., Liu, S., Luo, Y., Shen, M., & Xie, J. (2020). Effects of mesona chinensis benth polysaccharide on physicochemical and rheological properties of sweet potato starch and its interactions. *Food Hydrocolloids*, 99, Article 105371. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105371>
- Riaz, A., Lagnika, C., Luo, H., Dai, Z., Nie, M., Hashim, M. M., Liu, C., Song, J., & Li, D. (2020). Chitosan-based biodegradable active food packaging film containing Chinese chive (*Allium tuberosum*) root extract for food application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 150, 595–604. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.078>
- Riešutė, R., Salomskiene, J., Salaseviciene, A., & Macioniene, I. (2022). Effect of anolyte on *S. typhimurium* and *L. monocytogenes* growth in minced pork and beef cuts. *Foods*, 11(3), Article 415. <https://doi.org/10.3390/foods11030415>
- Roy, P. K., Mizan, M. F. R., Hossain, M. I., Han, N., Nahar, S., Ashrafudoulla, M., Tousehik, S. H., Shim, W.-B., Kim, Y.-M., & Ha, S.-D. (2021). Elimination of *Vibrio parahaemolyticus* biofilms on crab and shrimp surfaces using ultraviolet C irradiation coupled with sodium hypochlorite and slightly acidic electrolyzed water. *Food Control*, 128, Article 108179. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108179>
- Sheng, X., Shu, D., Li, Y., Zhan, Z., Yuan, X., Liu, S., Wu, H., Bing, S., & Zang, Y. (2021). Combined approach consisting of slightly acidic electrolyzed water and chitosan coating to improve the internal quality of eggs during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(6), 355–2361. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10858>
- Sultan, M., Abdelhakim, A. A., Nassar, M., & Hassan, Y. R. (2023). Active packaging of chitosan film modified with basil oil encapsulated in silica nanoparticles as an alternate for plastic packaging materials. *Food Bioscience*, 51, Article 102298. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102298>
- Tang, Q., & Huang, G. (2021). Improving method, properties and application of polysaccharide as emulsifier. *Food Chemistry*, 2021, Article 131937. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131937>
- Tango, C. N., Khan, I., Kounkeu, P.-F., Momna, R., Hussain, M. S., & Oh, D.-H. (2017). Slightly acidic electrolyzed water combined with chemical and physical treatments to decontaminate bacteria on fresh fruits. *Food Microbiology*, 67, 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.06.007>
- Turantaş, Ersus-Bilek, S., Samek, A., & Kuayasu, A. (2018). Decontamination effect of electrolyzed water washing on fruit and vegetables. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 7(4), 337–342. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2018.7.4.337-342>
- Wang, H., Chen, J., Ren, P., Zhang, Y., & Onyango, S. O. (2021). Ultrasound irradiation alters the spatial structure and improves the antioxidant activity of the yellow tea polysaccharide. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, Article 105355. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105355>
- Wang, H., Ke, L., Ding, Y., Rao, P., Xu, T., Han, H., Zhou, J., Ding, W., & Shang, X. (2022). Effect of calcium ions on rheological properties and structure of *Lycium barbarum* L. polysaccharide and its gelation

- mechanism. *Food Hydrocolloids*, 122, Article 107079. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107079>
- Wu, W., Huang, N., Huang, J., Wang, L., Wu, L., Wang, Q., & Zhao, H. (2022). Effects of the steaming process on the structural properties and immunological activities of polysaccharides from *Polygonatum cyrtoneura*. *Journal of Functional Foods*, 88, Article 104866. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104866>
- Xiao, J., Chen, X., Zhan, Q., Zhong, L., Hu, Q., & Zhao, L. (2022). Effects of ultrasound on the degradation kinetics, physicochemical properties and prebiotic activity of *Flammulina velutipes* polysaccharide. *Ultrasonics Sonochemistry*, 82, Article 105901. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105901>
- Yan, P., Chelliah, R., Jo, K.-H., Selvakumar, V., Chen, X., Jo, H.-Y., & Oh, D. H. (2022). Stability and antibiofilm efficiency of slightly acidic electrolyzed water against mixed-species of *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus*. *Frontiers in Microbiology*, 13, Article 865918. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.865918>

УДК 631: 635.1

Разработка алгоритмов повышения лёжкоспособности корнеплодных овощей: обзор предметного поля

Краснодарский
научно-исследовательский
институт хранения и переработки
сельскохозяйственной продукции –
филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский
федеральный научный центр
садоводства, виноградарства,
виноделия», г. Краснодар, Российская

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Купин Григорий Анатольевич
E-mail: griga_77@mail.ru

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

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Купин, Г.А., Першакова, Т.В., Але-
шин, В.Н., Семиряжко, Е.С., & Яковлева,
Т.В. (2023). Разработка алгоритмов
повышения лёжкоспособности корне-
плодных овощей: обзор предметного
поля. *Хранение и переработка сельхоз-
сырья*, (3), 28-42.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2023.462>

ПОСТУПИЛА: 03.03.2023
ПРИНЯТА: 15.09.2023
ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.



Г. А. Купин, Т. В. Першакова, В. Н. Алешин, Е. С. Семиряжко,
Т. В. Яковлева

АННОТАЦИЯ

Введение: Потери и снижение качества продукции растениеводства происходит на этапах производства, транспортирования, хранения, реализации и зависят от множества факторов: вид и сорт, степень зрелости, физиологические, физико-химические, микробиологические показатели, параметры транспортирования и хранения. Несмотря на активную работу учёных во всём мире, ограниченным остаётся количество исследований, рассматривающих проблему повышения лёжкоспособности сельскохозяйственной продукции как комплексную, когда снижение потерь и сохранение показателей качества предусматривает реализацию алгоритмов, обеспечивающих лёжкоспособность продукции растениеводства на всех этапах, начиная от подбора семенного материала и заканчивая реализацией на предприятиях торговли и общественного питания.

Цель: Анализ и систематизация результатов исследований, посвящённых повышению лёжкоспособности продукции растениеводства, и разработка на их основе алгоритмов повышения лёжкоспособности корнеплодных овощей на примере свёклы столовой.

Материалы и методы: В обзор были включены статьи на русском и английском языках из баз данных WoS, Scopus и РИНЦ. В обзор были включены статьи, опубликованные на русском и английском языках. Поиск был ограничен периодом с 2003 по 2022 год. В центре внимания были статьи, опубликованные в научных журналах, прошедшие процедуру рецензирования, подтверждающую ее качество. При этом статьи должны иметь заданный индекс цитирования (процитированы в базах данных не менее 50-ти раз). Статьи из тематических конференций отбирались исходя из количества их цитирований и в случае их обнаружения по следующим ключевым словам хранение, реализация, корнеплоды, свёкла столовая, сорт, лёжкоспособность, электромагнитные поля крайне низких частот, биопрепараты.

Результаты: В ходе исследования были определены инструменты управления лёжкоспособностью: ботанический сорт, степень зрелости, биохимический состав, микробиологические показатели, параметры обработки, параметры хранения (температура, относительная влажность воздуха, состав газовой среды). При этом обработка может проводиться электромагнитными полями крайне низких частот (варьируемые параметры: величина электромагнитной индукции, частота, время обработки) и биопрепаратами (варьируемые параметры: вид и дозировка препарата).

Выводы: Проведённый систематический обзор позволил создать алгоритмы повышения лёжкоспособности свёклы столовой для долгосрочного и краткосрочного хранения, включающие такие этапы, как выбор сорта с генетически обусловленной лёжкостью, выращивание, уборка, транспортирование, подготовка к хранению, реализация на предприятиях оптовой и розничной торговли. Реализация разработанных алгоритмов может способствовать снижению потерь при хранении, стабилизации качественных характеристик и увеличению срока хранения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

хранение, реализация, корнеплоды, свёкла столовая, сорт, лёжкоспособность, электромагнитные поля крайне низких частот, биопрепараты

Development of Algorithms for Increasing the Keeping Quality of Root Vegetables: A Scoping Review

Krasnodar Research Institute of Storing and Processing of Agricultural Products – branch of FSBI 'North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture and Winemaking, Krasnodar, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Grigory A. Kupin

E-mail: : griga_77@mail.ru

FOR CITATIONS:

Kupin, G.A., Pershakova, T.V., Aleshin, V.N., Semiryazhko, E.S., & Yakovleva, T.V. (2023). Development of Algorithms for increasing the keeping quality of root vegetables: A Scoping review. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 28-42. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.462>

RECEIVED: 03.03.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Grigory A. Kupin, Tatiana V. Pershakova, Vladimir N. Aleshin, Elizaveta S. Semiryazhko, Tatiana V. Yakovleva

ABSTRACT

Background: Losses and reductions in the quality of crop products occur at the stages of production, transportation, storage, sales and depend on many factors: type and variety, degree of maturity, physiological, physicochemical, microbiological indicators, transportation and storage parameters. Despite the active work of scientists around the world, the number of studies remains limited that consider the problem of increasing the keeping quality of agricultural products as a complex one, when reducing losses and maintaining quality indicators involves the implementation of algorithms that ensure the keeping quality of crop products at all stages, from the selection of seed material to sales at trade and catering establishments.

Purpose: Analysis and systematization of research results devoted to increasing the shelf life of crop products, and on their basis, developing algorithms for increasing the shelf life of root vegetables using the example of red beets.

Materials and Methods: The review included articles in Russian and English from the WoS, Scopus and RSCI databases, as well as the results of our previous studies.

The review included articles published in Russian and English. The search was limited to the period from 2003 to 2022. The focus was on articles published in scientific journals that had undergone a peer review process to confirm their quality. In this case, articles must have a given citation index (cited in databases at least 50 times). Articles from thematic conferences were selected based on the number of their citations and, if found, using the following keywords: storage, sales, root crops, table beets, variety, shelf life, electromagnetic fields of extremely low frequencies, biological products. Generalization of results was used as a research method.

Results: During the study, tools for managing shelf life were identified: botanical variety, degree of maturity, biochemical composition, microbiological indicators, processing parameters, storage parameters (temperature, relative humidity, gas composition). In this case, treatment can be carried out with electromagnetic fields of extremely low frequencies (variable parameters: the magnitude of electromagnetic induction, frequency, treatment time) and biological products (variable parameters: type and dosage of the drug).

Conclusion: The conducted systematic review made it possible to create algorithms for increasing the shelf life of table beets for long-term and short-term storage, including such stages as selection of a variety with genetically determined shelf life, cultivation, harvesting, transportation, preparation for storage, and sale at wholesale and retail trade enterprises. The implementation of the developed algorithms can help reduce storage losses, stabilize quality characteristics and increase shelf life.

KEYWORDS

storage, root crops, beets, algorithm, extremely low frequency electromagnetic fields, biopreparations

ВВЕДЕНИЕ

Важнейший приоритет государственной политики — обеспечение населения качественными и безопасными продуктами питания¹. При этом одним из путей его реализации является снижения потерь и сохранение качества продукции растениеводства. Потери и снижение качества продукции растениеводства образуются на этапах производства, транспортирования, хранения, реализации и зависят от множества факторов: вид и сорт, степень зрелости, физиологические, физико-химические, микробиологические показатели, параметры транспортирования и хранения, инструменты управления процессами хранения. Определяющим фактором при этом является лёжкоспособность — способность храниться в течение определённого времени без значительных потерь и снижения качества — важнейшая хозяйственно-биологическая характеристика растительного сырья (Лысоченко, 2015; Першакова и соавт., 2022; Natarajan et al., 2019; Hoffmann et al., 2018).

Корнеплоды свёклы столовой по хозяйственному назначению широко используются как для пищевых целей, так и для технической переработки (Глебова и соавт., 2017; Cui et al., 2022; Mikołajczyk-Bator, 2022). Они являются источником витамина В₉ и марганца (Ravichandran et al., 2020). Помимо этого, особенностью свёклы столовой является содержание беталаинов — пигментов красного или жёлтого цвета, применяемых в качестве пищевых красителей (Chhikara et al., 2019; Nirmal et al., 2021). Беталаины представляют интерес также как биологически активные вещества из-за своих антиоксидантных свойств (Fu et al., 2020; Nadipour et al., 2020; Park et al., 2021; Yi et al., 2017). Химический состав позволяет свёкле столовой оказывать благотворное влияние на здоровье человека и косвенно — за счёт избирательного стимулирующего воздействие на полезные группы кишечных бактерий, что позволяет рассматривать её корнеплоды в качестве пребиотических ингредиентов (de Oliveira et al., 2023). Однако корнеплоды могут повредиться во время возделывания, сбора урожая, при транспортировке и хранении, что может привести к большому количеству потерь. Снижение качества продукции до момента ее потребления может составлять 20–40%, что значительно сокращает рентабельность ее производства (Chakwizira

et al., 2016; Kleuker & Hoffmann, 2022). Вследствие этого, необходимо проводить комплекс мероприятий по оптимизации процесса хранения на основе мониторинга состояния объектов хранения, а также выполнения послеуборочной обработки (Zavrazhnov et al., 2020; Eslami et al., 2021).

В России и за рубежом активно ведётся поиск и разработка технологических приёмов для повышения качества хранения сельскохозяйственной продукции, часть которых уже широко используется — применение регулируемых и модифицированных газовых сред, озонирование, активное вентилирование, обработка различными препаратами и другие (Akan et al., 2022; Asgar, 2020; Awasthi et al., 2019; Barba-Espin et al., 2018; Dzakhmisheva et al., 2021; Pershakova et al., 2021; Tang et al., 2020). Доказано, что применение физических и биотехнологических приёмов при хранении сельскохозяйственной продукции позволяет продлить срок хранения сырья, а также минимизировать потери (Devgan et al., 2019; Ibragimov et al., 2022; Jiang et al., 2021; Sudhakar et al., 2021). При этом наибольшего эффекта можно достичь, реализуя комплексный подход к снижению потерь и поддержанию качества продукции растениеводства в системе «Производство — Транспортирование — Хранение — Реализация» с учётом различных технологических факторов и сортовых особенностей. В связи с этим актуальна разработка новых или совершенствование существующих алгоритмов повышения лёжкоспособности.

Целью данного исследования является анализ и систематизация результатов работ, посвящённых повышению лёжкоспособности продукции растениеводства, и разработка на их основе алгоритмов повышения лёжкоспособности корнеплодных овощей на примере свёклы столовой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Базы данных и временные рамки

Был проведён анализ отечественной и зарубежной научной литературы по вопросам обеспечения лёжкоспособности корнеплодных овощей. Материалами для исследования послужили 60 работ, опубликованные в период с 2003 по 2023 гг., в том

¹ Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия. Утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. №717.

числе 11 источников на русском и 49 источников на английском языках, опубликованные в научных журналах и монографиях. Поиск проводили в международных базах данных WoS, Scopus, а также отечественной электронной библиотеке eLibrary.Ru (РИНЦ).

Критерии включения и исключения источников

Для поисковых запросов в отечественной электронной библиотеке были использованы следующие ключевые слова и словосочетания: корнеплоды, свёкла столовая, лёжкоспособность, хранение, реализация, электромагнитные поля крайне низких частот, биопрепараты.

Для поисковых запросов в иностранных базах данных использовали термины: beetroot, red beet, root crops, storability, postharvest, extremely low frequency electromagnetic fields, biopreparations.

Критерии включения:

- (1) Статья написана в период 2003–2023 год;
- (2) Статья соответствует теме исследования;
- (3) Типы анализируемых статей — оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи, монографии, диссертации и ГОСТы.

Критерии исключения:

- (1) Статья не соответствует теме данного обзора;
- (2) Статья написана не на русском или английском языках;
- (3) Содержание статьи дублируется (повторяющиеся источники классифицировали только один раз).

Анализ и систематизация данных

С целью визуализации данных результаты анализа были представлены в виде таблиц и диаграмм. Схема проведения исследования была составлена в соответствии с протоколом PRIZMA (Рисунок 1).

Извлечение и анализ данных

В рамках поиска ответов на поставленные вопросы исследования были изучены 60 отобранных работ. Из них были извлечены данные (касающиеся таких тем, как свойства и особенности корнеплодов свёклы столовой, факторы, влияющие на лёжкоспособность, способы обработки перед хранением и параметры хранения, процессы, протекающие после снятия с хранения) и подвергнуты последующему анализу. Примеры извлечения данных из статей, включённых в обзор, представлены в Таблице 1.

Рисунок 1

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

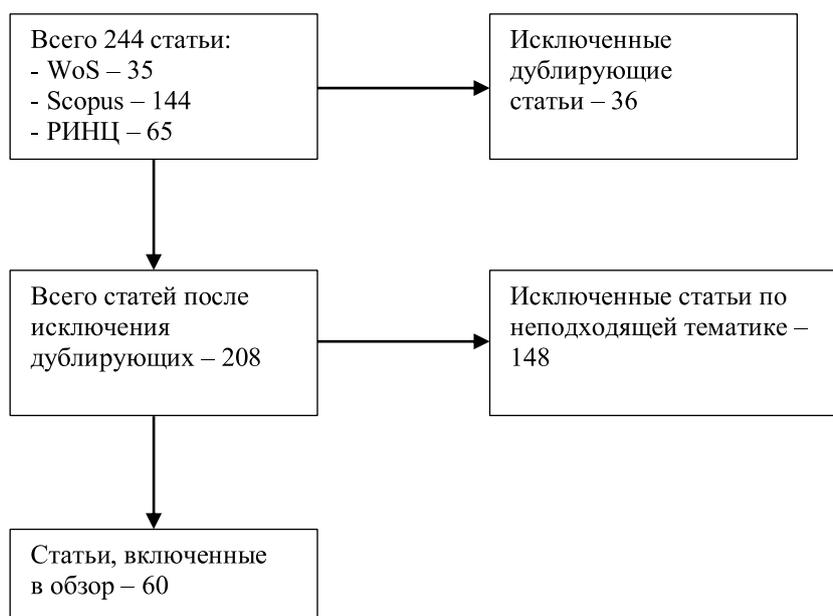


Таблица 1

Примеры извлечения данных из статей, включённых в обзор

№	Заглавие	Автор и год	Свойства и особенности корнеплодов свёклы столовой	Способы и параметры обработки перед хранением и хранения	Процессы, протекающие после снятия с хранения
1	Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables	Ravichandran et al., 2020	Red beet gets its distinctive color due to the presence of nitrogen-containing water-soluble pigments betalains. It is widely used as a natural food colorant and labeled as E-162. Red beet is a rich source of vitamins, such as vitamin C and vitamin B6, folate, minerals, dietary fiber, and also possesses has high antioxidant capacity.	—	—
2	Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce	Edelenbos et al.,	—	Beetroots are relatively resistant to decay in storage. They can tolerate around 10% O ₂ and 10% CO ₂ for 1 month. Lower O ₂ concentration (3%) reduces respiration rate while elevated CO ₂ concentrations (5%–14% CO ₂ in 6%–15% O ₂) increase respiration rate. Elevated CO ₂ (≥3%) prevents sprouting and postpones microbial decay, while reduced O ₂ (3%) increases decay.	—
3	Environmental conditions encountered during typical consumer retail display affect fruit and vegetable quality and waste.	Nunes et al., 2009	—	—	Temperatures measured inside retail displays showed a wide variation, depending on the store and location inside the display, ranging from –1.2 °C to 19.2 °C in refrigerated displays and from 7.6 °C to 27.7 °C in non-refrigerated displays. RH ranged from 55.9% to 92.9% in refrigerated displays and from 29.7% to 86.6% in non-refrigerated displays.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выбор сорта и условия выращивания

Для долгосрочного хранения свёклы столовой рекомендуются сорта среднего и позднего срока созревания; для краткосрочного хранения и реализации в виде пучковой продукции рекомендуются сорта раннего срока созревания. Связано это, в том числе, с химическим составом корнеплодов: к завершению вегетационного периода корнеплоды свёклы среднего и позднего сроков созревания характеризуются достаточно высоким содержанием сухих веществ (15–20%), в том числе углеводов (10–15%), а также бетанина (90–250 мг% и более), что обуславливает потенциально высокую лёжкоспособность (Ravichandran et al., 2020). Объяснить это можно тем, что, например, бетанин (соединение из группы беталаинов), по данным ряда исследователей, обладает помимо прочего ещё и антибактериальной активностью (Manohar et al., 2017). Корнеплоды свёклы раннего срока созревания характеризуются меньшим содержанием сухих веществ (от 10 до 15%), в том числе углеводов от 7 до 10%; содержание бетанина у сортов раннего срока созревания — от 60 до 85 мг%. Потенциальная лёжкоспособность этих корнеплодов достаточно низкая (Ravichandran et al., 2020; Tanumihardjo et al., 2016). При этом содержание бетанина и других веществ в корнеплодах может значительно отличаться в зависимости от сорта (Sawicki et al., 2016). Таким образом, для успешной организации хранения необходим выбор сорта с генетически обусловленной лёжкостью.

Влияние на химический состав корнеплодов также оказывают условия выращивания. Так, для увеличения содержания в корнеплодах сухих веществ, возможно применение специальных приёмов в процессе вегетации, направленных, например, на противодействие засухе за счёт внесения в почву биоугля (Lebrun et al., 2022). А повышенную массовую долю фенольных веществ и беталаинов в свёкле столовой можно получить благодаря органическому земледелию (минимизации использования синтетических пестицидов и удобрений) (Carrillo et al., 2019; Heimler et al., 2017).

Важным этапом возделывания любого растительного сырья является контроль заболеваний, так

как они приводят к снижению качества или даже потере части урожая. Перспективным направлением в последние годы считается применение биологических фунгицидов — препаратов на основе безвредных микроорганизмов (например, *Bacillus subtilis*), которые способны повысить устойчивость растений к патогенным микроорганизмам за счёт индукции резистентности (активизации их естественных защитных свойств) (Choudhary & Johri, 2009; Kristoffersen et al., 2018). Среди биологических фунгицидов отечественного производства можно отметить такие препараты на основе различных штаммов *Bacillus subtilis*, как, например, Фитоспорин-М, Бактофит, Витаплан.

Уборка и транспортирование

На качество и лёжкоспособность растительного сырья также влияет выбор даты сбора урожая (Alami et al., 2021). Конкретное значение зависит от условий окружающей среды и сорта, но, в общем, считается, что оптимальные сроки сбора урожая свёклы столовой ранней — на 50–60 день от первых всходов. При этом в пищу могут употребляться не только корнеплоды, но и листья, которые на данном этапе имеют наилучшие пищевые и вкусовые качества. Сбор урожая свёклы столовой среднего срока созревания проводят на 80–100 день от момента первых всходов, поздние сорта убирают на 100–130 день (Edelenbos et al., 2020; Takács-Hájosa & Vargas-Rubóczki, 2022).

Сбор ранней свёклы проводят вручную в сухую, солнечную погоду; выкопанную свёклу очищают мокрым способом, просушивают. Сбор корнеплодов среднего и позднего сроков созревания может быть осуществлён механизированным способом, но в этом случае следует учитывать, что часть урожая получит механические повреждения, снижающие лёжкость. Ведутся разработки технологий, автоматизирующих идентификацию повреждений продукции при механизированной уборке (Osipov et al., 2022). После сбора, корнеплоды свёклы просушивают на открытом воздухе и очищают сухим способом от земли, срезают ботву, оставляя черешки до 2 сантиметров. Далее корнеплоды подаются на сортировку, где убирают больные и повреждённые экземпляры. На следующем этапе проводится калибровка, где корнеплоды отбираются по форме и размеру: размер поперечного диаметра свёклы

столовой ранней (пучковая продукция) может варьироваться от 1,5 до 5 см (Першакова и соавт., 2022). Поперечный диаметр корнеплодов среднего и позднего сроков созревания должен составлять от 5 до 14 см (ГОСТ 1722, ГОСТ 32285).

После сбора желательнее как можно скорее (особенно в случае пучковой продукции) провести предварительное охлаждение корнеплодов до температуры 5...10 °С, что позволяет снизить интенсивность дыхания и связанных с ним биохимических процессов, предотвратить потерю массы и развитие фитопатогенных микроорганизмов (Akan et al., 2022; Barbosa et al., 2011; Singla et al., 2020).

Для закладки на хранение корнеплоды свёклы транспортируют до места хранения транспортом с защитой от атмосферных осадков и отрицательных температур в соответствии с правилами перевозки скоропортящихся грузов. Транспортную упаковку маркируют с нанесением манипуляционных знаков: «Скоропортящийся груз», «Ограничение температуры». Для сохранения качества сырья при транспортировке рекомендуется соблюдать температурно-влажностный режим: 1–10 °С, относительная влажность воздуха 90±5 %. При этом транспортирование может осуществляться в условиях модифицированной атмосферы, что позволяет дополнительно снизить интенсивность дыхания и подавить развитие микроорганизмов. В этом случае параметры газовой среды для корнеплодов свёклы могут составлять O₂ 5–10 % и CO₂ < 5 % (Першакова и соавт., 2022; Bodbodak & Moshfeghifar, 2016; Rama & Narasimham, 2003).

Способы обработки перед хранением и хранения

В проведённых нами ранее исследованиях были изучены закономерности влияния параметров обработки корнеплодов, в том числе свёклы столовой, электромагнитными полями крайне низких частот (частота, электромагнитная индукция, время обработки) и биопрепаратами (вид, концентрация), а также влияние параметров хранения на их товарное качество (Купин и соавт., 2020а), органолептические показатели (Купин и соавт., 2020б), величину потерь (Купин и соавт., 2020с) и биохимические показатели (Панасенко и соавт., 2019). На основе установленных закономерностей были выявлены,

к примеру, оптимальные параметры обработки корнеплодов перед последующим краткосрочным хранением. При этом было показано, что лёжкоспособность корнеплодов может быть увеличена путем обработки перед закладкой на хранение электромагнитными полями крайне низких частот с параметрами 15–30 Гц, 10–30 мин, 1–12 мТл (Купин и соавт., 2020d).

Следует заметить, что изучением влияния электромагнитных полей на устойчивость растительного сырья при хранении занимаются и другие исследователи. Например, в работах (Касьянов и соавт., 2019; Назарько и соавт., 2019; Nazarko et al., 2021) было установлено, что обработка яблок электромагнитным полем с частотой 18...100 Гц приводит к снижению микробиологической обсеменённости и сохранению витамина С при хранении.

В дальнейшем хранение свёклы столовой рекомендуется осуществлять в закрытых вентилируемых помещениях при температуре 0...1 °С, относительной влажности воздуха 90–95 % (ГОСТ 1722). При краткосрочном хранении свёклы столовой ранней в таких условиях срок хранения составляет 10–14 дней. При долгосрочном хранении корнеплодов средних и поздних сроков созревания срок хранения может достигать 4–10 месяцев (Edelenbos et al., 2020).

При этом возможно хранение свёклы в условиях регулируемой атмосферы. Увеличенная концентрация CO₂ и пониженная O₂ предотвращают прорастание и подавляют развитие микробиологической порчи. Однако изменять концентрации этих газов можно лишь до определённых уровней: корнеплоды свёклы столовой чувствительны к избытку CO₂, так что его концентрация в хранилище не должна превышать 5 %; также не следует допускать падения O₂ ниже 3 %. Иначе вместо предотвращения возникновения порчи можно получить её усиленное развитие. Таким образом, рекомендуемыми параметрами газовой среды при хранении свёклы столовой являются: CO₂ 3...5 %, O₂ 5...10 %. Впрочем, хранение корнеплодов свёклы столовой в регулируемой атмосфере не позволяет существенно повысить их лёжкость, так что практикуется нечасто (Першакова и соавт., 2022; Edelenbos et al., 2020; Rama & Narasimham, 2003).

Подготовка к реализации и реализация

После снятия с длительного хранения и перед отправкой на реализацию корнеплоды сортируют. При наличии потребности корнеплоды промывают, обрабатывают раствором биопрепарата (например, Бактофит, 0,2% водный раствор, 2–3 л/т) для предотвращения развития микробиологической порчи, просушивают при температуре 5–10 °С (Купин и соавт., 2020d).

Затем свёклу упаковывают и наносят маркировку. При этом корнеплоды могут быть расфасованы по 0,5–5 кг в тканевые мешки, мешки из полимерных плёнок, пакеты из полимерных и комбинированных материалов. Далее фасованные или нефасованные корнеплоды упаковывают в транспортную тару и перевозят к месту реализации при температуре 1–10 °С. На предприятии розничной торговли хранят в закрытых вентилируемых помещениях с относительной влажностью воздуха 85–90% при температуре воздуха от 0 до 10 °С включительно — не более 3 суток, при температуре воздуха выше 10 °С — не более 2 суток (ГОСТ 32285).

При хранении, транспортировке и реализации корнеплодов, как и любого растительного сырья, важно помнить, что несоблюдение температурно-влажностного режима может стать причиной значительных потерь (Porat et al., 2018). Усложняет ситуацию тот факт, что цепь поставок от производителя продукции до её потребителя может быть сложной и включать до 10 и более участников, а условия хранения могут отличаться на всех этапах (Emond, 2022).

Причём этапу пребывания продукции на предприятиях розничной торговой сети («на полке») следует уделять не меньше внимания, чем остальным этапам. Так, в работе (Nunes et al., 2009) было установлено, что температуры внутри витрин ряда изученных торговых точек сильно различались в зависимости от магазина и расположения внутри витрины и варьировались от –1,2 °С до 19,2 °С в охлаждаемых витринах и от 7,6 °С до 27,7 °С в неохлаждаемых витринах. Относительная влажность воздуха при этом колебалась от 55,9% до 92,9% в охлаждаемых витринах и от 29,7% до 86,6% в неохлаждаемых витринах. В результате именно несоблюдение температурно-влажностного режима было основной причиной (55%) потерь продукции.

Чтобы это предотвратить, в последние годы разрабатывается ряд технических решений, таких как, к примеру, беспроводные сенсоры для дистанционного контроля условий хранения и качества продукции, датчики для определения этилена, наличие которого в атмосфере хранилища может приводить к перезреванию и порче сырья, или летучих соединений, образующихся при появлении плесневой инфекции (Jedermann et al., 2014). Но, помимо использования современного оборудования на отдельных этапах, ключевую роль в сокращении потерь может сыграть углубление сотрудничества и координация действий между участниками цепи поставок продукции растениеводства (Filimonau & Ermolaev, 2021).

Разработка алгоритмов, обеспечивающих повышение лёжкоспособности продукции растениеводства, должна предусматривать учёт факторов, влияющих на формирование качества продукции в системе «Производство — Транспортирование — Хранение — Реализация». Главными контролирующими факторами должны являться: оценка качества продукции, закладываемой на хранение; выбор методов, способов и инструментов управления процессами хранения; выбор способов транспортирования, подготовки помещений и оборудования; размещение в хранилище; комплекс мероприятий по оптимизации процесса хранения на основе мониторинга состояния объектов хранения; снятие с хранения; оценка качества; товарная и предпродажная подготовка и обработка; транспортировка к месту реализации; предпродажная подготовка (Edelenbos et al., 2020; Finch et al., 2014; Sudhakar et al., 2021).

В результате изучения работ, посвящённых повышению лёжкоспособности продукции растениеводства, и проведённых нами ранее исследований по обработке растительного сырья электромагнитными полями крайне низкой частоты (ЭМП КНЧ) и биопрепаратами, была составлена структурная схема системы «Производство — Транспортировка — Хранение — Реализация» корнеплодов (представлена на Рисунке 2). Также был разработан алгоритм управления лёжкоспособностью свёклы столовой при долгосрочном (Рисунок 3) и краткосрочном (Рисунок 4) хранении, включая варьируемые показатели, особо влияющие на качество сохранности сырья: температуру, относительную влажность воздуха (ОВВ), состав атмосферы.

Рисунок 2

Структурная схема системы «Производство – Транспортировка – Хранение – Реализация» корнеплодов

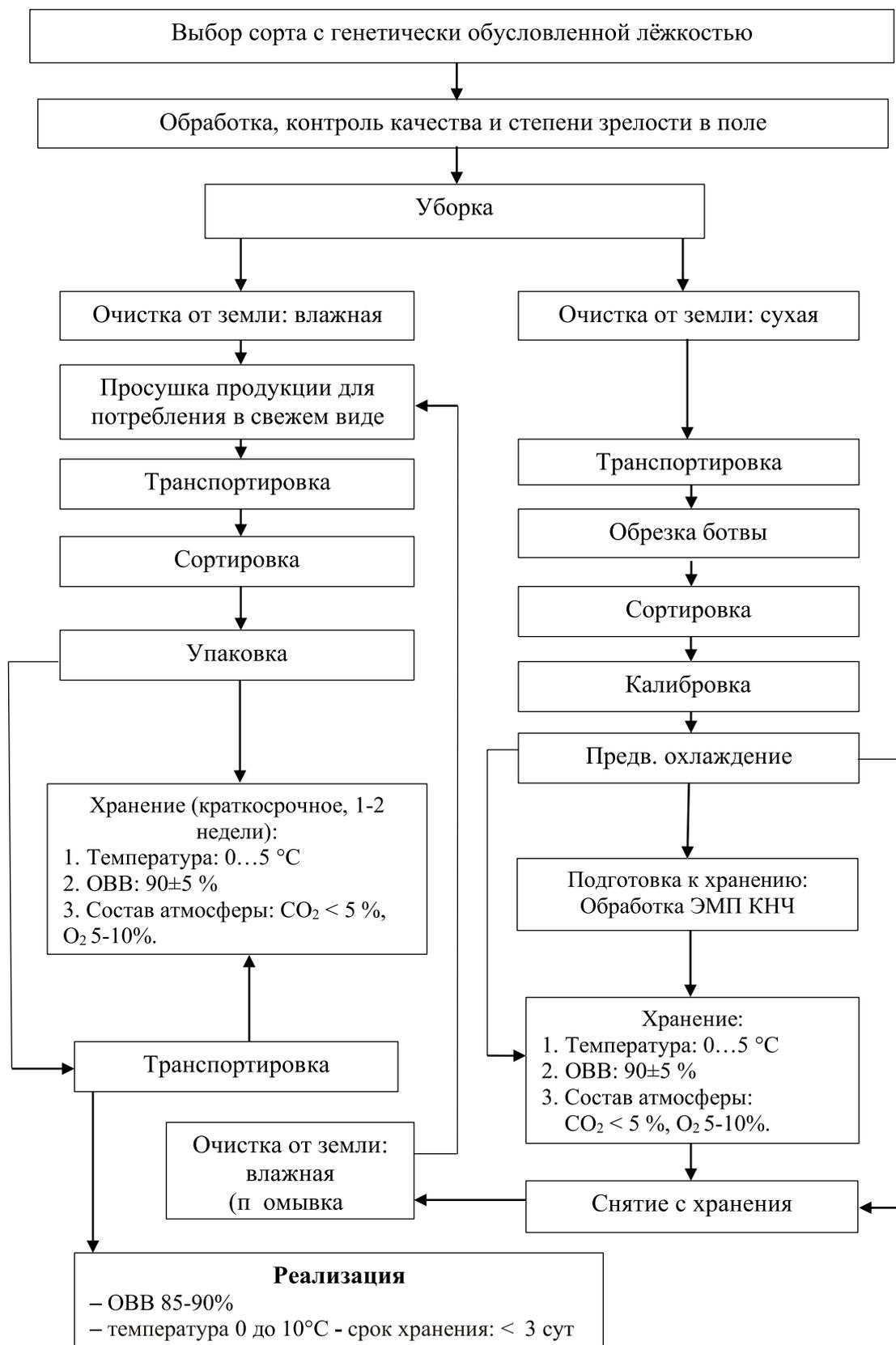
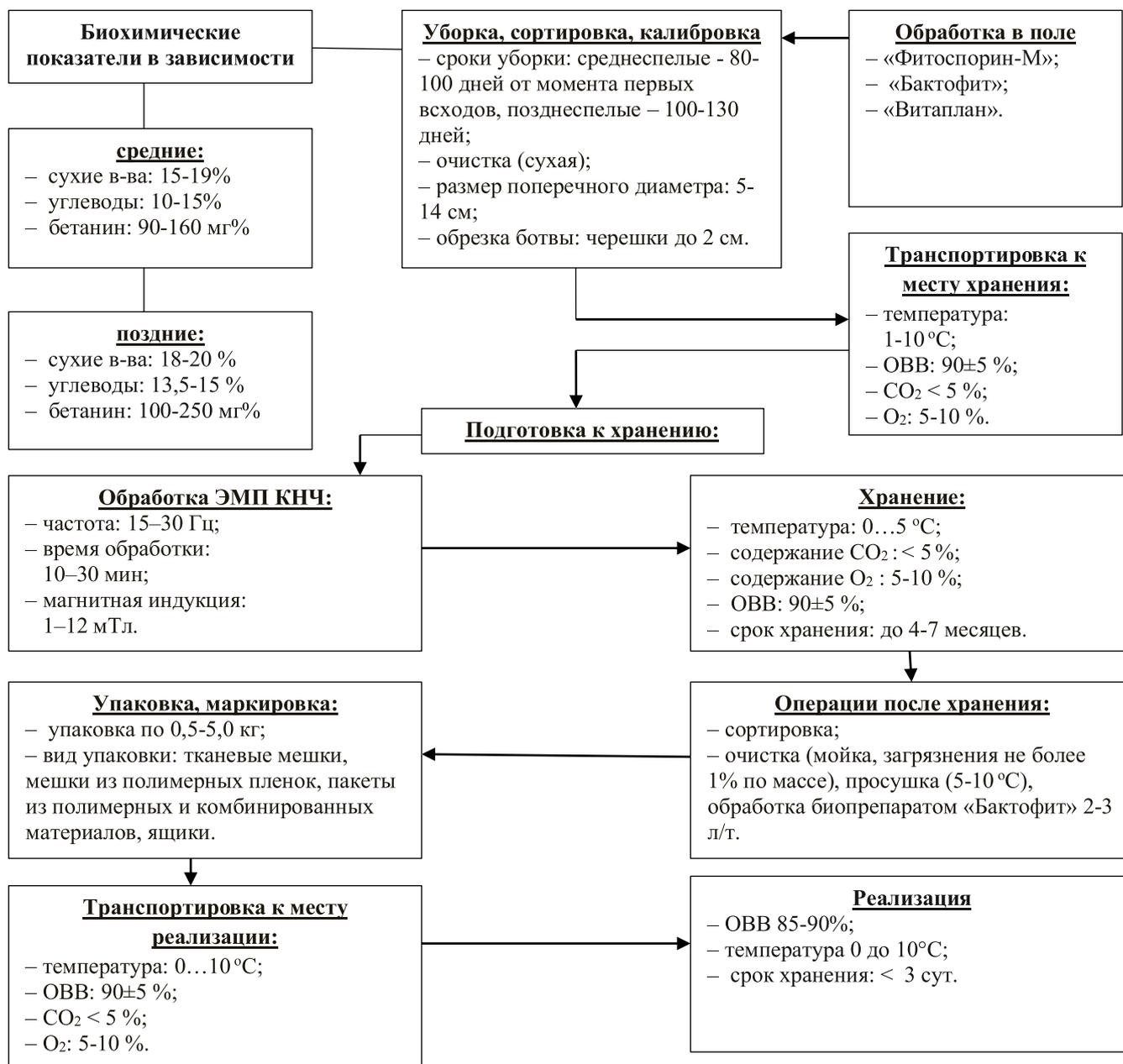


Рисунок 3

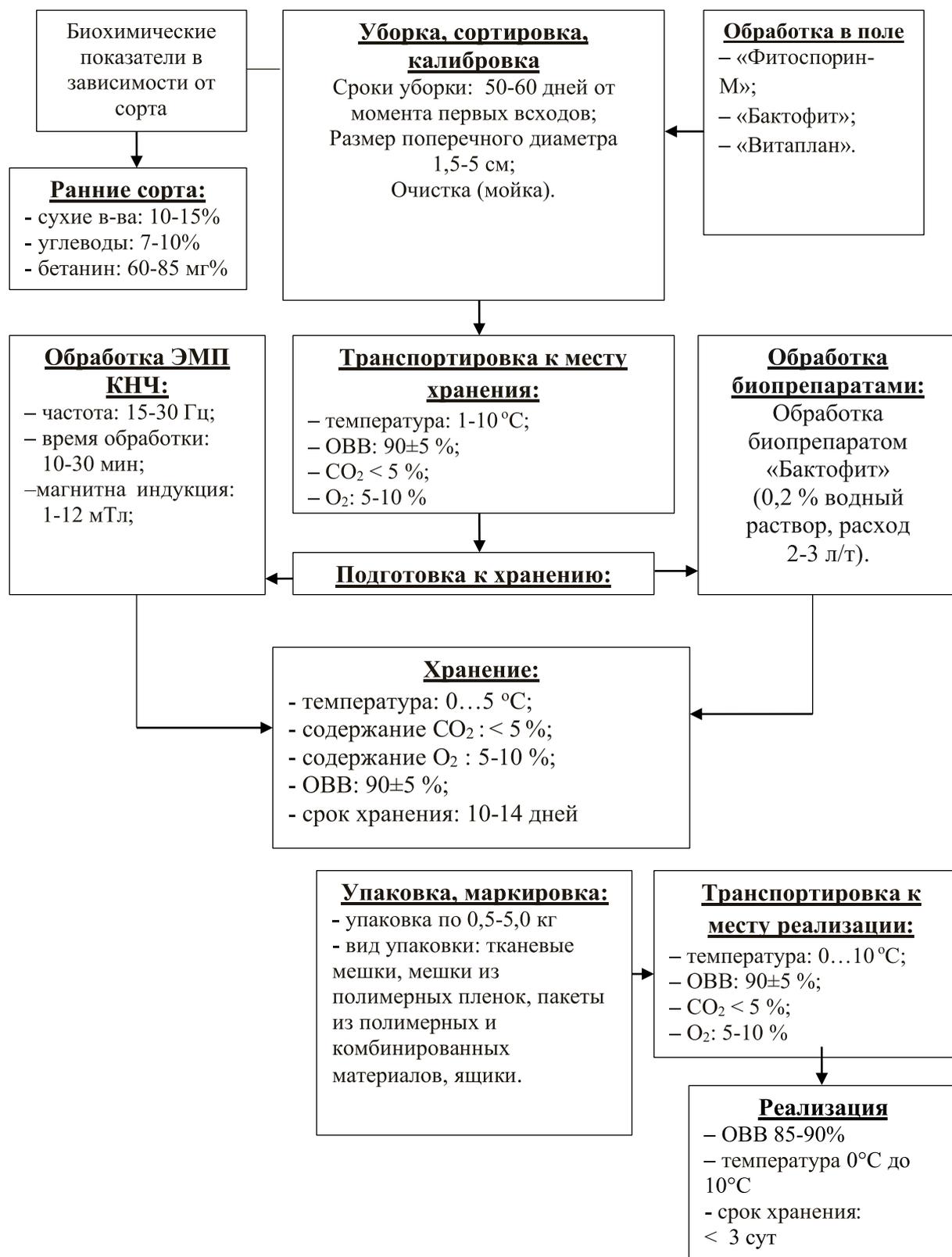
Структура данных алгоритма управления лёжкоспособностью свёклы столовой при долгосрочном хранении (варьируемые показатели)



Примечание. Составлено авторами.

Рисунок 4

Структура данных алгоритма управления лёжкоспособностью свёклы столовой ранней при краткосрочном хранении (варьируемые показатели)



Примечание. Составлено авторами.

ВЫВОДЫ

В представленном обзоре проведен анализ литературных источников и систематизированы результаты исследований, посвящённых повышению лёжкоспособности продукции растениеводства. На основе полученных систематизированных данных были сформированы алгоритмы управления лёжкоспособностью корнеплодных овощей на примере свёклы столовой; определены инструменты управления лёжкоспособностью: ботанический сорт, степень зрелости, биохимический состав, микробиологические показатели, параметры обработки, параметры хранения (варьируемые параметры — температура, влажность, состав газовой среды). Отмечено, что обработка может проводиться электромагнитными полями крайне низких частот (варьируемые параметры — величина электромагнитной индукции, частота, время обработки) и биопрепаратами (варьируемые параметры — вид и дозировка препарата).

Применение разработанных алгоритмов повышения лёжкоспособности свёклы столовой может

позволить снизить потери при хранении и обеспечить стабилизацию качественных характеристик, что, в свою очередь, позволит увеличить сроки реализации.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Купин Григорий Анатольевич: концептуализация; разработка методологии исследования; администрирование проекта; редактирование рукописи.

Першакова Татьяна Викторовна: концептуализация; проведение исследования; валидация данных; редактирование рукописи.

Алешин Владимир Николаевич: проведение исследования; администрирование данных.

Семиряжко Елизавета Сергеевна: проведение исследования; подготовка черновика рукописи.

Яковлева Татьяна Викторовна: проведение исследования; визуализация.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Глебова, С. Ю., Голуб, О. В., & Мотовилов, О. К. (2017). Использование свеклы столовой при производстве соусов для общественного питания. *Пищевая промышленность*, (10), 40–42.
- Glebova, S. Yu., Golub, O. V., & Motovilov, O. K. (2017). The use of beetroot in the production of sauces for public catering. *Food Industry*, (10), 40–42. (In Russ.)
- Касьянов, Г. И., Кириченко, А. В., Лобанов, В. Г., Назарько, М. Д., & Романец, И. И. (2019). Электрофизические и биотехнологические подходы к хранению яблок органического сада. *АгроФорум*, (7), 30–35.
- Kas'yanov, G. I., Kirichenko, A. V., Lobanov, V. G., Nazar'ko, M. D., & Romanets, I. I. (2019). Electrophysical and biotechnological approaches to the storage of organic garden apples. *AgroForum*, (7), 30–35. (In Russ.)
- Купин, Г. А., Горлов, С. М., Першакова, Т. В., & Алёшин, В. Н. (2020а). Влияние комплексной обработки электромагнитными полями крайне низкой частоты и биопрепаратами на товарное качество корнеплодов моркови и свёклы столовой при хранении. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*, 3–1(42), 208–211. <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10239>
- Kupin, G. A., Gorlov, S. M., Pershakova, T. V., & Aleshin, V. N. (2020a). The effect of complex treatment with extremely low frequency electromagnetic fields and biological products on the marketable quality of carrot and beet root crops during storage. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 3–1(42), 208–211. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10239>
- Купин, Г. А., Першакова, Т. В., Лисовой, В. В., Михайлюта, Л. В., & Алёшин, В. Н. (2020б). Влияние обработки электромагнитными полями крайне низкой частоты и биопрепаратами на органолептические показатели качества корнеплодов моркови и свёклы столовой при хранении. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*, 4–2, 50–55. <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10344>
- Kupin, G. A., Pershakova, T. V., Lisovoi, V. V., Mikhailyuta, L. V., & Aleshin, V. N. (2020b). The effect of treatment with extremely low frequency electromagnetic fields and biological preparations on the organoleptic quality indicators of carrot and beet root crops during storage. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 4–2, 50–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10344>
- Купин, Г. А., Першакова, Т. В., Лисовой, В. В., Михайлюта, Л. В., & Алёшин, В. Н. (2020с). Исследование величины потерь корнеплодов моркови и свёклы столовой в зависимости от температуры хранения и способа предварительной обработки. *Международный журнал*

- гуманитарных и естественных наук, 3–1(42), 203–207. <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10238>
- Kupin, G. A., Pershakova, T. V., Lisovoi, V. V., Mikhailyuta, L. V., & Aleshin, V. N. (2020c). Investigation of the amount of losses of carrot and beet root crops in the dining room, depending on the storage temperature and the method of pretreatment. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 3–1(42), 203–207. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10238>
- Купин, Г. А., Лисовой, В. В., Першакова, Т. В., & Михайлюта, Л. В. (2020d). Разработка технологий краткосрочного хранения корнеплодных овощей. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – Продукты здорового питания*, (2), 108–114. <https://doi.org/10.24411/2311-6447-2020-10049>
- Kupin, G. A., Lisovoi, V. V., Pershakova, T. V., & Mikhailyuta, L. V. (2020d). Development of technologies for short-term storage of root vegetables. *Technologies of The Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex – Healthy Food Products*, (2), 108–114. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2311-6447-2020-10049>
- Лысоченко, А. А. (2015). Стратегическое управление в отраслях агропромышленного комплекса и природопользования. *Journal of Economic Regulation*, 6(4), 64–78. <https://doi.org/10.17835/2078-5429.2015.6.4.064-078>
- Lysochenko, A. A. (2015). Strategic management in the fields of agro-industrial complex and environmental management. *Journal of Economic Regulation*, 6(4), 64–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.17835/2078-5429.2015.6.4.064-078>
- Назарько, М. Д., Лобанов, В. Г., Касьянов, Г. И., Усатиков, С. В., Иночкина, Е. В., & Кириченко, А. В. (2019). Разработка физико-биологических методов защиты для повышения сохранности и качества яблок. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*, 5–6(371–372), 53–57. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.5-6.14>
- Nazar'ko, M. D., Lobanov, V. G., Kas'yanov, G. I., Usatikov, S. V., Inochkina, E. V., & Kirichenko, A. V. (2019). Development of physico-biological methods of protection to improve the safety and quality of apples. *News of Universities. Food Technology*, 5–6(371–372), 53–57. (In Russ.) <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.5-6.14>
- Панасенко, Е. Ю., Першакова, Т. В., Кудинов, П. И., & Купин, Г. А. (2019). Влияние обработки биопрепаратами и электромагнитным полем на биохимический состав корнеплодных овощей при хранении. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 2–3(368–369), 75–78. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.2-3.20>
- Panasenko, E. Yu., Pershakova, T. V., Kudinov, P. I., & Kupin, G. A. (2019). The effect of treatment with biological products and electromagnetic field on the biochemical composition of root vegetables during storage. *News of Higher Educational Institutions. Food Technology*, 2–3(368–369), 75–78. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.2-3.20>
- Першакова Т.В., Купин Г.А., Алёшин В.Н., Яковлева Т.В., Бабакина М.В., Семиряжко Е.С., Тягушева А.А., & Самойленко М.В. (2022). *Корнеплоды: Выращивание-Хранение-Реализация*. Краснодар: КНИИХП – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ.
- Pershakova, T. V., Kupin, G. A., Aleshin V. N., Yakovleva T. V., Babakina M. V., Semiryazhko E.S., Tyagushcheva A.A., & Samoylenko M.V. (2022). *Root vegetables: Cultivation-Storage-Sale*. Krasnodar: KNIKHP – filial FGBNU SKFNTsSVV. (In Russ.)
- Akan, S., Horzum, Ö., & Ceren, A. (2022). The prevention of physicochemical and microbial quality losses in fresh-cut red beets using different packaging under cold storage conditions. *LWT – Food Science and Technology*, 155, Article 112877. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112877>
- Alami, L., Terouzi, W., Otmani, M., Abdelkhalek, O., Salmaoui, S., & Mbarki, M. (2021). Effect of sugar beet harvest date on its technological quality parameters by exploratory analysis. *Journal of Food Quality*, 2021, Article 6639612. <https://doi.org/10.1155/2021/6639612>
- Asgar, A. (2020). Effect of storage temperature and type of packaging on physical and chemical quality of carrot. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 443, Article 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/443/1/012002>
- Awasthi, R., Chattopadhyay, S., & Ghosh, S. (2019). Integration of solar charged PCM storage with VAR system for low capacity vegetable cold storage. *Journal of Physics: Conference Series*, 1240, Article 012070. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1240/1/012070>
- Barba-Espin, G., Glied-Olsen, S., Dzhhanfezova, T., Joernsgaard, B., Lütken, H., & Müller, R. (2018). Preharvest application of ethephon and postharvest UV-B radiation improve quality traits of beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) as source of colourant. *BMC Plant Biology*, 18, Article 316. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1556-2>
- Barbosa, L.D.N., Carciofi, B.A.M., Dannenhauer, C.E., & Monteiro, A. R. (2011). Influence of temperature on the respiration rate of minimally processed organic carrots (*Daucus carota* L. cv. *Brasília*). *Food Science and Technology*, 31(1), 78–85. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000100010>
- Bodbodak, S., & Moshfeghifar, M. (2016). Advances in controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. In *Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality* (pp. 39–76). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804313-4.00002-5>
- Carrillo, C., Wilches-Pérez, D., Hallmann, E., Kazmierczak, R., & Rembiałkowska, E. (2019). Organic versus conventional beetroot. Bioactive compounds and antioxidant properties. *LWT – Food Science and Technology*, 116, Article 108552. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108552>
- Chakwizira, E., Ruiters, J. M., Maley, S., & Teixeira, E. (2016). Evaluating the critical nitrogen dilution curve for storage root crops. *Field Crops Research*, 199, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.012>
- Chhikara, N., Kushwaha, K., Sharma, P., Gat, Y., & Panghal, A. (2019). Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review. *Food Chemistry*, 272, 192–200. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.022>
- Choudhary, D. K., & Johri, B. N. (2009). Interactions of *Bacillus* spp. and plants – With special reference to induced

- systemic resistance (ISR). *Microbiological Research*, 164, 493–513. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2008.08.007>
- Cui, R., Fei, Y., & Zhu, Z. (2022). Physicochemical, structural and nutritional properties of steamed bread fortified with red beetroot powder and their changes during breadmaking process. *Food Chemistry*, 383, Article 132547. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132547>
- de Oliveira, S. P. A., de Albuquerque T. M. R., Massa N. M. L., Rodrigues N. P. A., Sampaio K. B., do Nascimento H. M. A., Lima M. S., da Conceição M. L., de Souza E. L. (2023). Investigating the effects of conventional and unconventional edible parts of red beet (*Beta vulgaris* L.) on target bacterial groups and metabolic activity of human colonic microbiota to produce novel and sustainable prebiotic ingredients. *Food Research International*, 171, Article 112998. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112998>
- Devgan, K., Kaur, P., Kumar, N., & Kaur, A. (2019). Physicochemical, microbial and sensory quality of fresh-cut red beetroots in relation to sanitization method and storage duration. *Journal of Food Science & Technology*, 56(2), 878–888. <https://doi.org/10.14674/1120-1770/ijfs.v188>
- Dzakhmishva, I., Tamakhina, A., & Akbasheva, A. (2021). Study of the influence of electromagnetic processing on the physiological state and duration of storage of tomato fruits. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 640, Article 022054. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022054>
- Edelenbos, M., Wold, A.-B., Wiczynska, J., & Luca, A. (2020). Roots: Beetroots. In *Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce* (pp. 587–591). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804599-2.00054-5>
- Emond, J.-P. (2022). Managing product flow through postharvest systems. In *Postharvest Handling (Fourth Edition). A Systems Approach*, 363–375. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822845-6.00012-9>
- Eslami, A. S., Safaie, N., Mahmoudi, S. B., & Mojerlou, Sh. (2021). Sugar beet root rot loss: ANN and Regression models. *European Journal of Agronomy*, 131, Article 126392. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126392>
- Filimonau, V., & Ermolaev, V. A. (2021). Mitigation of food loss and waste in primary production of a transition economy via stakeholder collaboration: A perspective of independent farmers in Russia. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 359–370. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.06.002>
- Finch, H. J. S., Samuel, A. M., & Lane G. P. F. (2014). Root crops. In *Lockhart & Wiseman's Crop Husbandry Including Grassland (Ninth Edition). Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition* (pp. 362–386). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781782423928.3.362>
- Fu, Y., Shi, J., Xie, S.-Y., Zhang, T.-Y., Soladoye, O. P., & Aluko, R. E. (2020). Red beetroot betalains: Perspectives on extraction, processing, and potential health benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(42), 11595–11611. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04241>
- Hadipour, E., Taleghani, A., Tayarani-Najaran, N., & Tayarani-Najaran, Z. (2020). Biological effects of red beetroot and betalains: A review. *Phytotherapy Research*, 34, 1847–1867. <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1072-6>
- Heimler, D., Romani, A., & Ieri, F. (2017). Plant polyphenol content, soil fertilization and agricultural management: A review. *European Food Research and Technology*, 243(7), 1107–1115. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2826-6>
- Hoffmann, K., Leijdekkers, M., Ekelöf, J. & Vancutsem, F. (2018). Patterns for improved storability of sugar beet – importance of marc content and damage susceptibility of varieties in different environments. *European Journal of Agronomy*, 101, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.08.004>
- Ibragimov, M., Rakhmatov, A., & Tadjibekova, I. (2020). Electrotechnological approach for effective storage of fruits and vegetables in farms. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 614, Article 012020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/614/1/012020>
- Jedermann, R., Nicometo, M., Uysal, I., & Lang, W. (2014). Reducing food losses by intelligent food logistics. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 372, Article 20130302. <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0302>
- Jiang, H., Zhang, W., Xu, Y., Zhang, Y., Pu, Y., Cao, J., & Jiang, W. (2021). Applications of plant-derived food by-products to maintain quality of postharvest fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 1105–1119. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.010>
- Kleuker, G., & Hoffmann, C. (2022). Causes of different tissue strength, changes during storage and effect on the storability of sugar beet genotypes. *Postharvest Biology and Technology*, 183, Article 111744. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111744>
- Kristoffersen, R., Hansen, A. L., Munk, L., Cedergreen, N., & Jørgensen, L. N. (2018). Management of beet rust in accordance with IPM principles. *Crop Protection*, 111, 6–16. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.04.013>
- Lebrun, M., Bouček, J., Bimová, K.B., Kraus, K., Haisel, D., Kulhánek, M., Omara-Ojunga, C., Seyedsadr, S., Beesley, L., Soudek, P., Petrová, S., Pohořelý, M., & Trakal, L. (2022). Biochar in manure can suppress water stress of sugar beet (*Beta vulgaris*) and increase sucrose content in tubers. *Science of The Total Environment*, 814, Article 152772. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152772>
- Manohar, C. M., Kundgar, S. D., & Doble, M. (2017). Betanin immobilized LDPE as antimicrobial food wrapper. *LWT – Food Science and Technology*, 80, 131–135. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.020>
- Mikołajczyk-Bator, K. (2022). The significance of saponins in shaping the quality of food products from red beet. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 21(1), 81–90. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2022.1012>
- Natarajan, B., Kondhare, K., Hannapel, D., & Banerjee, A. (2019). Mobile RNAs and proteins: Prospects in storage organ development of tuber and root crops. *Plant Science*, 284, 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.03.019>
- Nazarko, M. D., Kasyanov, G. I., Zaporozhsky, A. A., & Kirichenko, A. V. (2021). Environmentally friendly technology for storing organically grown apples. *IOP Conference Series:*

- Earth and Environmental Science*, 689, Article 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/689/1/012038>
- Nirmal, N. P., Mereddy, R., & Maqsood, S. (2021). Recent developments in emerging technologies for beetroot pigment extraction and its food applications. *Food Chemistry*, 356, Article 129611. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129611>
- Nunes, M. C. N., Emond, J. P., Rauth, M., Dea, S., & Chau, K. V. (2009). Environmental conditions encountered during typical consumer retail display affect fruit and vegetable quality and waste. *Postharvest Biology and Technology*, 51(2), 232–241. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.07.016>
- Osipov, A., Shumaev, V., Ekielski, A., Gataullin, T., Suvorov, S., Mishurov, S., & Gataullin, S. (2022). Identification and classification of mechanical damage during continuous harvesting of root crops using computer vision methods. *IEEE Access*, 10, 28885–28894. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3157619>
- Park, S.-Y., Lee, S. H., & Nam, J.-S., (2021). Comparison of the antioxidant properties and phenolic compositions of different varieties of beets (*Beta vulgaris* L.) cultivated in Korea. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 50(10), 1058–1064. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2021.50.10.1058>
- Pershakova, T. V., Gorlov, S. M., Lisovoy, V. V., Mikhaylyuta, L. V., Babakina, M. V., & Aleshin, V. N. (2021). Influence of electromagnetic fields and microbial pesticide Vitaplan on stability of apples during storage. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 640, Article 022053. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022053>
- Porat, R., Lichter, A., Terry, L. A., Harker, R., & Buzby, J. (2018). Postharvest losses of fruit and vegetables during retail and in consumers' homes: Quantifications, causes, and means of prevention. *Postharvest Biology and Technology*, 139, 135–149. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.019>
- Rama, M. V., & Narasimham, P. (2003). Controlled-atmosphere storage. *Effects on Fruit and Vegetables. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 139, 1607–1615. <https://doi.org/10.1016/b0-12-227055-x/00292-3>
- Ravichandran, K., Smetanska, I., & Antony, U. (2020). Red beet. In *Nutritional composition and antioxidant properties of fruits and vegetables* (pp. 315–321). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00019-2>
- Sawicki, T., Bączek, N., & Wiczkowski, W. (2016). Betalain profile, content and antioxidant capacity of red beetroot dependent on the genotype and root part. *Journal of Functional Foods*, 27, 249–261. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.09.004>
- Singla, M., Kumar, A., Kaur, P., & Goraya, R. K. (2020). Respiratory properties of fresh black carrot (*Dacus carota* L.) based upon non-linear enzyme kinetics approach. *Journal of Food Science & Technology*, 57, 3903–3912. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04422-5>
- Sudhakar, N., Karthikeyan, G., RajhaViknesh, M., Saranya, A. S., & Shurya, R. (2020). Technological advances in agronomic practices of seed processing, storage, and pest management: An Update. In A. K. Tiwari (Ed.) *Advances in Seed Production and Management*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4198-8_17
- Takács-Hájosa, M., & Vargas-Rubóczki, V. (2022). Evaluation of bioactive compounds in leaf and root of five beetroot varieties. *Journal of Agriculture and Food Research*, 7, Article 100280. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100280>
- Tang, X., Tan, C., Chen, A., Li, Z., & Shuai, R. (2020). Design and implementation of temperature and humidity monitoring system for small cold storage of fruit and vegetable based on Arduino. *Journal of Physics: Conference Series*, 1601, Article 062010. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1601/6/062010>
- Tanumihardjo, S. A., Suri, D., Simon, P., & Goldman, I. L. (2016). Vegetables of Temperate Climates: Carrot, parsnip, and beetroot. In *Encyclopedia of Food and Health*, 2016, 387–392. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00714-5>
- Yi, M.-R., Chang-Hee, K., & Bu, H.-J. (2017). Antioxidant and anti-inflammatory activity of extracts from red beet (*Beta vulgaris*) root. *Korean Journal of Food Preservation*, 24(3), 413–420. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2017.24.3.413>
- Zavrazhnov, A., Zuglenok, N., Zavrazhnov, A., Tolstoshein, S., & Koltsov, S. (2020). Mathematical modeling of the temperature regime in a ventilated pile of sugar beet. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 919, Article 062067. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/919/6/062067>

УДК:664.12:664.1.038

Состояние и перспективы совершенствования применения технологических вспомогательных средств в производстве белого свекловичного сахара

Курский федеральный аграрный научный центр, г. Курск, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Беляева Любовь Ивановна
E-mail: belyaeva_li@mail.ru

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

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Беляева, Л.И., Пружин, М.К., Остапенко, А.В., & Сысоева, Т.И. (2023). Состояние и перспективы совершенствования применения технологических вспомогательных средств в производстве белого свекловичного сахара. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 43-58.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2023.469>

ПОСТУПИЛА: 06.04.2023
ПРИНЯТА: 15.09.2023
ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



Л. И. Беляева, М. К. Пружин, А. В. Остапенко, Т. И. Сысоева

АННОТАЦИЯ

Введение: Состояние пищевой системы производства белого свекловичного сахара в условиях загрязнения микроорганизмами, пенения, газовой выделения, образования и накопления трудноудаляемых компонентов приводит к снижению качества продукции, повышению ресурсозатрат. Традиционно принимают предупреждающие меры путем использования соответствующих технологических вспомогательных средств (ТВС). Исследование роли ТВС проводят преимущественно методом сравнительных опытов с учетом знаний о механизме их функционального действия. Такой подход в перспективе не позволит объективно выявить системные изменения состояния пищевой системы, не будет способствовать ресурсосберегающему получению безопасной и качественной продукции.

Цель: Обоснование перспектив развития методических и технологических принципов рационального и безопасного применения ТВС в производстве белого свекловичного сахара.

Материалы и методы: В качестве объекта исследования рассмотрена совокупность применяемых ТВС на этапах элементов пищевой системы. Результаты мета-анализа предшествующих исследований дополнены данными лабораторных опытов, которые обработаны в соответствии с алгоритмами регрессионного и дисперсионного анализа. Статистическую значимость коэффициентов регрессии определяли путем сравнения их численных значений с доверительным интервалом. Характеристика степени адекватности полученных аддитивных зависимостей получена с использованием F-критерия Фишера и коэффициента детерминации (R^2).

Результаты: Обсуждены предыдущие работы с позиций эволюционного применения ТВС и указана необходимость разработки конкретных направлений для будущих исследований. Впервые получены данные по выявлению аддитивной синергии при анализе процессов переработки сахарной свеклы с использованием ТВС. Подтверждено приведенное в публикациях адекватное применение обобщенного коэффициента желательности (D) для всех индикаторных показателей по вариантам лабораторного опыта.

Выводы: Предложены методические и технологические принципы рационального и безопасного применения ТВС, ориентированные на сбережение здоровья людей и ресурсозатрат в производстве. Перспективные исследования следует осуществлять на основе положений планирования эксперимента, получения соответствующих аддитивных зависимостей и поиска оптимальных решений, пригодных для настройки нейронной сети в системах интеллектуального управления технологическими процессами. Особое внимание должно быть обращено на разработку гигиенических нормативов и высокочувствительных методов определения остаточных количеств ТВС в белом сахаре, мелассе и жоме.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

белый свекловичный сахар; технологические вспомогательные средства; пищевая система; качество пищевой системы; безопасность средства; индикаторный показатель; аддитивное влияние

State and Prospects for Improving the Use of Technological Aids in the White Beet Sugar Production

Federal Agricultural Kursk Research Center, Kursk, Russian Federation

Lyubov I. Belyaeva, Mikhail K. Pruzhin, Alla V. Ostapenko, Tatyana I. Sysoeva

CORRESPONDENCE:

Lyubov I. Belyaeva

E-mail: belyaeva_li@mail.ru

FOR CITATIONS:

Belyaeva, L.I., Pruzhin, M.K., Ostapenko, A.V., & Sysoeva, T.I. (2023). State and prospects for improving the use of technological aids in the white beet sugar production. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 43-58. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.469>

RECEIVED: 06.04.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction: The state of the food system for the production of white beet sugar under conditions of contamination by microorganisms, foaming, gas evolution, formation and accumulation of hard-to-remove components, leads to a decrease in the quality of the product, an increase in resource costs. Traditionally, preventive measures are taken by using appropriate technological aids (TAs). The study of the role of TAs is carried out mainly by the method of comparative experiments, taking into account knowledge about the mechanism of their functional action. Such an approach in the future will not allow to objectively identify systemic changes in the state of the food system, will not contribute to the resource-saving obtaining of safe and high-quality products.

Purpose: Justification of prospects for the development of methodological and technological principles for the rational and safe use of TAs in the white beet sugar production.

Materials and Methods: As an object of study, a set of applied TAs as elements of the food system is considered. The results of a meta-analysis of previous studies are supplemented by data from laboratory experiments, which are processed in accordance with the algorithms of regression and analysis of variance. The statistical significance of the regression coefficients was determined by comparing their numerical values with the confidence interval. The characteristic of the degree of adequacy of the obtained additive dependencies was obtained using the Fisher F-criterion and the coefficient of determination (R^2).

Results: Previous works are discussed from the point of view of the evolutionary application of TAs and the need to develop specific directions for future research is indicated. For the first time, data were obtained on the identification of additive synergy in the analysis of sugar beet processing processes using TAs. The adequate application of the generalized desirability coefficient (D) given in the publications for all indicator markers according to the variants of the laboratory experiment was confirmed.

Conclusion: Methodological and technological principles for the rational and safe use of TAs, oriented towards saving people's health and resource costs in production, are proposed. Prospective research should be carried out on the basis of the provisions of experiment planning, obtaining the appropriate additive dependencies and searching for optimal solutions suitable for setting up a neural network in intelligent process control systems. Particular attention should be paid to the development of hygienic standards and highly sensitive methods for the determination of residual amounts of TAs in white sugar, molasses and beet pulp.

KEYWORDS

white beet sugar; technological aids; food system; quality of food system; safety of aids; indicator marker; additive effect

ВВЕДЕНИЕ

Технологические вспомогательные средства (ТВС) и пищевые добавки широко и успешно используют в современных пищевых технологиях. Безусловная их польза и неоспоримый вред, недостаточная изученность требуют наличия обновляемой с течением времени доказательной основы для производства гарантированно безопасных и качественных продуктов питания. Совершенствование доказательных индикаторов должно происходить по результатам использования современных методических подходов и новых взглядов с позиции теории систем применительно к особенностям конкретной пищевой технологии.

Социально значимым пищевым продуктом, используемым как непосредственно в питании, так и в качестве сырьевой углеводной добавки для производства большинства пищевых продуктов, служит белый свекловичный сахар. Рациональное ежегодное потребление сахара в соответствии с физиологическими нормами, составляющее не более 8 кг¹, считается одним из естественных элементов здорового образа жизни людей (Канаматова, 2021). Содержание основного питательного вещества — углевода сахарозы в белом сахаре высокое, количество примесей незначительное, но микронутриентный их состав довольно широк и разнообразен. Одна часть примесей переходит из сахароносного растительного сырья; другая — возникает в результате его переработки и содержит, в том числе техногенные микропримеси в виде остаточных количеств применяемых ТВС, составляющих чужеродные компоненты пищи. Именно эти микронутриенты могут представлять риск потенциальной опасности для здоровья человека XXI века, использующего в питании сахар. Поэтому весьма актуальны исследования поведения ТВС в пищевой системе технологического потока производства сахара, их миграции в готовую продукцию.

Эволюция применения ТВС в технологии белого свекловичного сахара

В производстве российского белого сахара применяют значительный арсенал различных функциональных ТВС, которые органично вписываются в физико-химические, массообменные процессы технологии свекловичного сахара, остающейся неизменной до настоящего времени. Анализ эволюционного развития применения ТВС в отечественной технологии белого сахара в разрезе условно обозначенных трех периодов позволяет выделить следующие основные аспекты их использования. В начале формирования технологии производства сахара (XIX век) применяли известняковый камень и серу, из которых получали известковое молоко, сатурационный и сернистый газы, непосредственно участвующие в специальных технологических процессах дефекации, сатурации, сульфитации. Также применяли костяную крупку (обожженную кость животных), выполняющую роль адсорбента; твердые животные жиры, растительные масла в качестве поверхностно-активных веществ (ПАВ). Для первых ТВС характерны большой расход средств, введение их в одну точку и один прием в процессы, осуществляемые в периодическом режиме; невысокая эффективность действия; отрицательное влияние на качество получаемых полуфабрикатов и, соответственно, вырабатываемого сахара; природное происхождение средств (Беляева с соавт., 2015).

По мере совершенствования технологии и техники производства сахара, развития пищевой химии (XX век) была создана современная технология белого сахара, в которой важное место отведено функциональным ТВС. В этот период значительно увеличена эффективность действия и снижен расход классических ТВС (известнякового камня, известкового молока, сатурационного и сернистого газа) за счет многократного их ввода в различные точки при разном температурно-щелочном режиме в непрерывном технологическом потоке (Сапронов, 1998). Разработаны и нашли широкое применение: специальные для сахарного производства синтетические ТВС — пеногасители на основе моноглицеридов или полиглицерина с жирными кис-

¹ Приказ Министерства здравоохранения РФ 1276. (2020). О внесении изменений в приложение к Рекомендациям по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания. <https://docs.cntd.ru/document/573103551?marker=6500IL>.

лотами (ПГ-1, ПГ-2, ПГ-3), ПАВ на основе ацетилированных моноглицеридов стеариновой кислоты (АМГСК-50, АМГСК-100), ингибиторы накипеобразования (антинакипины) на основе полиакрилата натрия, ферментные препараты (декстраназа), затравочный материал (пасты, суспензии) (Головняк & Белостоцкий, 1993; Колчинский & Станиславский, 2002; Сапронова & Лукьянов, 1985; Славянский & Мойсеяк, 2007); адсорбенты (ионообменные смолы, активированный уголь, кизельгур, перлит), флокулянты, коагулянты (Hans-Rfrl Soest, 2010; Гусятинская & Липец, 2005; Олянская с соавт., 2010; Кравец & Бобровник, 2007). Расширен перечень средств внутри функциональных групп, например, используют такие химические реагенты как сода, тринатрийфосфат, гипс; линейка антимикробных средств представлена в зависимости от активного действующего вещества (четвертичные аммонийные соединения, надуксусная кислота, перекись водорода, хлор, формальдегид и др.); в основе пеногасителей — силикон (кремнийорганические соединения), оксиэтилированные жирные спирты, различные полигликоли (Осадчий, 2013; Кюрегян с соавт., 2019)².

К концу XX века сформирован перечень основных функциональных ТВС, каждая функциональная группа в свою очередь представлена разнообразным набором средств (Рябцева, 2018; Кривошеев, 2018; Беляева с соавт., 2018). Технологическая и экономическая обоснованность применяемых ТВС получила проверку в условиях реального производства и была закреплена в отраслевой научно-технической документации (технологических инструкциях, рекомендациях, учебниках) (Лосева с соавт., 2003; Бугаенко, 2008). Функциональные ТВС обладали высоким технологическим эффектом (на уровне 90–95%); большая их часть получена синтетическим путем; наметилась тенденция увеличения доли ТВС зарубежного производства; повысилось качество получаемых полуфабрикатов и белого сахара; возросли технико-экономические показатели работы сахарных заводов.

В первые десятилетия XXI века перечень ТВС продолжает расширение с учетом следующих основных особенностей этого периода. Созданные средства обладают высоким технологическим эф-

фектом (на уровне 96–99%) и продленным действием; основная их масса зарубежного производства (до 85%) (Савостин & Городецкий, 2014; Старовойтова & Терещук, 2016). Распространение получают узконаправленные ТВС, например, антимикробные средства для конкретного микробного профиля пищевой системы — для диффузионного сока из здоровой сахарной свеклы или из пораженной слизистым бактериозом, для жомпрессовой воды; пеногасители для конкретного состава пищевой системы — для диффузионного сока, полученного из разных типов диффузионных препаратов, сиропа, оттеков, транспортерно-моечной воды (Хайн с соавт., 2009; Костенко с соавт., 2014; Сотников с соавт., 2014). Создаются комплексные препараты, представляющие собой композиции из средств разной функциональной направленности и оказывающие сразу несколько технологических эффектов, например, композиции: из антимикробного средства, коагулянта и флокулянта; антимикробного средства и ферментного препарата; ПАВ и деколоранта сахара (Сотников с соавт., 2018; Сидо с соавт., 2009; Брандштеттер с соавт., 2020).

Современный набор разнообразных функциональных ТВС рассчитан на все случаи производства белого сахара с учетом обратной зависимости от технологического качества сахарной свеклы, чем оно выше, тем самих средств и их расход меньше и, наоборот, чем ниже качество сырья, тем перечень средств шире и расход их больше. В среднем расход основных ТВС на 1 т перерабатываемой сахарной свеклы составляет: 36 кг известнякового камня; 0,15 кг серы; 0,2 кг углекислого натрия; 0,2 кг тринатрийфосфата; 0,9 кг гипса; 0,2 кг антимикробных средств (формалина, хлорной извести и др.); 0,06 кг пеногасителей; 0,03 кг антинакипина; 0,01 кг ПАВ; 0,04 кг флокулянтов; 0,02 кг ферментных препаратов (Осадчий, 2013; Лосева с соавт., 2003; Бугаенко, 2008). При ориентировании на всю российскую сахарную отрасль, ежегодно перерабатывающую на уровне 40 млн т корнеплодов сахарной свеклы, очевиден масштаб ресурсного потребления ТВС в натуральном и денежном выражении.

Если ранее эволюция применения ТВС шла по пути увеличения технологического эффекта

² Методические рекомендации по применению пеногасителя Лапрол ПС-1 в сахарном производстве. (2005). Курск: ГНУ РНИИСП Россельхозакадемии.

при минимизации их расхода и улучшения качества полуфабрикатов, то в XXI веке приоритетной стала безопасность используемых ТВС для здоровья человека и природной среды. Применение ТВС регулируются Техническими регламентами Евразийского союза ТР ТС 029/2012³, ТР ТС 022/2011⁴, ТР ТС 021/2011⁵, которые направлены на обеспечение снижения потенциального риска химической контаминации пищевых продуктов. На пищевых предприятиях в обязательном порядке реализованы принципы системы управления безопасностью пищевых продуктов (НАССР); целевое применение каждого нового ТВС должно быть доказано, научно обосновано.

Исследовательский подход к безопасности и эффективности ТВС в технологии сахара

Представляя наиболее эффективный и экономичный инструментальный решения технологических проблем в производстве сахара, применение ТВС связано с возможностью миграции остаточных их количеств по технологическому потоку и включением в готовую продукцию (белый сахар, мелассу и жом), что может привести к потенциальному риску вредного (токсичного) действия на организм человека, животного при длительном потреблении продуктов; в отходы и сточные воды — к экологическим рискам. Контроль остаточных количеств большинства ТВС в готовой продукции ведется, как правило, по установленному изготовителем средства расходу, необходимому для достижения технологического эффекта, что не может гарантировать выпуск безопасной продукции. Одновременно отмечается отрицательное влияние остаточных количеств ТВС на потребительские качества белого сахара и мелассы, ограничивая их применение в качестве сырья для получения пищевых и кормовых продуктов (Петров с соавт., 2017; Хорошева с соавт., 2016; Кондратьев с соавт., 2018; Егорова, 2010).

Вместе с тем, эффективность и безопасность каждого средства, влияние его на качество полуфабрикатов, готовой продукции изготовителями

и потребителями средств исследована по отдельности и только с точки зрения достижения узкой технологической цели локального участка его применения (Кривошеев, 2018; Сотников с соавт., 2018; Митрошина с соавт., 2021). Традиционно выявляют причины неэффективного протекания процессов и получения некачественных промежуточных продуктов и принимают предупреждающие меры путем создания и использования соответствующих ТВС. В границах указанного подхода исследование роли отдельных ТВС проводят преимущественно методом сравнительного эксперимента или просто путем наблюдений с учетом теоретических научных знаний о механизме функционального действия средств. Такой подход в условиях многовариативности использования ТВС в перспективе не позволит точно и объективно выявить системные изменения состояния пищевой системы технологического потока под комплексным влиянием совместно применяемых ТВС, не будет способствовать ресурсосберегающему получению гарантированно безопасной и качественной готовой продукции.

Учитывая значительные материальные технологические затраты в производстве сахара, высокую стоимость самих средств, а также строгие требования пищевой и экологической безопасности, возникла проблема рационального и безопасного использования ТВС в технологическом потоке производства белого сахара. На основе вышеизложенного весьма актуален системный подход к решению данной проблемы, позволяющий повысить результативность ТВС при технологически адекватном их применении, и таким образом, снизить ресурсозатраты и способствовать сбережению здоровья людей при использовании в питании белого сахара.

Цель данного исследования — обоснование перспектив развития методических и технологических принципов рационального и безопасного применения ТВС в производстве белого свекловичного сахара.

³ ТР ТС 029/2012. (2012). *Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств*. <https://docs.cntd.ru/document/902359401>

⁴ ТР ТС 022/2011. (2011). *Пищевая продукция в части ее маркировки*. <https://docs.cntd.ru/document/902320347>

⁵ ТР ТС 021/2011. (2011). *О безопасности пищевой продукции*. <https://docs.cntd.ru/document/902320560>

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект и теоретическое обоснование исследования

В качестве объекта исследования следует рассматривать пищевую систему технологического потока производства белого свекловичного сахара, основными элементами которой являются содержащиеся в ней компоненты и введенные в совокупности функциональные ТВС.

Пищевая система под действием физических, химических, биохимических и других факторов претерпевает различные изменения, приобретая вид полуфабрикатов — свекловичной стружки, диффузионного, дефекованного, сатурированных соков, сиропа, клеровок, оттеков и утфелей разных ступеней кристаллизации. Пищевая система функционирует по законам системного развития — когда изменения в одном процессе согласованы с превращениями в последующих процессах (Панфилов, 2020). Именно равновесным состоянием пищевой системы определяется эффективность протекания технологических процессов извлечения сахарозы из растительного сырья — от экстрагирования до кристаллизации. В условиях переработки здоровых корнеплодов, оптимального технологического режима и правильно применяемых ТВС формируемая пищевая система проявляет склонность к стабильности, что обеспечивает ей приобретение заданных свойств, определенный компонентный состав, нужную структуру, а в дальнейшем гарантирует качество и безопасность вырабатываемой продукции, минимальные ресурсозатраты. В условиях появления возмущающих нежелательных факторов — загрязнения микроорганизмами, пены, газовой выделения, образования и накопления трудноудаляемых компонентов, неправильного применения ТВС для потенциального состояния пищевой системы становится характерна динамическая неустойчивость с последующими негативными последствиями достижения конечного результата — снижение качества готовой продукции, повышение ресурсозатрат.

Методы и инструменты

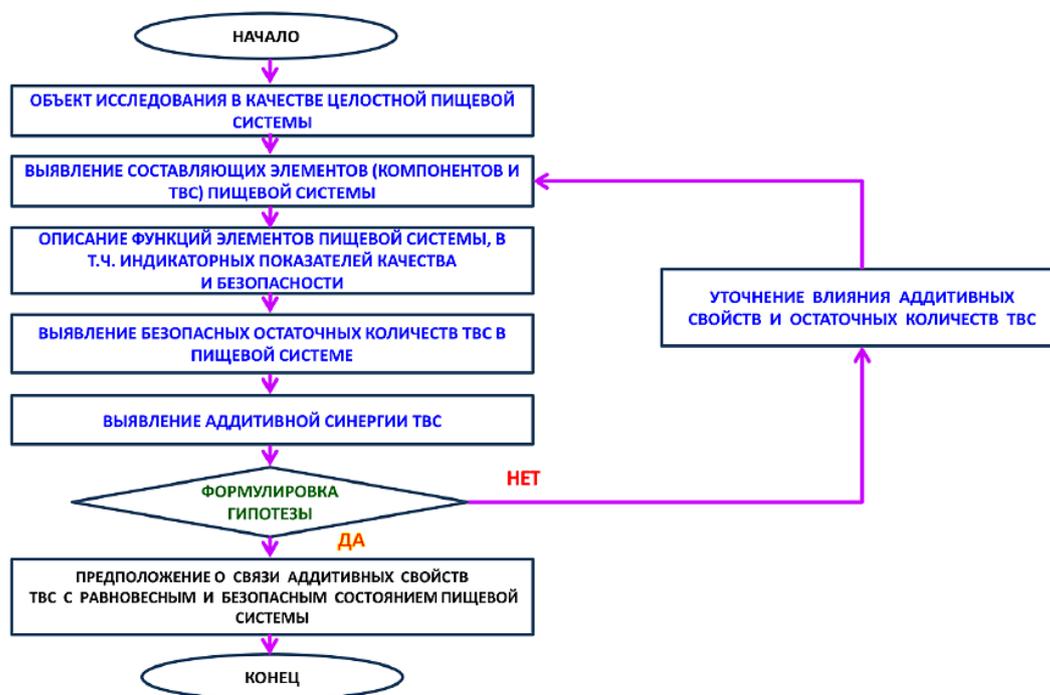
Оценку состояния пищевой системы следует проводить, используя набор индикаторных показателей качества и безопасности полуфабрикатов и готовой продукции, изменяющихся под совместным влиянием функциональных ТВС.

Совместное действие используемых разных функциональных ТВС на пищевую систему технологического потока производства сахара может быть совершенно иным, чем изолированное действие каждого средства. Известно, что комбинированное действие химических веществ, к которым относятся пищевые ингредиенты, лекарственные препараты, средства защиты растений, в большинстве случаев носит аддитивный характер, выявление которого для каждой производственной сферы имеет свои особенности в части применяемых экспериментальных подходов и математических методов. (Беляева с соавт., 2022; Богданов с соавт., 2019; Жолдакова с соавт., 2012; Бочарова-Лескина & Иванова, 2017; Нечаев с соавт., 2020). Знание о наличии аддитивной синергии открывает новый уровень эффективного использования химического вещества в комбинации. Так, в сфере применения пищевых добавок на основе аддитивного подхода осуществлено создание комплексных пищевых добавок, в т.ч. биологически активных; оценка их безвредности; получение новых продуктов питания повышенного качества и пищевой ценности (Заворохин с соавт., 2019; Осипова с соавт., 2014; Тимошенко, 2012; Харитонов с соавт., 2013). Исследования состояния пищевой системы при совместном действии пищевых добавок отнесено к одной из актуальных и малоизученных проблем пищевой химии (Алешков с соавт., 2018).

Совокупность изложенных утверждений использована для выдвижения гипотезы как научно обоснованного предположения о перспективных направлениях создания рациональных композиций ТВС для введения в пищевую систему технологического потока производства сахара, учитывающего фактические данные и предшествующие знания о закономерных связях и механизме функционирования элементов пищевой системы (Рисунок 1).

Рисунок 1

Алгоритм выдвижения гипотезы о перспективных направлениях создания рациональных композиций ТВС для введения в пищевую систему производства сахара



Как следует из Рисунка 1, целенаправленное повышение результативности применения в производстве сахара функциональных ТВС гипотетически может быть достигнуто на основе указанной последовательности экспериментальных и вычислительных действий: выбор факторов по результатам метаанализа и литературных источников и численных отсеивающих экспериментов; формирование или выбор из каталога матрицы плана опыта; проведение опыта или численного эксперимента и получение значений соответствующих индикаторных показателей равновесного и безопасного состояния пищевой системы; расчет аддитивных функций для кодированных и натуральных значений переменных и оценка уровня их адекватности; выявление эффектов действия изучаемых факторов и наличия аддитивной синергии (превышение аддитивности), позволяющей определить уровень накопительного эффекта действия средств.

Обработку данных лабораторных опытов следует вести в соответствии с алгоритмами корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализа. Ста-

тистическая значимость коэффициентов регрессии определяется путем сравнения их численных значений с доверительным интервалом, который не должен превышать их по величине. Для характеристики адекватности полученных уравнений регрессии служит F -критерий Фишера. Дисперсию воспроизводимости допустимо вычислять по результатам дополнительных опытов в центре плана эксперимента. Расчетный критерий Фишера ($F_{\text{расч}}$) вычисляют на основе соотношения дисперсий адекватности ($S_{\text{ад}}^2$) и воспроизводимости ($S_{\text{воспр}}^2$) по формуле: $F_{\text{расч}} = S_{\text{ад}}^2 / S_{\text{воспр}}^2$. Коэффициент детерминации (R^2) характеризовал совокупную долю вклада в вариацию отклика всех вошедших в модель факторов. Значение R^2 близкое к 1,0 до и после корректирования (R^2 и R_{adj}^2) принято считать индикатором степени соответствия модели к экспериментальным данным (Грачев & Плаксин, 2005).⁶ Показатель наименьшей существенной разности ($НСР_{0,05}$), характеризующий статистическую значимость эффектов влияния изучаемых факторов для уровня $\alpha = 0,05$, определяли по результатам дисперсионного анализа полученных данных. Эффекты

⁶ Грачев, Ю. П., & Плаксин, Ю. М. (2005) *Математические методы планирования эксперимента*. М.: ДеЛиПринт.

влияния изучаемых ТВС на изменение индикаторных показателей следует определять при помощи алгоритма Йетса (Доспехов, 2014)⁷.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выявление аддитивного влияния ТВС на индикаторные показатели качества и безопасности пищевой системы

Определение характера формирования индикаторных показателей качества и безопасности пищевой системы под совокупным влиянием используемых ТВС следует осуществлять в зависимости от функционального вида и расхода средств. Получаемое совпадение алгебраических сумм эффектов влияния каждого средства в отдельности с размахом варьирования значений индикаторных показателей качества пищевой системы будет указывать на проявление аддитивного типа действия исследуемых ТВС. В опубликованных до настоящего времени работах не обнаружено данных по выявлению аддитивной синергии при анализе процессов переработки сахарной свеклы с использованием ТВС.

В качестве примера можно привести результаты проведенных нами ранее исследований совместного применения в процессе экстрагирования сахарозы из сахарной свеклы, пораженной слизистым бактериозом, трех функциональных ТВС с соответствующим заданным расходом на 1000 т свеклы: ферментного препарата Декстрасепт 2 (фактор А) — 4, 6 и 8 кг, антимикробного средства Бетасепт (фактор В) — 1,0, 1,5, и 2,0 кг, пеногасителя Волтес ФСС 93 (фактор С) — 10, 15 и 20 кг (Беляева с соавт., 2021а; Беляева с соавт., 2021б).

Сформированные по результатам регрессионного анализа линейные и нелинейные аддитивные модели представляли собой алгебраическую сумму нескольких факторных показателей с учетом знака без эффектов двоичного взаимодействия. Полученные аддитивные уравнения регрессии (аддитивные функции) для индикаторных показателей состояния пищевой системы преимущественно не содержали эффектов взаимодействия и адекватно отражали влияние изучаемых ТВС, что подтверждено соответствующими фактическими значениями критерия Фишера ($F_{\text{факт.}}$), коэффициента детерминации до и после корректирования (R^2 и R^2_{adj}) в пределах 0,94–0,99 (Таблица 1).

Таблица 1

Аддитивные уравнения регрессии для натуральных значений факторов на примере отдельных индикаторных показателей качества пищевой системы полуфабрикатов процессов экстрагирования сахарозы, очистки и сгущения сока

Факторы	Коэффициенты регрессии аддитивных функций							
	Y_1^*	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8
0	4,32	45,14	909,67	89,90	214,4	293,1	90,40	421
A	-0,41	-0,3938	-48,00	0,5876	-22,44	-25,55	0,5876	-34,23
B	-0,445	-0,70	-107,75	0,60	-19,25	-26,25	0,60	-37,75
C	-0,0105	-3,219	-5,075	0,015	-0,70	-1,125	0,015	-1,625
AA	0,0256	x	x	-0,0375	1,406	1,275	-0,0375	1,863
CC	x	0,089	x	x	x	x	x	x
$F_{\text{факт.}}$	0,30	1,04	1,67	0,52	1,06	1,93	0,43	0,45
F_{05}	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85
R^2	0,98	0,99	0,98	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97
R^2_{adj}	0,97	0,99	0,97	0,94	0,94	0,96	0,96	0,96

* Y_1 — содержание ВМС в диффузионном соке, % к массе СВ; Y_2 — высота столба пены диффузионного сока, см; Y_3 — мутность сока первой сатурации, мг/дм³; Y_4 — чистота сока второй сатурации, % к массе СВ; Y_5 — мутность сока второй сатурации, мг/дм³; Y_6 — цветность сока второй сатурации, ед. опт. пл. (ед. ICUMSA); Y_7 — чистота сиропа, %; Y_8 — цветность сиропа, ед. опт. пл. (ед. ICUMSA).

⁷ Доспехов, Б. А. (2014). *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): Учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям*. М.: Альянс.

Подобный прогностический потенциал результатов применения математического планирования эксперимента подтвержден на примере экспериментальной отработки элементов космической техники — радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов (Ковель, 2019). В качестве перспективного направления исследований можно отметить развитие применения результатов регрессионного анализа в опциях обучения искусственной обобщенно-регрессионной нейронной сети (Шафрай с соавт., 2021; Stangierski et al., 2019). При этом следует учитывать, что создание моделей только на основе существующего алгоритма регрессионных искусственных нейронных сетей требует значительно большего количества экспериментальных данных по сравнению с результатами использования метода математического планирования эксперимента (Химченко & Шилин, 2022).

Выявленные совпадения алгебраических сумм эффектов влияния ферментного препарата Декстра-септ 2 (А), антимикробного средства Бетасепт (В) и пеногасителя Волтес ФСС 93 (С), в отдельности с размахом варьирования значений индикаторных показателей пищевой системы, характеризующих функциональное действие средств, свидетельствуют о наличии аддитивной синергии между исследуемыми средствами (Рисунок 2).

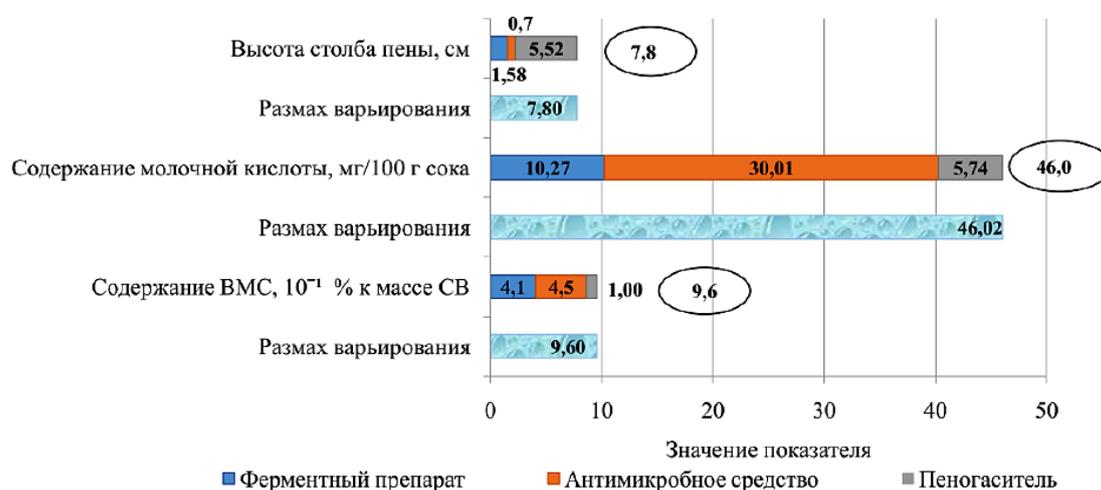
В качестве индикаторных показателей безопасности пищевой системы должны выступать содержа-

ния остаточных количеств действующих активных веществ функциональных ТВС, которые являются непосредственным фактором пищевой опасности. Доказательство безвредности или опасности того или иного ТВС является сложной и длительной задачей, решение которой связано с широким спектром направлений комплексных исследований. Согласно установленной международной практике, используемые ТВС, как и пищевые добавки, должны постоянно проходить переоценку с учетом новых научных данных об их воздействии на организм человека, природную среду, последствий их применения в пищевых системах.

Для многих применяемых в производстве сахара ТВС гигиенический норматив и стандартизованные методики определения остаточных количеств их действующих веществ отсутствуют. Давно используемыми и хорошо изученными являются антимикробное средство формалин и серосодержащие реагенты (Реми Обри & Лоранс Гасно, 2016; Егорова с соавт., 2016); только для этих ТВС установлен и регламентируется максимальный допустимый уровень: формальдегида в белом сахара — не более 0,05 мг/кг, диоксида серы в белом сахаре — не более 15 мг/кг и в мелассе — не более 70 мг/кг; имеются методики для их определения. В перспективе необходимо проведение токсиколого-гигиенической и медико-биологической оценки всех применяемых функциональных ТВС, разработка гигиенических нормативов и высокочувствительных методов

Рисунок 2

Эффекты аддитивного влияния изучаемых ТВС на снижение уровня содержания отдельных индикаторных показателей пищевой системы



количественного определения действующих веществ (остаточных количеств) средств в белом сахаре, мелассе, жоме, полуфабрикатах. При наличии методов определения появляется возможность исследовать миграцию остаточных количеств по технологическому потоку в условиях вариативности и взаимодополняемости (аддитивности) ТВС в пищевой системе.

Оценка совокупного влияния ТВС на состояние пищевой системы на основе функции желательности

Для получения консолидированной оценки влияния изучаемых совместно применяемых ТВС на индикаторные показатели качества и безопасности пищевой системы может быть использован обобщенный параметр оптимизации, представляющий собой функцию нескольких частных параметров — обобщенная функция желательности Харрингтона (D). На основе метаанализа публикаций выявлено применение указанного метода в отдельных случаях. На основе обобщенной функции желательности Харрингтона сделан вывод об оптимальных условиях подготовки питательной воды для экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки (Голыбин с соавт., 2012а). Для решения задачи оптимизации процессов с большим количеством откликов использована обоб-

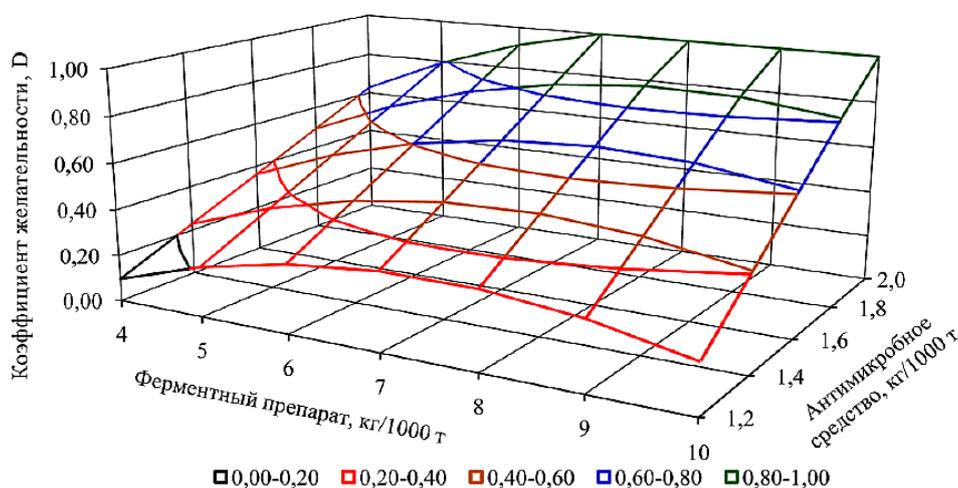
щенная функция желательности. Для построения этой функции измеренные значения откликов преобразованы в безразмерную шкалу желательности (Голыбин с соавт., 2012б; Журавлев, 2013).

Известно применение математического моделирования на основе ТПЭ, дополненное расчетом обобщенного критерия желательности в технологии и оценке качества пищевых продуктов (Бочарова-Лескина & Иванова, 2017). Частные коэффициенты желательности определяли на основе приведенной графической зависимости с использованием соответствующих реперных точек в случае расчета рецептур пищевых продуктов оптимального нутриентного состава (Нечаев с соавт., 2020). Показано получение обобщенного критерия оптимизации Харрингтона на основе регрессионных зависимостей по опытным данным, не предусматривающим предварительного планирования эксперимента экстрагирования сахарозы с применением наноразмерного гидроксида алюминия (Олишевский с соавт., 2020).

В качестве примера реализации указанного подхода на основе полученных нами численных значений 15 индикаторных показателей качества пищевой системы, формируемой под действием ферментного препарата, антимикробного средства, пеногасителя, представлена сопоставительная оценка обобщенного коэффициента желательности

Рисунок 3

Зависимость коэффициента желательности индикаторных показателей качества пищевой системы от расхода ферментного препарата и антимикробного средства на фоне пеногасителя в количестве 20 кг/1000 т сахарной свеклы



сти для всех показателей (D) по вариантам лабораторного опыта (Рисунок 3). Из данных Рисунка 3 следует, что обобщенная функция желательности (D) по всем 15 индикаторам для одностороннего ограничения соответствует уровню оптимальных (максимальных) значений при сочетании расхода ферментного препарата 6–8 кг с расходом антимикробного средства 1,8–2,0 кг на фоне пеногасителя в количестве 20 кг/1000 т сахарной свеклы. Это свидетельствует о возможности обеспечения доказательности установления расхода вводимых препаратов на основе обобщенной информации о поведении индикаторных показателей качества пищевой системы процессов получения, очистки и сгущения сока.

Разработка рациональных и безопасных композиций ТВС для введения в пищевую систему

Анализ данных об аддитивном влиянии совместно применяемых ТВС на индикаторные показатели качества и безопасности пищевой системы, оценка параметра оптимизации на основе функции желательности, а также учет механизма функционального действия ТВС, особенностей протекания технологических процессов, позволят разработать ресурсосберегающие химические и биотехнологические приемы обработки пищевой системы технологического потока, интенсифицирующие промышленную технологию переработки сахарной свеклы; создать высокоэффективные комплексные препараты, обладающие комплексом заданных функциональных свойств, для регулирования технологических процессов производства сахара.

Практические аспекты безопасного использования функциональных ТВС должны предполагать совершенствование существующей на сахарном заводе системы контроля производственного процесса (системы менеджмента безопасности белого сахара) путем введения дополнительно в нее критических контрольных точек по определению и контролю остаточных количеств выявленных опасных ТВС с обозначением их критических пределов на основе установленных потенциальных рисков попадания и миграции в пищевой системе технологического потока.

Приведенные выше результаты исследований выявленного аддитивного влияния антимикробного средства Бетасепт, пеногасителя Волтес ФСС-93 и ферментного препарата Декстрсепт 2, совместно применяемых при переработке инфицированной слизистым бактериозом сахарной свеклы, на индикаторные показатели качества пищевой системы полуфабрикатов процессов получения и очистки диффузионного сока, сгущения очищенного сока; многокритериальной оценки по шкале Харрингтона позволили интенсифицировать технологию экстрагирования сахарозы из бактериально пораженной сахарной свеклы. Предложенные приемы адресности и последовательности ввода, установленные рациональные расходы средств, обеспечивающие устойчивое состояние пищевой системы, способствовали повышению качества и выхода белого сахара на 0,25 % (Беляева с соавт., 2021a). В дальнейшем необходимы исследования миграции остаточных количеств этих средств по технологическому потоку по выше приведенному алгоритму для подтверждения безопасности установленных расходов, самой пищевой системы и, соответственно, выработанной готовой продукции.

ВЫВОДЫ

Рассмотрена эволюция применения ТВС в отечественной технологии белого сахара от классических химических реагентов до широкого ассортимента ряда средств различной функциональной направленности; обобщены результаты исследований. Предложены методические и технологические принципы рационального и безопасного применения функциональных ТВС, ориентированные на сбережение здоровья людей и ресурсозатрат в производстве.

К основным перспективным направлениям дальнейших исследований следует отнести: (1) проведение целенаправленных исследований на основе положений теории планирования эксперимента, получения соответствующих аддитивных зависимостей и поиска оптимальных решений, пригодных для настройки нейронной сети в системах интеллектуального управления процессами производства сахара; (2) токсиколого-гигиеническая оценка функциональных ТВС, разработка гигиенических нормативов и высокочувствительных

методов количественного определения действующих веществ (остаточных количеств) средств в белом сахаре, жоме, мелассе, (3) определение оптимальных и безопасных расходов и создание условий введения ТВС по обобщенным данным изменения множества индикаторных показателей качества и безопасности пищевой системы, для проявления аддитивной синергии между средствами, (4) развитие отечественного производства ТВС (их химических компонентов).

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Беляева Любовь Ивановна: руководство исследованием; концептуализация; . создание черновика рукописи, редактирование рукописи

Пружин Михаил Константинович: разработка методологии исследования, проведение исследования; создание черновика рукописи, редактирование рукописи.

Остапенко Алла Владимировна: проведение исследования; администрирование данных.

Сысоева Татьяна Ивановна: проведение исследования; визуализация.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Алешков, А. В., Земляк, К. Г., & Жебо, А. В. (2018). Синергетические мультиэффекты лактулозы в обогащенных продуктах питания. *Вестник Камчатского государственного технического университета*, (43), 44–54. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-43-44-54>
- Aleshkov, A. V., Zemlyak, K. G., & Zhebo, A. V. (2018). Synergistic multi-effects of lactulose in fortified foods. *Bulletin of the Kamchatka State Technical University*, (43), 44–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-43-44-54>
- Беляева, Л. И., Остапенко, А. В., Лабузова, В. Н. & Сысоева, Т. И. (2018). Деколоранты сахара — новая функциональная группа технологических вспомогательных средств. *Известия вузов. Пищевая технология*, (4), 33–36. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2018.4.8>
- Belyaeva, L. I., Ostapenko, A. V., Labuzova, V. N. & Sysoeva, T. I. (2018). Sugar decolorants are a new functional group of technological aids. *News of Universities. Food Technology*, (4), 33–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2018.4.8>
- Беляева, Л. И., Пружин, М. К., & Остапенко, А. В. (2021a). Улучшение технологических индикаторов полуфабрикатов производства сахара из бактериально инфицированной сахарной свеклы. *Техника и технология пищевых производств*, (3), 458–469. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-458-469>
- Belyaeva, L. I., Pruzhin, M. K., & Ostapenko, A. V. (2021a). Improvement of technological indicators of semi-finished products of sugar production from bacterially infected sugar beet. *Equipment and Technology of Food Production*, (3), 458–469. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-458-469>
- Беляева, Л. И., Пружин, М. К., Остапенко, А. В., Гурова, В. Н., & Сысоева, Т. И. (2021b). Технологические приемы ингибирования бактериальной инфицированности процесса экстрагирования сахарозы при производстве сахара. *Достижения науки и техники АПК*, 35(2), 25–32. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10211>
- Belyaeva, L. I., Pruzhin, M. K., Ostapenko, A. V., Gurova, V. N., & Sysoeva, T. I. (2021b). Technological techniques for inhibiting bacterial infection of the sucrose extraction process during sugar production. *Achievements of Science and Technology of Agriculture*, 35(2), 25–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10211>
- Беляева, Л. И., Пружин, М. К., Остапенко, А. В., & Сысоева, Т. И. (2022). Выявление аддитивного влияния технологических вспомогательных средств в производстве свекловичного белого сахара. *Достижения науки и техники АПК*, 36(10), 84–88. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_10_84
- Belyaeva, L. I., Pruzhin, M. K., Ostapenko, A. V., & Sysoeva, T. I. (2022). Identification of the additive effect of technological aids in the production of beet white sugar. *Achievements of Science and Technology of Agriculture*, 36(10), 84–88. (In Russ.) https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_10_84
- Богданов, Р. В., Василькевич, В. М., & Бондаренко, Л. М. (2019). Оценка комбинированного действия вредных веществ на примере формальдегида и стирола. В *Сахаровские чтения 2019 года: Экологические проблемы XXI века: Материалы 19-й международной научной конференции* (ч. 1, с. 192–195). Минск: ИВЦ Минфина.
- Bogdanov, R. V., Vasil'kevich, V. M., & Bondarenko, L. M. (2019). Evaluation of the combined effect of harmful substances on the example of formaldehyde and styrene. *Sakharov Readings 2019: Environmental problems of the XXI century: Materials of the 19th international scientific conference* [Part 1, pp. 192–195]. Minsk: IVTs Minfina. (In Russ.)

- Бочарова-Лескина, А. Л., & Иванова, Е. Е. (2017). Математическое моделирование в технологии и оценке качества пищевых продуктов. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, (125), 164–179. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-125-010>
- Bocharova-Leskina, A. L., & Ivanova, E. E. (2017). Mathematical modeling in technology and food quality assessment. *Polythematic Online Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University*, (125), 164–179. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-125-010>
- Брандштеттер, О., Гаценко, С. В., Третьяков, Д. Ю., Коваль, А. В., & Шейко, Т. В. (2020). Негативное влияние бактерий и микробных биопленок в сахарной промышленности. *Сахар*, (4), 22–26. <https://doi.org/10.24411/2413-5518-2020-10402>
- Brandshtetter, O., Gatsenko, S. V., Tret'yakov, D. Yu., Koval', A. V., & Sheiko, T. V. (2020). The negative impact of bacteria and microbial biofilms in the sugar industry. *Sugar*, (4), 22–26. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2413-5518-2020-10402>
- Бугаенко, И. Ф. (2008). *Вспомогательные химические препараты в технологии сахара*. Москва.
- Bugaenko, I. F. (2008). *Auxiliary chemicals in sugar technology*. Moscow. (In Russ.)
- Головняк, Ю. Д., & Белостоцкий, Л. Г. (1993). Новые химические вещества для оптимизации процессов. *Сахарная промышленность*, (1), 15–16.
- Golovnyak, Yu. D., & Belostotskii, L. G. (1993). New chemicals for process optimization. *Sakharnaya promyshlennost' Sugar Industry*, (1), 15–16. (In Russ.)
- Голыбин, В. А., Кульнева, Н. Г., & Федорук, В. А. (2012а). Подготовка экстрагента для процесса диффузии сахарозы методом электрохимической активации. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, (2), 144–148.
- Golybin, V. A., Kul'neva, N. G., & Fedoruk, V. A. (2012a). Preparation of an extractant for the sucrose diffusion process by electrochemical activation. *VBulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, (2), 144–148. (In Russ.)
- Голыбин, В. А., Федорук, В. А., & Горожанкина, К. К. (2012б). Оптимизация способа подготовки жомпрессовой воды в импульсном магнитном поле. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, (4), 115–119.
- Golybin, V. A., Fedoruk, V. A., & Gorozhankina, K. K. (2012b). Optimization of the method of preparation of compressed water in a pulsed magnetic field. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, (4), 115–119. (In Russ.)
- Гусятинская, Н. А., & Липец, А. А. (2005). Использование коагулянтов для повышения качества диффузионного сока. *Сахар*, (5), 37–40.
- Gusyatsinskaya, N. A., & Lipets, A. A. (2005). The use of coagulants to improve the quality of diffusion juice. *Sugar*, (5), 37–40. (In Russ.)
- Егорова, М. И. (2010). Свеклосахарная меласса — сырье для производства кормопродуктов. *Сахар*, (2), 18–22.
- Egorova, M. I. (2010). Sugar beet molasses is a raw material for the production of feed products. *Sugar*, (2), 18–22. (In Russ.)
- Егорова, М. И., Широких, Е. В., & Кретова, Я. А. (2016). Результаты мониторинга содержания диоксида серы в сахаре. *Сахар*, (7), 39–41.
- Egorova, M. I., Shirokikh, E. V., & Kretova, Ya. A. (2016). The results of monitoring the content of sulfur dioxide in sugar. *Sugar*, (7), 39–41. (In Russ.)
- Жолдакова, З. И., Харчевникова, Н. В., Мамонов, Р. А., & Сеницына, О. О. (2012). Методы оценки комбинированного действия веществ. *Гигиена и санитария*, (2), 86–89.
- Zholdakova, Z. I., Kharchevnikova, N. V., Mamonov, R. A., & Sinitsyna, O. O. (2012). Methods for assessing the combined action of substances. *Hygiene and Sanitation*, (2), 86–89. (In Russ.)
- Журавлев, М. В. (2013). Энергосберегающая технология извлечения сахарозы из свеклы в сахарном производстве. *Фундаментальные исследования*, (11–8), 1582–1587.
- Zhuravlev, M. V. (2013). Energy-saving technology for extracting sucrose from beets in sugar production. *Fundamental Research*, (11–8), 1582–1587. (In Russ.)
- Заворохина, Н. В., Чугунова, О. В., & Минниханова, Е. Ю. (2019). Исследование синергизма тройных смесей подсластителей, применяемых для низкокалорийных сладких блюд. *Пищевая промышленность*, (9), 66–69.
- Zavorokhina, N. V., Chugunova, O. V., & Minnikhanova, E. Yu. (2019). Study of the synergism of triple mixtures of sweeteners used for low-calorie sweet dishes. *Food Industry*, (9), 66–69. (In Russ.)
- Зуев, М. Д. (1924). *Энциклопедия свекло-сахарного производства*. Киев: Сахаротрест.
- Zuev, M. D. (1924). *Encyclopedia of beet and sugar production*. Kiev: Sakhartrest. (In Russ.)
- Канаматова, Д. А. (2021). Обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации. *Вестник Евразийской науки*, 13(6), Статья 70ECVN621.
- Kanamatova, D. A. (2021). Ensuring food security of the Russian Federation. *Bulletin of Eurasian Science*, 13(6), Stat'ya 70ECVN621. (In Russ.)
- Ковель, А. А. (2019). Этапы информационного обеспечения разработок бортовой аппаратуры космических аппаратов. *Космические аппараты и технологии*, (3), 87–93. <https://doi.org/10.26732/j.st.2021.3.06>
- Kovel', A. A. (2019). Stages of information support for the development of onboard spacecraft equipment. *Spacecraft and Technologies*, (3), 87–93. (In Russ.) <https://doi.org/10.26732/j.st.2021.3.06>
- Колчинский, Е. В., & Станиславский, Л. П. (2002). Пеногаситель ПГ-3 и затравочная суспензия ССС-Р для интенсификации процессов сахарного производства. *Сахар*, (4), 50–51.

- Kolchinskii, E. V., & Stanislavskii, L. P. (2002). Defoamer PG-3 and seed suspension CCC-R for the intensification of sugar production processes. *Sugar*, (4), 50–51. (In Russ.)
- Кондратьев, Н. Б., Казанцев, Е. В., Осипов, М. В., Руденко, О. С. & Крылова, Э. Н. (2018). Определение источников поступления диоксида серы в кондитерские изделия. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 80(4), 203–208. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-203-208>
- Kondrat'ev, N. B., Kazantsev, E. V., Osipov, M. V., Rudenko, O. S. & Krylova, E. N. (2018). Determination of sources of sulfur dioxide intake in confectionery products. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 80(4), 203–208. (In Russ.) <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-203-208>
- Костенко, Т. И., Кузнецова, М. В., Тарасов, В. Н., Лебедев, В. С., Короткова, Н. П., & Рудич, Т. В. (2014). Отечественные пеногасители для сахарного производства. *Saxar*, (5), 39–41.
- Kostenko, T. I., Kuznetsova, M. V., Tarasov, V. N., Lebedev, V. S., Korotkova, N. P., & Rudich, T. V. (2014). Domestic defoamers for sugar production. *Sugar*, (5), 39–41. (In Russ.)
- Кравец, Я. О., & Бобровник, Л. Д. (2007). Удаление солей жесткости из соков и сиропов сахарного производства фильтровальными порошками. *Saxar*, (9), 37–41.
- Kravets, Ya. O., & Bobrovnik, L. D. (2007). Removal of hardness salts from juices and syrups of sugar production by filter powders. *Sugar*, (9), 37–41. (In Russ.)
- Кривошеев, О. О. (2018). Новые возможности полимерных ТВС в производстве белого сахара. *Saxar*, (4), 60–63.
- Krivosheev, O. O. (2018). New possibilities of polymer fuel assemblies in the production of white sugar. *Sugar*, (4), 60–63. (In Russ.)
- Кухаренко, И. А. (1928). *Спутник варщика*. Киев.
- Kukharenko, I. A. (1928). *The Cook's Companion*. Kiev. (In Russ.)
- Кюрегян, Г. П., Комаров, Н. В., & Кюрегян, О. Д. (2019). Пеногасители для применения в свеклосахарном производстве. *Вестник всероссийского научно-исследовательского института жиров*, (1–2), 47–49. <https://doi.org/10.25812/VNIIG.2019.92.76.007>
- Kyuregyan, G. P., Komarov, N. V., & Kyuregyan, O. D. (2019). Defoamers for use in sugar beet production. *Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Fats*, (1–2), 47–49. (In Russ.) <https://doi.org/10.25812/VNIIG.2019.92.76.007>
- Лосева, В. А., Наумченко, И. С., & Ефремов, А. А. (2003). *Известь: Производство и применение в сахарной промышленности*. Воронеж: ВГТУ.
- Loseva, V. A., Naumchenko, I. S., & Efremov, A. A. (2003). *Lime: Production and application in the sugar industry*. Voronezh: VGTU. (In Russ.)
- Митрошина, Д. П., Славянский, А. А., Грибкова, В. А., Лебедева, Н. Н., Николаева, Н. В., & Мойсеяк, М. Б. (2021). Целесообразность применения пищевых ПАВ в процессах производства белого сахара. *Saxar*, (7), 39–43. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2021-7-39-43>
- Mitroshina, D. P., Slavyanskii, A. A., Gribkova, V. A., Lebedeva, N. N., Nikolaeva, N. V., & Moiseyak, M. B. (2021). The expediency of using food surfactants in the processes of white sugar production. *Sugar*, (7), 39–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2021-7-39-43>
- Нечаев, А. П., Цыганова, Т. Б., Николаева, Ю. В., Тарасова, В. В., Смирнов, Д. А., Речкин, И. В., & Шихалев, С. В. (2020). Разработки нового поколения макаронных изделий быстрого приготовления на основе применения обобщенной функции желательности Харрингтона. *Пищевая промышленность*, (4), 12–16. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10038>
- Nechaev, A. P., Tsyganova, T. B., Nikolaeva, Yu. V., Tarasova, V. V., Smirnov, D. A., Rechkin, I. V., & Shikhalev, S. V. (2020). Development of a new generation of instant pasta based on the application of the generalized Harrington desirability function. *Food Industry*, (4), 12–16. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10038>
- Олишевский, В. В., Хомичак, Л. М., Бабко, Е. Н., & Лементар, С. Ю. (2020). Оптимальные параметры процесса экстрагирования сахарозы с применением наноразмерного гидроксида алюминия. *Saxar*, (8), 8–11. <https://doi.org/10.24411/2413-5518-2020-10801>
- Olishevskii, V. V., Khomichak, L. M., Babko, E. N., & Lementar, S. Yu. (2020). Optimal parameters of the sucrose extraction process using nano-sized aluminum hydroxide. *Sugar*, (8), 8–11. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2413-5518-2020-10801>
- Олянская, С. П., Цырульникова, В. В., & Ровинский, А. Д. (2010). Использование флокулянтов как метод повышения эффективности очистки диффузионного сока. *Saxar*, (8), 43–48.
- Olyanskaya, S. P., Tsyru'nikova, V. V., & Rovinskii, A. D. (2010). Using flocculants as a method to increase the efficiency of diffusion juice purification. *Sugar*, (8), 43–48. (In Russ.)
- Осадчий, Л. М. (2013). Использование гипса в диффузионном процессе свеклосахарного производства. *Вісник цукровиків України*, (6), 13–17.
- Osadchii, L. M. (2013). Using gypsum in the diffusion process of sugar beet production. *Bulletin of Sugar Producers of Ukraine*, (6), 13–17. (In Russ.)
- Осипова, Т. С., Журихина, Л. Н., & Цыганков, В. Г. (2014). Биотестирование на биологически активных добавок к пище на основе растительного сырья с разным соотношением компонентов. *Вопросы питания*, (3), 84–85.
- Osipova, T. S., Zhurikhina, L. N., & Tsygankov, V. G. (2014). Bioassay of biologically active food supplements based on plant raw materials with different component ratios. *Nutrition Issues*, (3), 84–85. (In Russ.)
- Панфилов, В. А. (2020). Синергетический подход к созданию технологий АПК будущего. *Техника и технология пищевых производств*, 50(4), 642–649. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-642-649>
- Panfilov, V. A. (2020). Synergetic Approach to creating the technology of the future agricultural industry. *Food Production Engineering and Technology*, 50(4), 642–649.

- (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-642-649>
- Петров, С. М., Подгорнова, Н. М., Тужилкин, В. И., & Филатов, С. Л. (2017). Повышение качества свекловичного сахара до экспортного уровня. *Сахар*, (5), 30–33.
- Petrov, S. M., Podgornova, N. M., Tuzhilkin, V. I., & Filatov, S. L. (2017). Improving the quality of beet sugar to export level. *Sugar*, (5), 30–33. (In Russ.)
- Обри, Р., & Гасно, Л. (2016). Метаболический путь формальдегида в сахарном производстве и в полупродуктах. *Сахар и свекла*, (2), 21–27.
- Obri, R., & Gasno, L. (2016). The metabolic pathway of formaldehyde in sugar production and in semi-finished products. *Sugar and Beet*, (2), 21–27. (In Russ.)
- Рябцева, О. А. (2018). Обзор рынка антинакипинов для сахарного производства России. *Сахар*, (9), 24–25.
- Ryabtseva, O. A. (2018). Overview of the Anti-Scale Agents Market for the Sugar Industry in Russia. *Sugar*, (9), 24–25. (In Russ.)
- Савостин, А. В., & Городецкий, В. О. (2014). Сравнительная оценка эффективности действия антинакипинов при выпаривании соков свеклосахарного производства. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, (5–6), 102–106.
- Savostin, A. V., & Gorodetskiy, V. O. (2014). Comparative assessment of the effectiveness of anti-scale agents during the evaporation of juices in beet sugar production. *News of Higher Educational Institutions. Food Technology*, (5–6), 102–106. (In Russ.)
- Сапронова, Л. А., & Лукьянов, А. Б. (1985). Гидролиз декстрана декстраназой. *Сахарная промышленность*, (1), 31–32.
- Sapronova, L. A., & Luk'yanov, A. B. (1985). Hydrolysis of dextran by dextranase. *Sugar Industry*, (1), 31–32. (In Russ.)
- Сапронов, А. Р. (1998). *Технология сахарного производства*. М.: Колос.
- Sapronov, A. R. (1998). *Technology of sugar production*. М.: Kolos. (In Russ.)
- Сидо, О. Н., Зубик, М. В., Мойсеяк, М. Б., & Шумовецкий, Г. А. (2009). Анализ технологии получения utfеля I кристаллизации. *Сахар*, (7), 58–61.
- Sido, O. N., Zubik, M. V., Moiseyak, M. B., & Shumovetskiy, G. A. (2009). Analiz tekhnologii polucheniya utfelya I kristallizatsii. *Sugar*, (7), 58–61. (In Russ.)
- Силин, П. М. (1958). *Технология свеклосахарного и рафинадного производства*. М.: Пищепромиздат.
- Silin, P. M. (1958). *Analysis of the technology of obtaining massecuite and crystallization*. М.: Pishchepromizdat. (In Russ.)
- Славянский, А. А., & Мойсеяк, М. Б. (2007). Поверхностно-активные вещества: применение в сахарном производстве ПАВ. *Сахар*, (3), 32–35.
- Slavyanskii, A. A., & Moiseyak, M. B. (2007). Surfactants: Application in the Sugar Industry PAV. *Sugar*, (3), 32–35. (In Russ.)
- Сотников, В. А., Гадиев, Р. Р., & Рудич, Т. В. (2014). Бетасепт — антисептирующий препарат для жомопрессовой воды. *Сахар*, (8), 37–39.
- Sotnikov, V. A., Gadiev, R. R., & Rudich, T. V. (2014). Betasept — Antiseptic agent for beet pulp press Water. *Sugar*, (8), 37–39. (In Russ.)
- Сотников, В. А., Мустафин, Т. Р., Сотников, А. В., Рудич, Т. В., Wild, V., & Moisch, U. (2018). Обоснование применения ферментно-антисептирующих препаратов при переработке дефектной свеклы. *Сахар*, (4), 18–24.
- Sotnikov, V. A., Mustafin, T. R., Sotnikov, A. V., Rudich, T. V., Wild, V., & Moisch, U. (2018). Justification for the use of enzyme-antiseptic agents in the processing of defective sugar beet. *Sugar* (4), 18–24. (In Russ.)
- Старовойтова, К. В., & Терещук, Л. В. (2016). Перспективы отечественного производства микроингредиентов. *Техника и технология пищевых производств*, 41(2), 77–83.
- Starovoitova, K. V., & Tereshchuk, L. V. (2016). Prospects of domestic production of microingredients. *Technique and Technology of Food Productions*, 41(2), 77–83. (In Russ.)
- Тимошенко, Ю. А. (2012). Синергетические свойства природных фосфолипидов как эффективных эмульгаторов и биологически активных ингредиентов для нового поколения диетических продуктов. *Пищевые ингредиенты. Сырье и добавки*, (2), 35–37.
- Timoshenko, Yu. A. (2012). Synergistic properties of natural phospholipids as effective emulsifiers and biologically active ingredients for the new generation of dietary products. *Food Ingredients. Raw Materials and Additives*, (2), 35–37. (In Russ.)
- Хайн, В., Резнер, Г., & Эмеррстофер, Ф. (2009). Меры по предотвращению производственных нарушений, вызванных декстраном. *Сахар и свекла*, (1), 4–12.
- Khain, V., Rezner, G., & Emerstofer, F. (2009). Measures to prevent production disruptions caused by dextran. *Sugar and Beet*, (1), 4–12. (In Russ.)
- Харитонов, Д. В., Харитонов, И. В., & Просеков, А. Ю. (2013). Разработка концепции создания синбиотиков и синбиотических молочных продуктов. *Техника и технология пищевых производств*, 31(4), 91–94.
- Kharitonov, D. V., Kharitonova, I. V., & Prosekov, A. Yu. (2013). Development of the concept for creating synbiotics and synbiotic dairy products. *Technique and Technology of Food Production*, 31(4), 91–94. (In Russ.)
- Химченко, А. В., & Шилин, И. В. (2022). К вопросу о возможности замены моделей на основе уравнений линейной регрессии искусственной нейронной сетью для многофакторного эксперимента. В *Прикладные вопросы физики (к 120-летию со дня рождения академиков И. В. Курчатова и А. П. Александрова: Материалы национальной научно-практической конференции* (с. 112–120). Воронеж: ВГТУ.
- Khimchenko, A. V., & Shilin, I. V. (2022). On the possibility of replacing models based on linear regression equations with an artificial neural network for a multifactorial experiment. In *Applied Issues of Physics (on the 120th Anniversary of the Birth of Academicians I.V. Kurchatov and A.P. Aleksandrov: Materials of the National Scientific and*

- Practical Conference*) (p. 112–120). Voronezh: VGTU. (In Russ.)
- Хорошева, Е. В. Михайлова, И. Ю. Ремнева, Г. А., Урусова, Л. М., Филонова, Г. Л., & Головина, Т. А. (2016). Выявление причин образования осадков в безалкогольных напитках. *Пиво и напитки*, (4), 50–53.
- Khorosheva, E. V. Mikhailova, I. Yu. Remneva, G. A., Urusova, L. M., Filonova, G. L., & Golovina, T. A. (2016). Identification of the causes of sediment formation in non-alcoholic beverages. *Beer and Beverages*, (4), 50–53. (In Russ.)
- Шафрай, А. В., Сафонова, Е. А., Бородулин, Д. М., Головачева, Я. С., Ратников, С. А., & Керлос, В. Б. В. (2021). Моделирование процесса интенсификации экстракции изогумулона в роторно-пульсационном аппарате при помощи нейронных сетей. *Техника и технология пищевых производств*, 51(3), 593–603. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-593-603>
- Shafrai, A. V., Safonova, E. A., Borodulin, D. M., Golovacheva, Ya. S., Ratnikov, S. A., & Kerlos, V. B. V. (2021). Modeling the process of intensification of isohumulone extraction in a rotary-pulsation device using neural networks. *Food Production Engineering and Technology*, 51(3), 593–603. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-593-603>
- Soest, H.-R. (2010). Ионообменные смолы для обесцвечивания сахара — белоснежные кристаллы и чистый сироп. *Сахар*, (5), 53–55.
- Soest, H.-R. (2010). Ion-Exchange resins for sugar decolorization – Snow-White crystals and pure syrup. *Sugar*, (5), 53–55. (In Russ.)
- Stangierski, J., Weiss, D., & Kaczmarek, A. (2019). Multiple regression models and Artificial Neural Network (ANN) as prediction tools of changes in overall quality during the storage of spreadable processed Gouda cheese. *European Food Research and Technology*, 245, 2539–2547. (In Russ.) <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03369-y>

УДК 637.438:66.083/084.8:579.67

Экспериментальная оценка влияния комплексной обработки высоким давлением и ультразвуком на микробиологические показатели жидкого яичного меланжа

С. А. Соколов¹, И. Г. Дейнека², А. А. Декань³, А. А. Яшонков¹

¹ Керченский государственный морской технологический университет, г. Керчь, Российская Федерация

² Луганский государственный университет имени В. Даля, г. Луганск, Российская Федерация

³ Донецкий национальный университет экономики и торговли имени М. Туган-Барановского, г. Донецк, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Яшонков Александр Анатольевич
E-mail: jashonkov@rambler.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Соколов, С.А., Дейнека, И.Г., Декань, А.А., & Яшонков, А.А. (2023). Экспериментальная оценка влияния комплексной обработки высоким давлением и ультразвуком на микробиологические показатели жидкого яичного меланжа. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 59-68. <https://doi.org/10.36107/spfr.2023.472>

ПОСТУПИЛА: 13.05.2023

ПРИНЯТА: 15.09.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

**АННОТАЦИЯ**

Введение. Интенсивное развитие технологии с использованием высокого давления обусловлено не только его способностью инактивировать патогенную микрофлору, но и перспективами придания полезных потребительских свойств пищевым продуктам. Также одним из эффективных способов энергетического влияния на технологические процессы является использование акустических колебаний. Многочисленные исследования подтверждают перспективность данных методов обработки пищевого сырья. Однако, физические процессы, происходящие в жидком яичном меланже под влиянием ультразвуковых колебаний, которые наложены на другие силовые поля (высокое давление, электрические поля и др.), недостаточно изучены.

Цель: Экспериментальная оценка синергетического влияния комбинированной обработки высоким давлением и ультразвуком на примере деконтаминации жидкого яичного меланжа.

Материалы и методы: В качестве объекта исследований был принят – жидкий однородный яичный меланж, т.е. смесь белка и желтка. Исследования проводились на автоматизированной установке, позволяющей проводить исследования при давлениях от 0,1 до 1000 МПа, при температуре от + 5 до + 100 °С, частота ультразвукового воздействия от 17 до 35 кГц; мощность ультразвукового воздействия от 0 до 300 Вт.

Результаты: Исследование микробиологической обсемененности жидкого яичного меланжа, в котором начальная концентрация кишечной палочки K12DH5a составляла приблизительно 10⁸ КОЕ/мл было проведено при обработке его ультразвуком мощностью 20, 30 и 40 Вт, высоким давлением 200 МПа на протяжении 400 секунд и при совместной обработке ультразвуком мощностью 40 Вт, частоте излучения – 25 кГц и высоким давлением 200 и 250 МПа. Анализ полученных результатов показывает, что обработка жидкого яичного меланжа ультразвуком в выбранном интервале мощностей не обеспечивает его стерилизацию. Обработка жидкого яичного меланжа высоким давлением обеспечивает стерилизацию его через 400 секунд.

Выводы: Применение ультразвука мощностью 40 Вт частотой излучения – 25 кГц при совместной обработке давлением 250 МПа позволяет сократить время обработки практически на 44 %, комплексная же обработка с параметрами ВД-200МПа +УЗ 40 Вт, снижает время обработки ориентировочно на 30 % но позволяет сократить рабочее давление на 50 МПа, что способствует снижению металлоёмкости установки и улучшает экономические показатели процесса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

высокое давление, ультразвук, комплексная обработка, жидкий однородный яичный меланж, микробиологические показатели

Experimental Evaluation of the Effect of Complex Treatment with High Pressure and Ultrasound on Microbiological Parameters of Liquid egg Melange

¹ Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russian Federation

² Lugansk Vladimir Dahl State University, Lugansk, Russian Federation

³ Donetsk national University of Economics and trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Donetsk, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Aleksander A. Yashonkov

E-mail: jashonkov@rambler.ru

FOR CITATIONS:

Sokolov, S.A., Deyneka, I.G., Dekan', A.A., & Yashonkov, A.A. (2023). Experimental evaluation of the effect of complex treatment with high pressure and ultrasound on microbiological parameters of liquid egg melange. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 59-68. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.472>

RECEIVED: 13.05.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Sergey A. Sokolov¹, Innesa G. Deyneka², Aleksej A. Dekan'³, Aleksander A. Yashonkov¹

ABSTRACT

Introduction: The intensive development of technology using high pressure is due not only to its ability to inactivate pathogenic microflora, but also to the prospects that open up for giving new useful consumer properties to food products. Also, one of the effective ways of energy influence on technological processes is the use of acoustic vibrations. Numerous previous studies confirm the prospects of these methods of processing food raw materials. However, the physical processes occurring in a liquid medium under the influence of ultrasonic vibrations, which are superimposed on other force fields (high pressure, electric fields, etc.), are insufficiently studied.

Purpose: Experimental evaluation of the synergistic effect of combined high-pressure and ultrasound treatment on the example of decontamination of egg white, yolk and liquid egg melange.

Materials and Methods: Liquid homogeneous egg melange, i.e. a mixture of protein and yolk, was accepted as the object of research. The studies were carried out on an automated installation that allows conducting studies at pressures from 0.1 to 1000 MPa, at temperatures from + 5 to + 100 °C, the frequency of ultrasonic exposure from 17 to 35 kHz; the power of ultrasonic exposure from 0 to 300 watts.

Results: The study of the microbiological contamination of egg melange, in which the initial concentration of *E. coli* K12DH5a was approximately 10⁸ CFU/ml, was carried out separately when it was treated with ultrasound with a power of 20, 30 and 40 watts, high pressure of 200 MPa for 400 seconds and with joint treatment with ultrasound with a power of 40 watts, a radiation frequency of 25 kHz and high pressure 200 and 250 MPa. The analysis of the obtained results shows that the treatment of liquid egg melange with ultrasound in the selected power range does not ensure its sterilization. High-pressure treatment of liquid melange ensures its sterilization after 400 seconds.

Conclusion: The use of ultrasound with a power of 40 W and a radiation frequency of 25 kHz with joint processing with a pressure of 250 MPa reduces the processing time by almost 44 %, while complex processing with the parameters high pressure – 200MPa + ultrasound 40 W reduces the processing time by approximately 30 % but reduces the working pressure by 50 MPa, which can help reduce metal consumption installations and, as a result, improves the economic performance of the process being carried out.

KEYWORDS

high pressure, ultrasound, integrated processing, liquid homogeneous egg melange, microbiological indicators

ВВЕДЕНИЕ

Пищевые продукты — являются средой для роста патогенных бактерий, которые могут вызвать различные заболевания у людей. Качество и срок хранения пищевых продуктов в значительной степени зависит от природы загрязняющих микроорганизмов. Скоропортящиеся продукты обычно предохраняют от действия микроорганизмов путём консервирования, чем обеспечивается сохранение питательной ценности продукта и его качества. Применяемые методы обработки продуктов с целью обеспечения их стерильности, увеличения сроков хранения и улучшения потребительских свойств зависят от вида и свойств сырья, а также назначения готового продукта. В настоящее время применяют физические, физико-химические, химические и биохимические методы консервирования (Бурак, 2021; Гусейнова с соавт., 2021). Выбор и применение конкретных методов консервирования определяется их влиянием на исходное сырьё и качество получаемого продукта. Основу этих методов до настоящего времени составляли термообработка (пастеризация, стерилизация) и замораживание. (Флауменбаум, 1993) В некоторых случаях используются также системы обеспложивания, а также обработка ультрафиолетовыми лучами, ультразвуком и ионизирующими излучениями (Воложанинова с соавт., 2015). В охлаждённых продуктах почти (но не полностью) подавляется развитие патогенной и обычной сапрофитной микрофлоры, снижается активность тканевых ферментов (Гусейнова с соавт., 2021). При замораживании находящаяся в продуктах вода превращается в лёд, поэтому осмотические условия для развития микроорганизмов неблагоприятны. Однако хранение замороженных продуктов при низких температурах вызывает в них ряд физических и гистологических изменений (изменение консистенции, объёма, цвета, структуры, потери массы и др.), зависящих от условий замораживания и последующего оттаивания (размораживания) продукта (Гусейнова с соавт., 2021).

При пастеризации продукт нагревают до температуры ниже 100°C (65–85°C). Пастеризованные продукты не пригодны для длительного хранения, так как вегетативные формы микробов погибают, но споры сохраняют свою жизнеспособность. Пастеризации подвергают молоко, сливки, джем, плодово-ягодные соки, пиво и другие продукты. При

этом происходит частичное разрушение витаминов и биологически активных веществ (Воложанинова с соавт., 2015; Соколов & Яшонков, 2021).

Стерилизация — тепловая обработка герметично закрытого продукта при температуре 113–120°C в течение времени, определяемого для каждого продукта экспериментальным путём (Флауменбаум, 1993). Цель стерилизации — полное уничтожение в продукте микробов и их спор. Стерилизуют мясные, рыбные, молочные, фруктовые и другие консервы. При стерилизации, обеспечивающей возможность сохранять продукты в течение длительного времени, снижается их вкусовая и питательная ценность вследствие гидролиза и денатурации белков, крахмал и сахар частично расщепляются, ферменты (в том числе и «полезные») инактивируются, разрушается часть витаминов, изменяется структура и цвет (Воложанинова с соавт., 2015).

Ультразвуковые волны (УЗ) (с колебанием выше 20 кГц) используют для стерилизации молока, консервов, соков, воды и других жидких продуктов. При этом способе в большей мере, чем при тепловой обработке, сохраняются витамины и первичные вкусовые свойства, однако кавитационные эффекты приводят к локальным повышением температуры, что снижает ценность данного способа (Акопян, 2005).

Ионизирующее излучение, проникая через живую ткань, вызывает превращение нейтральных молекул и атомов вещества в положительно и отрицательно заряженные ионы. Этим излучением обрабатывают продукты в герметичной таре большого размера и в крупной упаковке из полимерных материалов. При этом наблюдается некоторые изменения белков, расщепление серосодержащих аминокислот, окисление жиров, разрушение витаминов, изменение вкуса и запаха продуктов. Ионизирующее излучение изменяет структурные элементы клеток микроорганизмов, нарушает процессы размножения (Мусина & Коновалов, 2016).

Облучение ультрафиолетовыми лучами применяют для стерилизации поверхности колбасных изделий, мясных туш и других продуктов. Гибель микробных клеток в этом случае обусловлена адсорбцией ультрафиолетовых лучей нуклеиновыми кислотами и нуклеопротеидами, которые денатурируют (Тиганов, 2007)

Механическая стерилизация (обеспложивание) — это фильтрование жидких продуктов через специальные фильтры и мембраны, с последующим разливом их в стерильную тару. При такой стерилизации сохраняется вкус, витамины и аромат продукта. Недостатком этого метода является сложность оборудования и трудоемкость его эксплуатации (Бурак, 2021).

Химические и комбинированные методы консервирования осуществляются введением в пищевые продукты химических веществ, которые должны препятствовать развитию микроорганизмов. Среди них уксусная, бензойная, сорбиновая, пропионовая и борная кислоты, копильные жидкости и дым, сернистый ангидрид, метабисульфит калия, уротропин и некоторые антибиотики. Действие этих веществ на организм человека еще до конца не изучен, но имеются многочисленные свидетельства нежелательности их использования с точки зрения влияния на организм человека и животных (Флауменбаум, 1993).

В настоящее время наиболее интенсивно внедряется во все отрасли пищевой промышленности технология обработки пищевых продуктов высоким давлением (ВД) (Катанаева с соавт., 2022). Одним из преимуществ использования ВД на пищевые продукты (по сравнению с рассмотренными методами) является одновременная и равномерная передача давления по всему объему обрабатываемого продукта и, как следствие, наблюдаемая независимость параметров процесса от её размера и геометрии (Прокопенко & Кретов, 2022). При обычной тепловой обработке размер и геометрия является лимитирующим фактором. К примеру, снижение размера фрагментов продовольственного сырья в тепловом водно-фазовом процессе необходимо для улучшения тепло и массопереноса, однако при этом ухудшаются питательные свойства продукта и состояние окружающей среды (загрязнение сточных вод). Процесс с использованием ВД, в связи с этим, приобретает большую гибкость и универсальность, а в конечном итоге, революционизирует традиционный метод переработки пищевых продуктов. Одним из наиболее важных достоинств этого метода является сохранение формы обрабатываемого материала в широком диапазоне используемых давлений. Процесс с ис-

пользованием ВД является экологически чистым, так как существенно снижает отходы производства (образующиеся, например, как результат разрыва растительных и животных клеток или тканей).

Существующие методы обработки продуктов питания могут быть усовершенствованы путем объединения двух или более известных методов, что позволяет ослабить негативные стороны каждого отдельного метода, и в результате получить новые позитивные факторы, позволяющие говорить о возможности получения продуктов более высококачественных, с увеличенным сроком хранения и минимальными затратами на производство (Крюкова с соавт., 2019; Corrales et al., 2008; Lopez et al., 1998). Использование ВД в пищевых технологиях в настоящее время является одним из наиболее перспективных способов обработки пищевых продуктов. С другой стороны, одним из эффективных способов энергетического влияния на технологические процессы использования акустических колебаний. Применение акустических колебаний малой мощности позволяет интенсифицировать тепло — массообменные процессы при обработке ВД, с одновременным снижением материалоемкости используемого оборудования и энергозатрат на достижение желаемого технологического и микробиологического эффекта. Данные обстоятельства позволяют утверждать, что комбинированная, комплексная обработка пищевых продуктов ВД и УЗ позволит получить ряд положительных эффектов, таких как снижение величины рабочего параметра ВД, приводящего к стерилизации продукта, уменьшению продолжительности обработки, снижения мощности излучения УЗ (Сукманов, 2008). Анализ физических процессов, происходящих при обработке продуктов питания ВД и УЗ показал, что объединение этих методов является перспективным и позволит получить продукты с улучшенными их характеристиками.

Яйца являются одним из основных продуктов в питании человека. В яйцах содержатся в оптимальном соотношении все питательные вещества, необходимые для развития и поддержания жизни организма. Основными компонентами содержимого яиц, имеющими особое значение в питании, являются белки, липиды и витамины. Белки яиц полностью усваиваются организмом человека¹. По-

¹ Фисинин, В. И., Гушин, В. В., & Лукашенко, В. С. (2015) *Пищевая и биологическая ценность яиц и яичных продуктов: Справочник*. Сергиев Посад: Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства РАСХН.

этому аминокислотный состав белков яиц часто принимается для сравнения в качестве оптимального (Wrigley & Llorca, 1992; Singh et al., 2015). Куриные яйца являются незаменимыми в кулинарном производстве. Широкое использование яиц в пищевом производстве обусловлено не только их высокой питательной ценностью и отличными вкусовыми качествами, но и технологическими свойствами, способностью образовывать пену при взбивании, эмульгировать жиры, высокой вязкостью. Свежеснесенные яйца от здоровых кур покрыты бактерицидной слизью и через сутки после снесения на 1 см² поверхности чистой скорлупы яиц содержится в среднем $3 \cdot 10^5$ микроорганизмов, на 1 см² поверхности скорлупы загрязненных яиц — $3 \cdot 10^4$ микроорганизмов, а на 1 см² поверхности грязных яиц $4,3 \cdot 10^5$ – $1,4 \cdot 10^6$ микроорганизмов. Спустя 4 дня количество жизнеспособных бактерий на чистой скорлупе сокращается в 5 раз, на загрязненной — в 3, а на грязной скорлупе — в 2 раза. Большое количество микроорганизмов на поверхности загрязненной и грязной скорлупы способствует быстрому проникновению их через поры скорлупы в содержимое яйца, подавлению бактерицидной активности белка, что приводит к быстрой порче яиц (Бурмистрова с соавт., 2019). Эти обстоятельства потенциально могут привести к проникновению патологической микрофлоры в производимый продукт, особенно при производстве белковых кремов для кондитерских изделий, которые не подвергаются термической обработке и употребляются в «сыром» виде. Вышеперечисленные обстоятельства позволяют использовать жидкий яичный меланж в качестве объекта для экспериментальной оценки эффективности комплексной обработки продуктов питания ВД и УЗ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В процессе комплексной обработки продуктов питания ВД и УЗ были проведены экспериментальные исследования, в которых в качестве объекта был принят жидкий однородный яичный меланж, т.е. смесь белка и желтка.

Объект

В исследованиях были использованы яйца куриные в скорлупе ГОСТ 31654–2012 Яйца куриные пищевые. Технические условия².

Методы

Свежесть куриных яиц контролировалась при помощи лабораторного рН-метра. Измерения данного показателя производили для каждой новой партии яиц, и полученные значения находились в интервале от 7,4 до 7,8.

Процедура

Свежие целые яйца были вымыты водопроводной водой, затем погружены в 70% раствор этанола на 10 мин и затем высушены на воздухе. Прозецированные яйца были разбиты вручную, после чего перемешаны миксером в стерильной посуде в течение 1 минуты, и упакованы в специальные стерильные контейнеры для обработки в установке высокого давления (УВД) (Декань А.А. с соавт., 2022). Часть подготовленных продуктов, используемых в качестве контрольных образцов, была помещена в стерильную посуду с притертой пробкой. Условия хранения всех исследуемых образцов продуктов + 4 ± 0,5 °С. Для проведения экспериментальных исследований микробиологической эффективности предлагаемого способа была использована культура кишечной палочки (КП), которую готовили следующим образом. Кишечная палочка K12DH5α была перенесена в 20 мл стандартного бульона и выращена в вибрирующем инкубаторе в течение 24 часов при 30 °С. Через 24 часа инкубации 50 мл суспензии были перенесены в 20 мл свежего бульона, и выращивание продолжалось еще 24 часа. Для исследований влияния стерилизующего эффекта ВД на исследуемые продукты были подготовлены следующие образцы: 1мл суспензии микроорганизмов с КП были привиты к 100мл белка, желтка и жидкого яичного меланжа. При этом начальная концентрация КП составила примерно 108 КОЕ/мл.

² ГОСТ 31654–2012. (2012). *Яйца куриные пищевые. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно поставленной цели, найти необходимое сочетание двух отдельных обработок (ВД + УЗ), для достижения синергетического эффекта с целью деконтаминации жидкого яичного меланжа был проведен цикл экспериментальных исследований по подбору параметров вышеприведенных процессов обработки, применение которых позволит снизить величины рабочего давления, и мощности ультразвука.

Опираясь на исследования Hayashi et al. (1989), Plancken et al. (2005) и Wrigley & Llorca (1992) авторы которых определили интервал значений величин давления, температуры и времени обработки жидкого яичного меланжа мы использовали их в качестве контрольных показателей для получения параметров процесса обработки ВД, обеспечивающего их микробиологическую стерильность, улучшение технологических и потребительских свойств. Интервал значений параметров УЗ обработки был определён (Wrigley & Llorca, 1992) а именно: мощность УЗ излучения: 20, 30 и 40 Вт с постоянной частотой 25 кГц и продолжительность облучения до 300 с давление — до 300 МПа.

График полного цикла комплексной обработки жидкого яичного меланжа ВД +УЗ представлен

на Рисунке 1, где в течение первых 50 секунд осуществлялся подъем давления до 250МПа, после чего включался УЗ излучатель, на котором устанавливались выбранные значения мощности и частоты излучения. Через 300 секунд излучатель отключали и в течении последующих 50 секунд сбрасывали давление до атмосферного.

В связи с необходимостью проведения сравнительных исследований по стерилизации обрабатываемого продукта на первой стадии исследования были проведены эксперименты по изучению влияния УЗ на микробиологическую обсемененность жидкого яичного меланжа. В связи с тем, что наиболее часто встречающимся представителем микрофлоры куриных яиц является кишечная палочка (КП) (Бурмистрова с соавт., 2019), исследования были проведены именно на данном представителе микрофлоры.

В связи с тем, что обработка продуктов питания как ВД, так и УЗ приводит к повышению их температуры, а изменение температуры обработки ниже или выше комнатной увеличивает норму инактивации микроорганизмов (Knorr & Heinz, 1999), то на первом этапе исследований было изучено влияние данных параметров процесса на температуру исследуемых образцов в процессе обработки. Контейнеры с образцами были помещены в рабочую камеру УВД с УЗ излучателем и обработаны ВД до значения 250 МПа в течение 400 с. Часть образ-

Рисунок 1

Изменение параметров процесса комплексной обработки жидкого яичного меланжа ВД и УЗ в течении полного цикла обработки

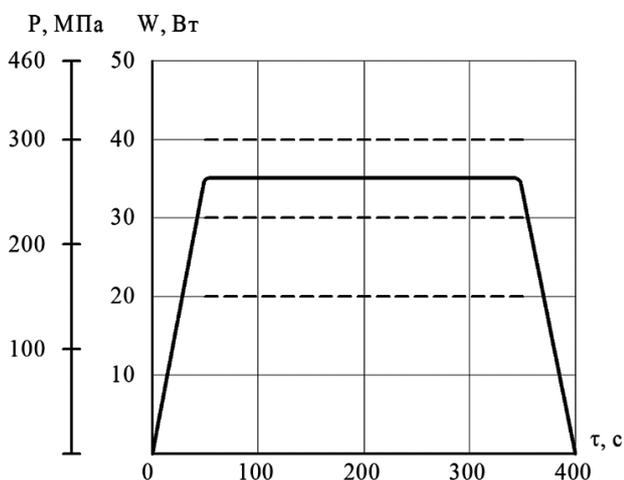
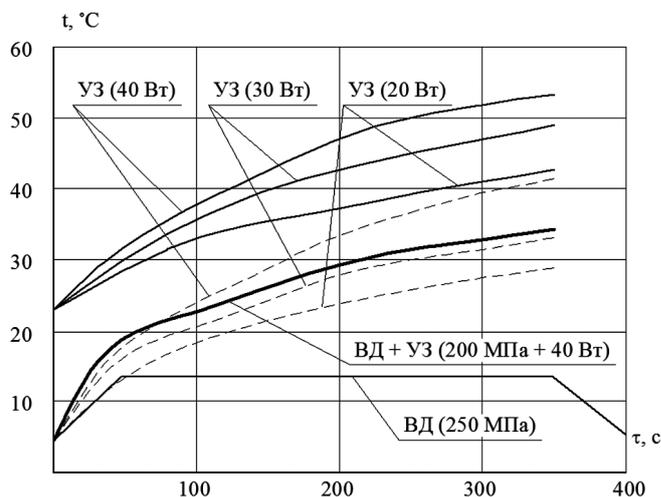


Рисунок 2

Изменение температуры образцов жидкого яичного меланжа в процессе их обработки УЗ, ВД, а также комплексной обработки ВД + УЗ

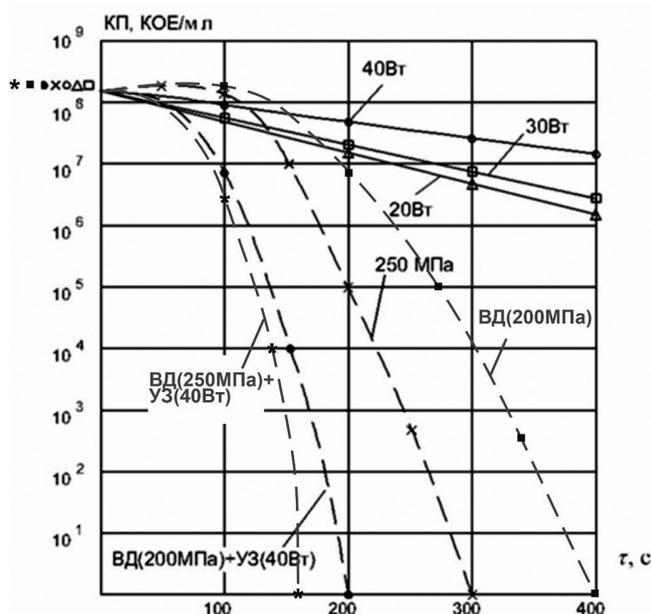


цов были помещены в камеру УВД и обработаны УЗ. Нами были проведены предварительные исследования по определению начальной температуры обработки УЗ, часть образцов имели начальную (комнатную) температуру 22 °С и часть образцов (хранящихся в холодильном шкафу) 5 °С. Результаты экспериментальных исследований представлены на Рисунке 2.

Анализ полученных результатов показывает, что в течение 300 с обработкой УЗ приводит к увеличению температуры ориентировочно в два раза; конечная температура достигает 40–45 °С. При данной температуре начинается денатурация белков, следовательно, начальная температура процесса в 22 °С не применима. При возрастании мощности излучения (20, 30, 40 Вт) температура обрабатываемого продукта возрастала соответственно на 17, 22, 27 °С при начальной температуре 22 °С и на 18, 27 и 33 °С, при начальной температуре 5 °С. Сравнение данных значений температуры показывает, что при возрастании начальной температуры продукта снижается темп роста температуры продукта до достижения конечного ее значения. При обработке образцов ВД температура возрастала с 5 до 14 °С в период возрастания ВД, далее стабилизировалась и затем снижалась с 14 до 5 °С.

Рисунок 3

Изменение содержания кишечной палочки в образцах жидкого яичного меланжа в процессе его обработки УЗ, ВД, а также комплексной обработки УЗ + ВД



Выбор режима комплексной обработки исследуемых образцов базировался на предварительно проведенных пилотных исследованиях (Сукманов с соавт., 2008). ВД+УЗ были выбраны параметры обработки: начальная температура 5 °С, мощность УЗ — 40 Вт, частота излучения — 25 кГц и продолжительность облучения: до 300 с, что обеспечивало щадящий режим обработки продукта и не приводило в денатурации белков в результате локального повышения температуры. Суммарное изменение температуры образцов продукта при давлении 200 МПа и мощности УЗ 40 Вт (сплошная жирная линия) приведены на Рисунке 2 и соответствует 32 °С, что не приводит к денатурации белка яйца.

Исследование микробиологической обсемененности жидкого яичного меланжа, в котором начальная концентрация КП составляла приблизительно 10^8 КОЕ/мл. было проведено при обработке его УЗ мощностью 20, 30 и 40 Вт, ВД 200 МПа на протяжении 400 с (из которых 100 с — период подъема и сброса давления) и при комплексной его обработке: УЗ+ВД. Результаты исследований приведены на Рисунке 3. Анализ полученных результатов показывает, что обработка жидкого яичного меланжа УЗ в выбранном интервале мощностей не обеспечивает его стерилизацию. Обработка же ВД 250 МПа обеспечивает его стерилизацию через 300 с. Комплексная обработка жидкого яичного меланжа ВД 200 МПа +УЗ 40 Вт обеспечивает его стерилизацию через 200 с.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в статье рассмотрены и проанализированы возможности применения комбинированной обработки жидкого яичного меланжа для его деконтаминации. Показаны результаты обработки жидкого яичного меланжа отдельно высоким давлением 250 МПа что обеспечило его стерилизацию через 300 с. Применение отдельно ультразвука частотой 25 кГц в диапазоне мощностей излучателя от 20 до 40 Вт не обеспечило стерилизацию меланжа. Выбрано наиболее эффективное для решения поставленной задачи сочетание ультразвука мощностью 40 Вт частотой излучения — 25 кГц при совместной обработке давлением 250 МПа, что позволяет сократить время обработки практически на 44 %. Комплексная же обработка с параметрами ВД-200МПа +УЗ 40 ВТ, снижает время обработки

ориентировочно на 30% но позволяет сократить рабочее давление на 50 МПа, что может способствовать снижению металлоёмкости установки и как следствие улучшает экономические показатели осуществляемого процесса. В результате проведенных исследований в статье делается вывод о перспективности использования синергетического эффекта от одновременной обработки высо-

ким гидростатическим давлением и ультразвуком для обеззараживания жидкого яичного меланжа. Полученные экспериментальные результаты можно использовать для разработки соответствующего оборудования и использовать при обеззараживания других жидких продуктов и сырья в пищевой промышленности.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Соколов Сергей Анатольевич: концептуализация; проектирование методологии; редактирование рукописи.

Дейнека Инесса Григорьевна: администрирование проекта; проведение исследовательского процесса; создание черновика рукописи.

Декань Алексей Алексеевич: проведение исследования; формальный анализ; обработка и верификация данных.

Яшонков Александр Анатольевич: проведение исследования; визуализация; ресурсное обеспечение.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Акопян, В. Б. (2005) *Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами: Ультразвук в медицине, ветеринарии и экспериментальной биологии*. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана.
- Акопян, В. Б. (2005). *Fundamentals of ultrasound interaction with biological objects: Ultrasound in medicine, veterinary medicine and experimental biology* Moscow: MG TU im. N. E. Baumana.
- Бурлак, Л. Ч. (2021). Существующие способы обработки пищевых продуктов и их влияние на пищевую ценность и химический состав. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания*, (3), 59–73. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-3-59-73>
- Burak, L. Ch. (2021). Existing methods of food processing and their impact on nutritional value and chemical composition. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex — Healthy Food Products*, (3), 59–73. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-3-59-73>
- Бурмистрова, О. М., Бурмистров, Е. А., & Наумова, Н. Л. (2019). Товарные свойства и качество пищевых куриных яиц. *Аграрный вестник Урала*, (9), 19–29. https://doi.org/10.32417/article_5dadfe3b0c2c43.85705164
- Burmistrova, O. M., Burmistrov, E. A., & Naumova, N. L. (2019). Commercial properties and quality of edible chicken eggs. *Agrarian Bulletin of the Urals*, (9), 19–29. https://doi.org/10.32417/article_5dadfe3b0c2c43.85705164
- Воложанинова, С. Ю., Суворов, О. А., Кузнецов, А. Л., & Посохов, Н. Д. (2015). Использование физико-химических методов обработки с целью продления срока годности, повышения качества и контроля безопасности продуктов питания. *Инженерный вестник Дона*, (3), 4.
- Volozhaninova, S. Y., Suvorov, O. A., Kuznetsov, A. L., & Posokhov, N. D. (2015). The use of physico-chemical methods of processing to extend the shelf life, improve the quality and control the safety of food products. *Engineering Bulletin of Don*, (3), 4.
- Гусейнова, Б. М., Асабутаев, И. Х., & Даудова, Т. И. (2021). Влияние низкотемпературных режимов консервирования на сохранность товарных качеств и нутриентного состава абрикосов с учетом сортовых особенностей и сроков хранения. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 14–29. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.185>
- Guseynova, B. M., Asabutaev, I. H., & Daudova, T. I. (2021). The impact of low-temperature preservation regimes on the preservation of commercial qualities and nutrient composition of apricots considering varietal characteristics and storage periods. *Storage and processing of agricultural raw materials*, (1), 14–29. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.185>
- Декань, А. А., Дейнека, И. Г., Соколов, С. А., & Яшонков, А. А. (2022). К вопросу решения задачи формирования пространственного динамического напряженного деформированного состояния камер для комбинированной обработки продуктов питания высоким давлением и ультразвуком. *Вестник*

- Керченского государственного морского технологического университета, (3), 124–142.
- Dekan', A. A., Deineka, I. G., Sokolov, S. A., & Yashonkov, A. A. (2022). On the issue of solving the problem of forming a spatial dynamic stress-strain state of chambers for combined processing of food products by high pressure and ultrasound. *Bulletin of the Kerch State Marine Technological University*, (3), 124–142.
- Катанаева, Ю. А., Соколов, С. А., & Севаторов, Н. Н. (2022). Современное состояние технологий с использованием высокого давления для обработки пищевых продуктов. *Вестник Керченского государственного морского технологического университета*, (3), 143–161.
- Katanaeva, Yu. A., Sokolov, S. A., & Sevatorov, N. N. (2022). The current state of technology using high pressure for food processing. *Bulletin of the Kerch State Marine Technological University*, (3), 143–161.
- Крюкова, Е. В., Колоколова, А. Ю., Илюхина, Н. В., Королёв, А. А., & Левшенко, М. Т. (2019). Перспективы использования комбинированного метода воздействия (СВЧ и релятивистскими электронами) на пищевую продукцию для обеспечения ее микробиологической безопасности. *Пищевая промышленность*, (12), 17–20. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10196>
- Kryukova, E. V., Kolokolova, A. Yu., Ilyukhina, N. V., Korolev, A. A., & Levshenko, M. T. (2019). Prospects of using a combined method of exposure (microwave and relativistic electrons) on food products to ensure its microbiological safety. *Food Industry*, (12), 17–20. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10196>
- Мусина, О. Н., & Коновалов, К. Л. (2016). Радиационная обработка ионизирующим излучением продовольственного сырья и пищевых продуктов. *Пищевая промышленность*, (8), 46–49.
- Musina, O. N., & Konovalov, K. L. (2016). Radiation treatment of food raw materials and food products with ionizing radiation. *Food Industry*, (8), 46–49.
- Прокопенко, И. А., & Кретов, А. А. (2022). Влияние высокого гидростатического давления на микроструктуру мяса цыплят-бройлеров. *Все о мясе*, (1), 44–47. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2022-1-44-47>
- Prokopenko, I. A., & Kretov, A. A. (2022). The effect of high hydrostatic pressure on the microstructure of broiler chicken meat. *All about Meat*, (1), 44–47. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2022-1-44-47>
- Соколов, С. А., & Яшонков, А. А. (2021). Анализ дисперсного состава яичного белка методом микроскопирования. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 48–63. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.253>
- Sokolov, S. A., & Yashonkov, A. A. (2021). Analysis of the dispersed composition of egg white by microscopy. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 48–63. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.253>
- Сукманов, В. А., Соколов, С. А., & Декань, А. А. (2008). Аппаратурное обеспечение комбинированного процесса обеззараживания пищевых продуктов. *Вестник Восточнукраинского национального университета им. Владимира Даля*, (2), 328–333.
- Sukmanov, V. A., Sokolov, S. A., & Dekan', A. A. (2008). Hardware support of the combined process of disinfection of food products. *Bulletin of the East Ukrainian National University. Vladimir Dahl*, (2), 328–333.
- Тиганов, В. С. (2007). Ультрафиолетовые технологии санации объектов ветеринарного надзора. *Ветеринарная патология*, (2), 96–100.
- Tiganov, V. S. (2007). Ultraviolet technologies of sanitation of veterinary surveillance facilities. *Veterinary Pathology*, (2), 96–100.
- Флауменбаум, Б. Л. (1993) *Технология консервирования плодов, овощей, мяса и рыбы*. М.: Колос.
- Flaumenbaum, B. L. (1993). *Technology of preserving fruits, vegetables, meat and fish*. Moscow: Kolos.
- Corrales, M., Toepfl, S., Butz, P., Knorr, D., & Tauscher, B. (2008). Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: A comparison. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, (9), 85–91. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2007.06.002>
- Hayashi, R., Kawamura, Y., Nakasa, T., & Okinaka, O. (1989) Application of high pressure to food processing: Pressurization of egg white and yolk, and properties of gel formed. *Agricultural and Biological Chemistry*, 53(11), 2935–2939. <https://doi.org/10.1271/BBB1961.53.2935>
- Knorr, D., & Heinz, V. (1999). *Recent advances in high pressure processing of foods*. Springer.
- Lopez, P., Vercet, A., Sanchez, A. C., & Burgos, J. (1998). Inactivation of tomato pectic enzymes by manothermosonication. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*, 207, 249–252.
- Plancken, I. V., Loey, A. V., & Hendrickx, M. E. (2005). Combined effect of high pressure and temperature on selected properties of egg white proteins. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6(1), 11–20. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2004.10.002>
- Singh, A., Sharma, M., & Ramaswamy, H. S. (2015). Effect of high pressure treatment on rheological characteristics of egg components. *International Journal of Food Properties*, 18(3), 558–571. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.837063>
- Wrigley, D. M., & Llorca, N. G. (1992). Decrease of Salmonella typhimurium in skim milk and egg by heat and ultrasonic wave treatment. *Journal of Food Protection*, 55(9), 678–680. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-55.9.678>

УДК 664.8:633.11:531.133.1

Медико-биологическая оценка нового консервированного продукта из пророщенного зерна пшеницы

Белорусский государственный
экономический университет, г. Минск,
Беларусь

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Зенькова Мария Леонидовна
E-mail: mariya_lz@mail.ru

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

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Зенькова, М.Л. (2023). Медико-биологическая оценка нового консервированного продукта из пророщенного зерна пшеницы. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 68–81.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2023.452>

ПОСТУПИЛА: 17.04.2023

ПРИНЯТА: 15.09.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.



М. Л. Зенькова

АННОТАЦИЯ

Введение: Эксперимент *in vivo* на лабораторных животных позволяет оценить безопасность нового консервированного продукта из пророщенного зерна пшеницы и его эффективность при употреблении в пищу на модели гиперлипидемии для профилактики алиментарно-зависимых заболеваний. Данные исследования позволяют сформировать гипотезу о полезности нового продукта для организма человека.

Цель: Изучить влияние нового консервированного продукта «Зерна пророщенные (пшеница)» на состояние органов и систем организма лабораторных животных при экспериментальной гиперлипидемии, определить гликемический индекс нового пищевого продукта.

Материалы и методы: Эксперимент проводили на 34 крысах линии Wistar в возрасте 1,5–2 месяцев массой 180–200 г и 36 мышах ICR. Экспериментальная модель гиперлипидемии была поставлена путем использования гипержировой диеты в течение 35 сут. Доля простых липидов в рационе была увеличена до 40%. Крысы были разделены на 3 группы: группа № 1 контроль (стандартный рацион вивария), группы № 2 и № 3 — на гиперлипидемической диете.

Результаты: Проведен эксперимент *in vivo* по влиянию консервированного пророщенного зерна пшеницы на морфометрические показатели и работоспособность лабораторных животных, показатели крови и на моторную функцию тонкого кишечника. Подтверждена безопасность использования продукта в составе диет с повышенным содержанием пищевых волокон. Изучено влияние нового продукта на повышение уровня глюкозы в крови после его употребления. Показано, что в условиях экспериментальной гиперлипидемии, длительное употребление консервированного пророщенного зерна пшеницы не изменяет функционального состояния органов и систем организма лабораторных животных, способствует нормализации и снижению их веса, повышению физической выносливости и работоспособности. Экспериментально доказано положительное влияние на нормализацию обменных процессов за счет снижения уровня холестерина, триглицеридов, липопротеидов низкой плотности и глюкозы в крови. При употреблении консервированного пророщенного зерна пшеницы наблюдалась тенденция к усилению моторной функции тонкого кишечника. Определен гликемический индекс исследуемого пищевого продукта.

Выводы: Использование консервированного пророщенного зерна в пищу или для составления блюд является эффективным способом профилактики нарушений метаболических процессов при воздействии гиперкалорийного питания. Полученные результаты позволяют рекомендовать консервы «Зерна пророщенные (пшеница)» в качестве продукта питания для различных возрастных категорий населения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

доклинические исследования, лабораторные животные, гиперлипидемия, пророщенное зерно, консервы, безопасность, гликемический индекс

Medical-Biological Evaluation of a New Canned Product from Sprouted Wheat

Belarusian State Economic University,
Minsk, Belarus

Maria L. Zenkova

CORRESPONDENCE:

Maria L. Zenkova

E-mail: mariya_lz@mail.ru

FOR CITATIONS:

Zenkova, M.L. (2023). Medical-Biological evaluation of a new canned product from sprouted wheat. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 68-81. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.452>

RECEIVED: 17.04.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background: An in vivo experiment on laboratory animals allows us to evaluate the safety of a new canned product made from sprouted wheat grain and its effectiveness when consumed in a model of hyperlipidemia for the prevention of nutrition-related diseases. These studies allow us to form a hypothesis about the usefulness of the new product for the human body.

Purpose: To study the effect of the new canned product "Sprouted grains (wheat)" on the state of organs and body systems of laboratory animals with experimental hyperlipidemia, to determine the glycemic index of the new food product.

Materials and Methods: The experiment was carried out on 34 Wistar rats aged 1.5–2 months weighing 180–200 g and 36 ICR mice. An experimental model of hyperlipidemia was established by using a hyperfat diet for 35 days. The proportion of simple lipids in the diet was increased to 40%. The rats were divided into 3 groups: group No. 1 control (standard vivarium diet), groups No. 2 and No. 3 – on a hyperlipidemic diet.

Results: An in vivo experiment was conducted on the effect of canned sprouted wheat grain on the morphometric parameters and performance of laboratory animals, blood parameters and on the motor function of the small intestine. The safety of using the product as part of diets with a high dietary fiber content has been confirmed. The effect of the new product on increasing blood glucose levels after its consumption was studied. It has been shown that in conditions of experimental hyperlipidemia, long-term consumption of canned sprouted wheat grain does not change the functional state of the organs and body systems of laboratory animals, helps to normalize and reduce their weight, increase physical endurance and performance. A positive effect on the normalization of metabolic processes by reducing the level of cholesterol, triglycerides, low-density lipoproteins and glucose in the blood has been experimentally proven. When consuming canned sprouted wheat grain, there was a tendency to increase the motor function of the small intestine. The glycemic index of the food product under study was determined.

Conclusion: The use of canned sprouted grains for food or for preparing dishes is an effective way to prevent metabolic disorders caused by hypercaloric nutrition. The results obtained allow us to recommend canned food "Sprouted grains (wheat)" as a food product for various age categories of the population.

KEYWORDS

preclinical studies, laboratory animals, hyperlipidemia, sprouted grains, canned food, safety, glycemic index

ВВЕДЕНИЕ

Пророщенные зерна злаковых культур и семена растений, являясь естественным источником пищевых веществ, употребляются в пищу как самостоятельно, так и в составе блюд, как один из ингредиентов, повышая их пищевую ценность. В настоящее время пророщенные зерна являются основой для производства многих продуктов питания, а также используются для диетического лечебного и диетического профилактического питания (Погожева с соавт., 2006; Пономарева с соавт., 2016; Benincasa et al., 2019; Демидова & Галиева, 2007; Зенькова с соавт., 2020; Зенькова с соавт., 2014; Цурцумия с соавт., 2016; Bantle et al., 2008; Lairon, 2007). В научных работах имеются сведения о пользе пророщенного зерна, основанные на причинно-следственных связях, описанных в литературе (Шаршунов с соавт., 2016; Lemmens et al., 2018). Но эти данные не дают достаточную информацию о полезных свойствах пророщенного зерна. Их полезность и безопасность должны быть оценены в исследованиях *in vivo*.

В публикациях, посвященных медико-биологическим исследованиям пищевых продуктов, приводится новая информация о безопасности, пищевой ценности, степени усвоения, эффективности и путях действия отдельных компонентов продуктов питания. Большинство исследований проводятся на грызунах и только некоторые на людях (Устинова с соавт., 2005; Цед с соавт., 2012; Мельникова с соавт., 2017; Мельникова с соавт., 2018). Имеются сведения о влиянии высушенного пророщенного зерна гречихи на усвояемость жиров и морфологические параметры лабораторных животных (Molska et al., 2023). Доклинические исследования являются важным этапом и направлены на оценку безопасности новых продуктов и изучения их влияния на организм лабораторных животных и, следовательно, людей. Исследования по влиянию консервированного пророщенного зерна на организм лабораторных животных ранее не проводились.

Цель исследования — изучить гликемический индекс и влияние нового продукта «Зерна пророщенные (пшеница)» на организм лабораторных животных. Для достижения цели необходимо: (1) изучить морфологические показатели лабораторных животных, употреблявших в пищу консервированные пророщенные зерна пшеницы; (2) изучить гема-

тологические и биохимические показатели крови лабораторных животных; (3) изучить влияние консервированных пророщенных зерен пшеницы на работоспособность и выносливость лабораторных животных; (4) изучить влияние консервированных пророщенных зерен пшеницы на изменение уровня глюкозы в крови лабораторных животных; (5) изучить влияние консервированных пророщенных зерен пшеницы на моторную функцию тонкого кишечника лабораторных животных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования

Объектом исследования служили консервы из пророщенного зерна пшеницы «Зерна пророщенные (пшеница)», изготовленные в промышленных условиях по ТУ ВУ 70036606.132–2021 «Консервы «Зерна пророщенные». Технические условия». Предварительно консервы вскрывались, жидкая часть отделялась в течение 3 мин. свободным стеканием и для исследований использовались консервированные пророщенные зерна пшеницы (белок 4,2%, жир 0,1%, углеводы 20,9%, пищевые волокна до 4,7%) (Зенькова и др., 2014 и 2020).

Эксперимент проводился на крысах-самках линии Wistar в возрасте 1,5–2 мес. массой 180–200 г и мышах ICR (виварий Института биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси). Лабораторные животные предварительно были взвешены и рандомизированы на 3 группы: 1-я контрольная (14 животных); 2 и 3-я с экспериментальной гиперлипидемией (общее количество крыс — 20). Животные содержались в контролируемых условиях окружающей среды (18–22°C и относительной влажности воздуха 50–70%). Световой режим составлял 12 ч. света и 12 ч. темноты. Перед кормлением животных выдерживали в карантинных условиях в течение двух недель.

Исследования проводились в соответствии с «Международными рекомендациями (этический кодекс) по проведению медико-биологических исследований с использованием животных», разработанным и опубликованным в 1985 году Советом международных научных организаций и «Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, исполь-

зубных для экспериментов или в иных научных целях» от 18 марта 1986 г.

Методы

Экспериментальная гиперлипидемия

В течение 35 сут. животным опытных групп 2 и 3 вводили в пищу Cholesterol (Sigma, Германия) в дозе 500 мг/кг, растворенный в подогретом свином жире. Общее количество жира составило 3,5 г на крысу в сут., в результате чего доля простых липидов в рационе была увеличена до 40%. Жир расплавлялся на плитке в термостойком стакане, туда вносился взвешенный порошкообразный Cholesterol, затем производилось смешивание со свежеприготовленной пищей, от которой предварительно отбиралось 25,2 г от нормы на клетку, чтобы общий вес пищи сохранялся постоянным. Данные, включенные в публикацию, были получены на группах крыс: вариант 1 — контрольные животные содержались на стандартном корме; вариант 2 — животные содержались на гиперлипидемической диете; вариант 3 — животные содержались на гиперлипидемической диете.

С целью исследования эффективности диетотерапии с содержанием пищевых волокон, на 36 сутки животных 2 и 3 группы переводили на стандартный рацион вивария с добавлением консервированных пророщенных зерен пшеницы, на котором они находились в течение 30 суток. Количество консервированных пророщенных зерен пшеницы в рационе группы 2 составляло 2,8 г/крысу, что соответствовало суточной норме потребления пищевых волокон. Количество консервированных пророщенных зерен пшеницы в рационе группы 3 составляло 8 г/крысу, что соответствовало повышенному содержанию пищевых волокон.

Изучение морфометрических показателей лабораторных животных

Изучали морфометрические показатели (массу тела, абсолютную и относительную массы органов). Животных взвешивали на весах Scout Pro модели SPU202. Взвешивание производилось раз в неделю, натощак, в утреннее время. Выделяли следующие органы: печень, селезенку, тимус. Органы взвешивали на электронных весах Explorer модели EP214. Весовые индексы органов рассчитывались как отношение массы органов к массе тела животных

в день выведения крыс из эксперимента по (Рыбакова с соавт., 2015).

Определение биохимических показателей крови крыс

Проводили на автоматическом анализаторе «Hitachi-902» (Швейцария), адаптированном к реактивам «Rosh Diagnostics» (Германия) и «P.Z.Company» (Польша). Биохимический анализ крови включал определение следующих показателей: общий белок, альбумин, щелочная фосфатаза, аланинаминотрансфераза, аспартатаминотрансфераза, холестерин низкой и высокой плотности, триглицериды, глюкоза, билирубин. Забор крови у животных для биохимического анализа проводили через 35 и 65 сут. содержания на диете.

Определение гематологических показателей крови крыс

Проводили на анализаторе URIT-VET PLUS 300 (Китай). Забор крови для гематологических исследований осуществляли через 30 сут. Определяли количество эритроцитов ($\times 10^{12}/л$), лейкоцитов ($\times 10^9/л$), лимфоцитов ($\times 10^9/л$), тромбоцитов ($\times 10^9/л$), средний объем тромбоцитов (ng), тромбоцит % , величину гематокрита (%), концентрацию гемоглобина (г/л), средний объем эритроцитов (мкм³), количество лимфоцитов (%), моноцитов (%), гранулоцитов (%), среднее содержание гемоглобина в эритроците (pg), среднюю концентрацию гемоглобина в эритроците (г/л).

Изучение работоспособности в условиях по тесту Порсолта

Проводили в соответствии с (Каркищенко с соавт., 2011) с нагрузкой 10% от массы животного в виде набора металлических колец, которые прикрепляли к хвосту с помощью эластичного резинового кольца. Исследование проводилось в стандартных условиях (утренние часы, обычный уровень освещения), в бассейне с температурой воды (28 ± 2) °С. Животных рандомизировали в группы по исходным значениям выносливости, а также адаптировали к условиям эксперимента, что позволило создать выборки данных в корректных условиях и устранить возможное влияние индивидуальных особенностей отдельных животных на результаты эксперимента.

Изучение моторной функции тонкого кишечника

Влияние консервированных пророщенных зерен пшеницы на моторную функцию тонкого кишечника изучали на ненаркотизированных мышах ICR обоих полов (самцы и самки) ($n = 36$, по 6 особей в группе), которых брали в опыт через 4 ч после кормления зерновой смесью. За 1 ч до опыта убрали воду. О сократительной активности тонкого кишечника у мышей судили по скорости продвижения контрастной массы по кишечнику в течение 20 мин после введения последней в желудок с помощью зонда. В качестве контрастной массы использовали 0,5% раствор гуммиарабика (Chemarol, Чехия) с феноловым красным (Poch, Польша).

В эксперименте по изучению моторной функции тонкого кишечника формировались три группы из самок и три группы из самцов. Первая группа получала 0,5% раствор гуммиарабика, вторая (группа сравнения) — батон с 0,5% раствором гуммиарабика, третья (экспериментальная группа) — измельченные консервированные пророщенные зерна пшеницы с 0,5% раствором гуммиарабика. Через 20 мин после введения контрастной массы и исследуемого продукта с контрастной массой в эквивалентном объеме, мышей подвергали эвтаназии в соответствии с (Рыбакова & Макарова, 2015) и извлекали тонкий кишечник в соответствии с (Коптяева с соавт., 2018). Скорость продвижения контрастной массы по кишечнику определяли по отношению длины участка тонкого кишечника, по которому прошла контрастная масса ко всей длине тонкого кишечника. Усиление или торможение моторной функции тонкого кишечника оценивали по величине эффекта, выраженного в процентах.

Гликемический индекс

У животных всех групп после 18-часовой пищевой депривации определяли концентрацию глюкозы в крови, затем в течение 30 мин животным скармливали образцы консервированных пророщенных зерен пшеницы при свободном доступе (из расчета — 30 г на особь). Забор крови осуществляли через 30, 60, 90 и 120 мин индивидуально. За эталон был принят контрольный образец глюкозы (3 г/кг), гликемический индекс которого был принят равным 100 единицам. Расчет площадей под гликемическими кривыми, полученными в ходе исследований, проводили по методике, описанной в (Wolever & Jenkins, 1986) с использованием следующей фор-

мулы, при условии, что последняя точка гликемии (120 мин.) располагалась выше базального уровня:

$$S = \left(A + \frac{B}{2} \right) \cdot t + (B + C) \cdot \frac{T}{2} + (C + D) \cdot \frac{T}{2} \quad (1)$$

где A, B, C, D — прирост глюкозы крови, т.е. разница между ее базальным уровнем и содержанием в исследованные промежутки времени;

t, T — разные временные интервалы между взятиями образцов крови.

На основании полученных данных рассчитывали гликемический индекс консервов «Зерна пророщенные (пшеница)».

Анализ данных

Статистическую обработку проводили с использованием программы Excel. Достоверность оценивали по критерию t -Стьюдента с учетом дисперсии (F -тест), параметрического статистического метода при помощи программы Statistica 6,0. Критический уровень статистической значимости при проверке статистических гипотез принимали равным 0,05. Данные представляли в виде $X \pm S_x$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общее состояние крыс, которые содержались на стандартном корме и в условиях экспериментальной гиперлипидемии, было в пределах нормы. Все животные полностью и с удовольствием поедали корм (Рисунок 1).

Регистрацию массы тела животных проводили каждые 7 сут. (Таблица 1). Данные, представленные в Таблице 1, показывают, что самки опытной и контрольной групп в начале эксперимента достоверно не отличались между собой по исходной массе тела. Увеличение массы тела в течение 35 сут. было отмечено во всех 3-х группах животных. Начиная с 7 сут. у животных 2 и 3 экспериментальных групп, получавших высококалорийную пищу, наблюдалось увеличение массы тела, по сравнению с контрольными животными, которые находились на обычном питании. На 35 сут. исследования масса тела

Рисунок 1

Кормление крыс во время эксперимента



крыс 2 и 3 групп была больше в среднем на 13% по сравнению с контролем.

С целью повышения эффективности диетотерапии была применена диета, обогащенная пищевыми волокнами, и оценена ее эффективность. Предварительно было установлено количество пищевых волокон, содержащихся в рационах. Животные групп № 2 и № 3 после 35 сут. были переведены на стандартный рацион вивария с добавлением консервированных пророщенных зерен пшеницы в разных дозах. После 30 сут. содержания на этой диете вес животных групп № 2 и № 3 стабилизировался и не отличался от веса контрольных животных (Таблица 2). При этом вес крыс группы № 2, употреблявших в пищу пророщенные зерна в дозе 2,8 г/крысу в день, уменьшился в среднем на 5%, а вес крыс группы № 3, употреблявших в пищу пророщенные зерна в дозе 8 г/крысу — на 7,9%. Полученные данные согласуются с мнением других исследователей, которые указывают на то, что употребления пищевых волокон приводит к стабилизации массы

Таблица 1

Динамика массы тела крыс при экспериментальной гиперлипидемии

Группы животных	Масса тела, г					
	1 сутки	7 сутки	14 сутки	21 сутки	28 сутки	35 сутки
Группа № 1 контроль (n = 14)	190,00 ± 4,50	209,30 ± 4,29	212,10 ± 5,65	225,0 ± 4,77	231,40 ± 6,79	234,00 ± 4,29
Группа № 2 (n = 10)	190,00 ± 4,63	215,70 ± 5,71	219,30 ± 5,92	250,0 ± 3,73	254,30 ± 4,12*	265,40 ± 4,92*
Группа № 3 (n = 10)	190,00 ± 3,09	220,00 ± 3,45	220,70 ± 4,93	245,0 ± 3,12	255,70 ± 5,11*	266,10 ± 5,47*

Примечание. * — различия статистически достоверны, P < 0,05 по сравнению с контролем.

Таблица 2

Динамика массы тела крыс после смены диеты

Группы животных	Масса тела, г					
	1 сутки	7 сутки	14 сутки	21 сутки	28 сутки	30 сутки
Группа № 1 контроль (n = 7)	234,00 ± 4,29	240,7 ± 7,02	245,7 ± 7,59	248,7 ± 6,41	250,9 ± 5,08	250,4 ± 5,54
Группа № 2 пророщенные зерна 2,8 г/крысу/сут. (n = 7)	265,40 ± 4,92	260,0 ± 6,04	255,0 ± 6,24	254,0 ± 8,86	254,0 ± 6,67	253,0 ± 5,80
Группа № 3 пророщенные зерна 8 г/крысу/сут. (n = 7)	266,10 ± 5,47	260,0 ± 6,28	255,0 ± 6,00	250,0 ± 7,18	246,0 ± 6,18	245,0 ± 7,18

тела (Lairon, 2007; Демидова с соавт., 2007; Цурцумия с соавт., 2016). Таким образом, 30-ти дневное употребление консервированного пророщенного зерна пшеницы, способствует нормализации и снижению веса животных с экспериментальной гиперлипидемией.

В ходе исследования была проведена оценка относительной (к весу тела) массы органов животных. Оценка относительной массы органов животных представляет собой объективный показатель, который используется для интегральной характеристики общетоксического действия различных веществ. Отражая, в некоторой степени, физиологическое состояние организма, абсолютные и относительные массы органов тела нередко изменяются под воздействием ряда внешних факторов. Анализ относительной массы сердца, печени, селезенки и почек контрольных животных (группа 1) и животных опытных вариантов (группы 2 и 3), не показал достоверных различий.

На модели физиологической нагрузки было продемонстрировано увеличение физической выносливости и работоспособности экспериментальных животных (крысы), находившихся на 30 дневной диете с различным содержанием консервированных пророщенных зерен пшеницы по сравнению с контрольной группой (Таблица 3). При наблюдении во всех группах крысы плавали с одинаковой интенсивностью.

Как следует из приведенных в Таблице 3 результатов экспериментальных исследований, значения

Таблица 3

Длительность плавания крыс с грузом после употребления консервированных пророщенных зерен пшеницы

Группы животных	Вес животных, г	Время плавания, сек.
Группа №1 (контроль) (n =7)	250,85±5,08	800,20±22,69
Группа №2 (n =7)	254,00±6,67	748,33±28,92
Группа №3 (n =7)	246,00±6,18	1447,80±21,65*

Примечание. * – достоверные отличия от контроля при $P < 0,01$.

группы № 1 (контроль) и группы № 2 статистически не различаются с учетом ошибки, в отличие от группы № 3. Время плавания крыс группы №3, в рационе которых было повышенное содержание консервированных пророщенных зерен пшеницы, увеличилось на 80 % по отношению к контрольной группе. Полученные данные свидетельствуют о благоприятном влиянии консервированных пророщенных зерен пшеницы на физическую работоспособность, по сравнению со стандартным питанием. Таким образом, применение диеты с консервированными пророщенными зернами пшеницы в течение 30 сут. привело к увеличению выносливости и работоспособности экспериментальных животных.

Общие клинические исследования крови, являясь одним из важнейших диагностических методов, отражают реакцию кроветворных органов при воздействии на организм различных физиологических и патологических факторов. Кровь объединяет работу многих физиологических систем организма, а именно обеспечивает его гомеостатический потенциал и способность противостоять экстремальным воздействиям. Функциональная система крови представляет собой иерархию подсистем регуляции: качественного и количественного состава клеток крови (Ермакова & Кудяшева, 2021)¹.

Исследования гематологических показателей крови у контрольных и опытных животных показали, что все они находились в пределах физиологических норм. Не были выявлены различия между контрольной и опытными группами, употреблявшими в пищу консервированные пророщенные зерна пшеницы в течение 30 сут. (Таблица 4).

Данные, представленные в Таблице 4, свидетельствуют об отсутствии повреждающего действия на гемопоэз и свойства крови у животных, употреблявших в пищу консервированное пророщенное зерно пшеницы, что подтверждается стабильным уровнем форменных элементов крови.

Определены биохимические показатели в сыворотке крови, которые являются объективными критериями сдвигов параметров функционирования организма и гомеостаза внутренней среды организма. Через 35 сут. экспериментальной гиперлипидемии

¹ Амиров, Д. Р., Тамимдаров, Б. Ф., & Шагеева, А. Р. (2020). *Клиническая гематология животных: Учебное пособие*. Казань: Центр информационных технологий КГАВМ.

Таблица 4

Характеристика гематологических показателей крови крыс

Гематологические показатели	Группа №1 (контроль)	Группа №2	Группа №3
WBC количество лейкоцитов, $\times 10^9/\text{л}$	7,17 \pm 0,67	6,76 \pm 0,32	7,24 \pm 0,32
LYM количество лимфоцитов $10^9/\text{л}$,	4,20 \pm 0,38	4,76 \pm 0,46	5,28 \pm 1,06
RBC количество эритроцитов, $\times 10^9/\text{л}$	7,71 \pm 0,22	7,85 \pm 0,20	7,74 \pm 0,11
LY % кол-во лимфоцитов, %	60,09 \pm 4,56	65,80 \pm 6,72	57,46 \pm 4,01
GR % количество гранулоцитов, %	32,60 \pm 4,03	29,84 \pm 6,10	34,16 \pm 3,65
MI % количество моноцитов, %	7,31 \pm 0,66	7,36 \pm 0,66	8,38 \pm 0,93
HGB концентрация гемоглобина, г/л	140,00 \pm 2,79	147,00 \pm 4,30	141,00 \pm 3,51
HCT величина гематокрита, %	45,31 \pm 1,73	45,30 \pm 1,75	44,76 \pm 0,86
MCH среднее содержание гемоглобина в эритроците, пг	18,10 \pm 0,36	17,88 \pm 0,42	18,16 \pm 0,25
MCHC средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л	309,17 \pm 5,29	310,40 \pm 3,93	314,60 \pm 3,20
MCV средний объем эритроцитов, мкм^3	58,79 \pm 0,92	57,74 \pm 1,11	57,88 \pm 0,40
PLT количество тромбоцитов $\times 10^9/\text{л}$	886,57 \pm 19,90	925,60 \pm 42,69	948,00 \pm 40,07
MPV средний объем тромбоцитов, пг	5,71 \pm 0,15	5,62 \pm 0,13	5,80 \pm 0,17
PCT тромбокрит, %	0,49 \pm 0,01	0,50 \pm 0,01	0,55 \pm 0,03

у крыс отмечали статистически значимое увеличение ряда биохимических показателей в сыворотке крови (Таблица 5).

Исследование крови крыс с экспериментальной гиперлипидемией в течение 35 сут., показало нарушение липидного спектра, что выражалось изменением уровня холестерина, триглицеридов

Таблица 5

Биохимические показатели в сыворотке крови крыс при экспериментальной гиперлипидемии

Биохимические показатели	Контроль ($n = 7$)	Группа с экспериментальной гиперлипидемией ($n = 6$)
Холестерин, ммоль/л	1,75 \pm 0,07	2,20 \pm 0,14*
Триглицериды, ммоль/л	1,42 \pm 0,03	1,70 \pm 0,06*
HDL, липопротеиды высокой плотности, ммоль/л	0,67 \pm 0,01	0,70 \pm 0,01
LDL, липопротеиды низкой плотности, ммоль/л	0,24 \pm 0,01	0,35 \pm 0,04*

Биохимические показатели	Контроль ($n = 7$)	Группа с экспериментальной гиперлипидемией ($n = 6$)
Глюкоза, ммоль/л	6,23 ± 0,15	8,03 ± 0,18*
АСТ, аспаратаминотрансфераза, У/л	188,53 ± 4,46	215,98 ± 6,76*
АЛТ, аланинаминотрансфераза, У/л	74,10 ± 5,88	91,58 ± 7,80
Щелочная фосфатаза, У/л	146,02 ± 21,62	443,98 ± 25,69*

Примечание. * – достоверные отличия от контрольной группы, $P \leq 0,05$.

и содержания липопротеидов низкой плотности по сравнению с животными контрольной группы. Уровень холестерина увеличился на 25,7%, триглицеридов – на 19,7%, липопротеидов низкой плотности – на 45,8%. У группы животных, потреблявших высокожировую рацион, наблюдалось также увеличение уровня глюкозы на 28,9%. Не было отмечено достоверных изменений у животных экспериментальной группы в уровне липопротеидов высокой плотности по сравнению с контролем. Анализ результатов активности ферментов сыворотки крови крыс, содержащихся на диете с повышенным содержанием жиров, показал статистически значимое увеличение активности аспаратаминотрансферазы и щелочной фосфатазы.

С целью исследования эффективности диетотерапии с содержанием пищевых волокон, на 36 день эксперимента животных 2 и 3 группы с гиперлипидемией переводили на стандартный рацион вивария с различным содержанием пищевых волокон. Забор крови для биохимических исследований проводили по истечении 30 сут. Оценка биохимических показателей крови показала положительное влияние консервированных пророщенных зерен пшеницы на нормализацию обменных процессов в организме лабораторных животных в условиях гиперлипидемии, за счет снижения уровня холестерина, триглицеридов, липопротеидов низкой плотности и глюкозы в крови (Таблица 6).

В ходе эксперимента установлено, что потребление крысами консервированных пророщенных зерен

Таблица 6

Биохимические показатели крови крыс со сменой диеты в течение 30 сут.

Биохимические показатели	Группа №1 (контроль) $n = 7$	Группа №2 (пророщенные зерна 2,8 г/крысу/сут.) $n = 7$	Группа №3 (пророщенные зерна 8 г/крысу/сут.) $n = 7$
Общий белок, г/л	75,30 ± 1,82	76,06 ± 3,17	77,51 ± 2,04
Альбумин, г/л	39,93 ± 2,07	38,42 ± 4,12	39,32 ± 2,83
Холестерин, ммоль/л	1,89 ± 0,11	1,72 ± 0,12	1,81 ± 0,0
Триглицериды, ммоль/л	1,47 ± 0,25	1,52 ± 0,12	1,60 ± 0,12
HDL, липопротеиды высокой плотности, ммоль/л	0,68 ± 0,01	0,72 ± 0,04	0,71 ± 0,03
LDL, липопротеиды низкой плотности ммоль/л	0,23 ± 0,02	0,23 ± 0,04	0,25 ± 0,02
Глюкоза, ммоль/л	5,87 ± 0,11	6,06 ± 0,15	5,90 ± 0,24
АСТ, аспаратаминотрансфераза, У/л	214,43 ± 8,14	239,48 ± 16,81	210,06 ± 7,66
АЛТ, аланинаминотрансфераза, У/л	84,94 ± 6,26	92,92 ± 14,75	88,08 ± 10,27
Щелочная фосфатаза, У/л	102,77 ± 10,69	108,64 ± 23,44	104,94 ± 15,64
Билирубин, мкмоль/л	2,71 ± 0,18	2,15 ± 0,14	2,94 ± 0,22

пшеницы, содержащих пищевые волокна в суточной и высокой дозах, привело к нормализации биохимических показателей крови животных. Не было выявлено статистически значимых отличий в биохимических показателях у крыс второй и третьей групп по сравнению со значениями у контрольных животных.

Проведены исследования по влиянию консервированных пророщенных зерен пшеницы на моторную функцию тонкого кишечника. Результаты исследования представлены в Таблицах 7 и 8.

Таблица 7

Влияние консервированного пророщенного зерна на моторную функцию тонкого кишечника мышей-самцов

Группа животных (n = 6)	Моторная функция тонкого кишечника, $X \pm Sx$	Процент эффекта
Контроль (0,5 % гумми арабик)	0,69 ± 0,02	–
Группа сравнения (батон)	0,73 ± 0,01	+ 6
Экспериментальная группа (консервированные пророщенные зерна пшеницы)	0,84 ± 0,01**	+ 22**

Примечание. * – различия статистически достоверны по сравнению с контролем, $P < 0,05$; (*) – различия статистически достоверны по сравнению с группой сравнения, $P < 0,05$; (–) – торможение моторной функции; (+) – усиление моторной функции.

Таблица 8

Влияние консервированного пророщенного зерна на моторную функцию тонкого кишечника мышей-самок

Группа животных, (n=6)	Моторная функция тонкого кишечника, $X \pm Sx$	Процент эффекта
Контроль (0,5 % гумми арабик)	0,75 ± 0,04	–
Группа сравнения (батон)	0,79 ± 0,03	+ 5
Экспериментальная группа (консервированные пророщенные зерна пшеницы)	0,84 ± 0,03	+ 12

Примечание. (–) – торможение моторной функции; (+) – усиление моторной функции.

Через 20 мин. эксперимента желудки животных в группе контроля, группе сравнения и в экспериментальной группе, получавшей консервированные пророщенные зерна пшеницы, оказывались без содержимого, которое полностью эвакуировалось в тонкий кишечник. Содержимое кишечника распределялось по пройденному участку в контрольной группе (0,5 % гуммиарабик) одной порцией, в группе сравнения двумя порциями и в группе, получавшей консервированные пророщенные зерна пшеницы, двумя-тремя порциями. Тонкий кишечник имел нормальный вид, вздутый или других отклонений не наблюдалось. Отмечалась тенденция к стимуляции двигательной активности тонкого кишечника у мышей-самок ICR (Таблица 8), у мышей-самцов зафиксировано статистически достоверное различие по значениям индекса моторной активности тонкого кишечника по сравнению с контрольной группой животных (22%, $p < 0,05$), получавших 0,5 % раствор гуммиарабика, а так же и с группой сравнения, получавшей батон, что связано, очевидно, с присутствием в образце растительных пищевых волокон (Таблица 7). Таким образом, при проведении эксперимента показано, что употребление в пищу консервированного пророщенного зерна пшеницы не вызывает никаких дисфункций тонкого кишечника. Установлено, что у животных, употреблявших в пищу пророщенные зерна пшеницы наблюдалась тенденция к усилению моторной функции кишечника, не влияющая на их общее физиологическое состояние.

Исследован гликемический индекс консервированного пророщенного зерна пшеницы. Гликемический индекс можно отнести к показателю пищевой ценности продуктов, который имеет значение для составления рационов здорового питания людей. Доказано, что не только количество углеводов, но и их качественный состав влияет на скорость адсорбции и содержание глюкозы в крови (Забалуева, 2018; Черникова & Кнышенко, 2018). Как известно, простые углеводы пищи очень быстро всасываются из желудочно-кишечного тракта, повышая концентрацию глюкозы в крови (Влощинский с соавт., 2013). Резко возрастает секреция и синтез инсулина, глюкоза элиминируется печенью и мышечными тканями, трансформируется в гликоген, а ее концентрация снижается и возникает чувство голода. Сложные полисахариды, резистентный крахмал, пищевые волокна замедляют всасывание глюкозы (Куценкова с соавт., 2017).

У крыс, подвергавшихся пищевой депривации в эксперименте, минимальные показатели уровня глюкозы в крови на фоне лишения пищи достигали 4,1 ммоль/л, а максимальные — 5,0 ммоль/л, что соответствовало физиологическим нормам. В Таблице 9 представлены рассчитанные относительные гликемические индексы исследуемых образцов.

Таблица 9

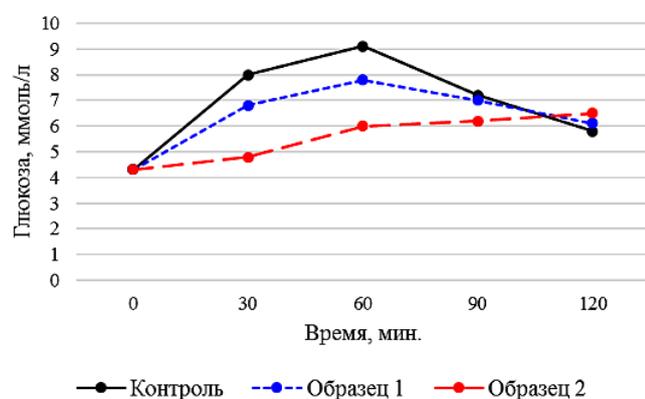
Относительный гликемический индекс консервированного пророщенного зерна пшеницы

Образцы	Интеграл (площадь кривой)	Гликемический индекс
Контроль (глюкоза)	7743	100,00
Образец № 1 (батон)	5033	67,36 ± 4,37
Образец №2 (консервированные пророщенные зерна пшеницы)	3000	38,85 ± 1,75

Установлено, что у животных, получавших консервированные пророщенные зерна пшеницы, содержавшие клетчатку, прирост гликемии был более низким по сравнению с контрольной группой (глюкоза) и животными, получавшими в пищу батон (Рисунок 2).

Рисунок 2

Изменение уровня глюкозы в крови животных при потреблении консервированного пророщенного зерна пшеницы



Произведенные расчеты позволяют сделать вывод о том, что консервированные пророщенные зерна пшеницы можно отнести к продуктам с низким гликемическим индексом (Таблица 9). Сделанный вывод согласуется с рядом рекомендаций по питанию, в которых значения выше 70 характеризуют продукты с высоким, в диапазоне 55–69 со средним и ниже 55 с низким гликемическим индексом².

Одним из показателей, свидетельствующим о состоянии углеводного обмена, является коэффициент Бодуэна, или гипергликемический коэффициент, — отношение содержания глюкозы через 30 мин (берется наибольшая величина) к ее уровню натощак. Известно, что коэффициент Бодуэна в норме составляет 1,3–1,5.³ Увеличение этого коэффициента отражает нарушение процессов регуляции метаболизма углеводов в организме. В контрольной группе (глюкоза) данный коэффициент превышал норму и в среднем составлял 1,78±0,13, а в группе животных, получавших батон, данный коэффициент составил 1,43±0,02. Экспериментально установлено, что исследуемые консервированные пророщенные зерна пшеницы, значительно понижали коэффициент Бодуэна до 1,06 (Таблица 10). Данный факт свидетельствует о поддержании процесса усвоения глюкозы на физиологически нормальном уровне.

Таблица 10

Величина гипергликемического коэффициента

Образцы	Гипергликемический коэффициент
Контроль (глюкоза)	1,78 ± 0,13
Образец №1 (батон)	1,43 ± 0,02*
Образец №2 (консервированные пророщенные зерна пшеницы)	1,06 ± 0,02**

Примечание. * — различия статистически достоверны по сравнению с контролем, $P < 0,05$; ** — различия статистически достоверны по сравнению с контролем, $P < 0,01$.

² Nutrition recommendations and interventions for diabetes: A position statement of the american diabetes association. (2008). *Diabetes Care*, 31, 61–78. <https://doi.org/10.2337/dc08-s061>

³ Комаров, Ф. И., Коровкин, Б. Ф., & Меньшиков, В. В. (2001). *Биохимические исследования в клинике*. М.: Джангар.

Результаты исследований позволяют рекомендовать консервированные пророщенные зерна пшеницы с большим содержанием пищевых волокон для профилактического питания, которое предусматривает потребление продуктов с низким гликемическим индексом.

ВЫВОДЫ

Доклинические лабораторные испытания показали, что в условиях экспериментальной гиперлипидемии, длительное введение в пищу консервированных пророщенных зерен пшеницы не изменяет функционального состояния важнейших органов и систем организма животных. Пророщенные зерна пшеницы не влияют на индекс внутренних органов (печень, сердце, почки, селезенка), что свидетельствует о безопасности применения исследованного продукта питания. Употребление в пищу консервированных пророщенных зерен пшеницы способствовало нормализации и снижению массы тела лабораторных животных на модели гиперлипидемии. Результаты эксперимента свидетельствуют об отсутствии повреждающего действия на гемопоз и свойства крови у животных, употреблявших в пищу консервированные пророщенные зерна пшеницы, что подтверждается стабильным уровнем форменных элементов крови. Применение диеты с повышенным содержанием консервированных пророщенных зерен пшеницы в течение 30 суток привело к увеличению выносливости и работоспособности экспериментальных животных.

Оценка биохимических показателей крови продемонстрировала положительное влияние консервированных пророщенных зерен пшеницы на нормализацию обменных процессов в организме лабораторных животных в условиях экспери-

ментальной гиперлипидемии за счет снижения уровня холестерина, триглицеридов, липопротеидов низкой плотности и глюкозы в крови. Употребление в пищу консервированных пророщенных зерен пшеницы не вызывает дисфункций тонкого кишечника. Установлено, что у животных наблюдалась тенденция к усилению моторной функции кишечника, не влияющая на их общее физиологическое состояние. Определен гликемический индекс исследуемого пищевого продукта. Экспериментальный рацион, представленный консервированными пророщенными зернами пшеницы, относится к продуктам с низким гликемическим индексом. Таким образом, консервированные пророщенные зерна пшеницы являются безопасным натуральным продуктом с длительным сроком годности и могут употребляться как самостоятельное блюдо на завтрак, как гарнир на обед или ужин, а также добавляться в разные блюда, такие как салат или йогурт, придавая им новые вкусовые характеристики и полезные свойства. Они также хорошо сочетаются с мясом птицы, в мучных изделиях (оладьи с пророщенным зерном), или изделиях из картофеля (драники с пророщенным зерном).

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает благодарность заведующему отделом фармакологии и фармации Института биорганической химии НАН Беларуси, кандидату биологических наук Огурцовой Светлане Эдуардовне за помощь в проведении эксперимента, а также доценту кафедры товароведения и экспертизы товаров Белорусского государственного экономического университета, кандидату биологических наук Мельниковой Людмиле Александровне за помощь в подготовке статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Влощинский, П. Е., Березовикова, И. П., Колпаков, А. Р., & Клеблеева, Н. Г. (2013). Влияние многокомпонентных крупяных смесей на содержание глюкозы в крови экспериментальных животных. *Техника и технология пищевых производств*, (3), 90–94.
- Vloshchinskii, P. E., Berezovikova, I. P., Kolpakov, A. R., & Klebleeva, N. G. (2013). The effect of multicomponent cereal mixtures on the glucose content in the blood of experimental animals. *Equipment and Technology of Food Production*, (3), 90–94. (In Russ.)
- Демидова, Т. Ю., & Галиева, О. Р. (2007). Профилактика и управление предиабетическими нарушениями углеводного обмена у больных с метаболическим синдромом. *Ожирение и метаболизм*, (4), 19–24.
- Demidova, T. Yu., & Galieva, O. R. (2007). Prevention and management of prediabetic disorders of carbohydrate metabolism in patients with metabolic syndrome. *Obesity and Metabolism*, (4), 19–24. (In Russ.)
- Ермакова, А. Е., & Кудяшева, А. Г. (2021). Изменчивость гематологических показателей у разных видов лабораторных мышей. Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. *Экспериментальная биология и экология*, (5), 13–19. <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2021-5-13-19>
- Ermakova, A. E., & Kudyasheva, A. G. (2021). Variability of hematological parameters in different types of laboratory mice. *News of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Experimental Biology and Ecology*, (5), 13–19. (In Russ.) <https://doi.org/10.19110/1994-5655-2021-5-13-19>
- Забалуева, Т. В. (2018). Гликемический индекс повышения уровня сахара в крови при смешивании разных жиров. *Современные инновации*, (5), 79–83.
- Zabalueva, T. V. (2018). The glycemic index of the increase in blood sugar levels when mixing different fats. *Modern Innovations*, (5), 79–83. (In Russ.)
- Зенькова, М. Л., Акулич, А. В., Мельникова Л. А., & Тимофеева В. Н. (2020). Исследование нутриентного профиля пророщенного зерна мягкой пшеницы, выращенной в Беларуси. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 58–66. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.339>
- Zen'kova, M. L., Akulich, A. V., Mel'nikova L. A., & Timofeeva V. N. (2020). Study of the nutrient profile of sprouted soft wheat grain grown in Belarus. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 58–66. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.339>
- Зенькова, М. Л., Бойко, М. Ю., & Мацикова, О. В. (2014). Продукты длительного хранения из зерна и блюда на их основе. *Пищевая промышленность: Наука и технологии*, (1), 23–28.
- Zen'kova, M. L., Boiko, M. Yu., & Matsikova, O. V. (2014). Long-term storage products from grain and dishes based on them. *Food Industry: Science and Technology*, (1), 23–28. (In Russ.)
- Каркищенко, В. Н., Капанадзе, Г. Д., Деньгина, С. Е., & Станкова, Н. В. (2011). Разработка методики оценки физической выносливости мелких лабораторных животных для изучения адаптогенной активности некоторых лекарственных препаратов. *Биомедицина*, (1), 72–74.
- Karkishchenko, V. N., Kapanadze, G. D., Den'gina, S. E., & Stankova, N. V. (2011). Development of a methodology for assessing the physical endurance of small laboratory animals to study the adaptogenic activity of certain drugs. *Biomedicine*, (1), 72–74. (In Russ.)
- Коптяева, К. Е., Мужикян, А. А., Гушин, Я. А., Беляева, Е. В., Макарова, М. Н., & Макаров, В. Г. (2018). Методика вскрытия и извлечения органов лабораторных животных. Сообщение 2: Мышь. *Лабораторные животные для научных исследований*, (4), 50–73. <https://doi.org/10.29296/2618723X-2018-04-05>
- Koptyaeva, K. E., Muzhikyan, A. A., Gushchin, Ya. A., Belyaeva, E. V., Makarova, M. N., & Makarov, V. G. (2018). Methods of opening and extraction of organs of laboratory animals. Message 2: Mouse. *Laboratory Animals for Scientific Research*, (4), 50–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.29296/2618723X-2018-04-05>
- Куценкова, В. С., Семина, А. И., Лямина, Н. П., & Неповинных, Н. В. (2017). Перспективы применения продуктов, обогащенных пищевыми волокнами, в диетотерапии пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями. *Кардиосоматика*, 8(1), 47–48.
- Kutsenkova, V. S., Semina, A. I., Lyamina, N. P., & Nepovinnikh, N. V. (2017). Prospects for the use of products enriched with dietary fiber in the diet therapy of patients with cardiovascular diseases. *Cardiosomatics*, 8(1), 47–48. (In Russ.)
- Мельникова, Л. А., & Журня, А. А. (2018). Оценка эффективности обогащенных хлебобулочных изделий для школьного питания. *Пищевая промышленность: Наука и технологии*, 11(3), 12–18.
- Mel'nikova, L. A., & Zhurnya, A. A. (2018). Evaluation of the effectiveness of enriched bakery products for school meals. *Food Industry: Science and Technology*, 11(3), 12–18. (In Russ.)
- Мельникова, Л. А., Рябова, К. С., & Жукова, И. А. (2017). Исследование влияния изотонических безалкогольных напитков адаптогенного действия на экспериментальных животных с использованием физиологических тестов. *Вестник Могилевского государственного университета продовольствия*, (1), 66–71.
- Mel'nikova, L. A., Ryabova, K. S., & Zhukova, I. A. (2017). Investigation of the effect of adaptogenic isotonic soft drinks on experimental animals using physiological tests. *Bulletin of the Mogilev State University of Food*, (1), 66–71. (In Russ.)

- Погожева, А. В., Дербенева С. А., & Байгарин, Е. К. (2006). Оценка эффективности использования хлеба, изготовленного из пророщенного зерна, в диетотерапии больных пожилого возраста с сердечно-сосудистыми заболеваниями. *Вопросы питания*, 75(5), 45–48.
- Pogozheva, A. V., Dербенева S. A., & Baigarin, E. K. (2006). Evaluation of the effectiveness of the use of bread made from sprouted grain in the diet therapy of elderly patients with cardiovascular diseases. *Nutrition Issues*, 75(5), 45–48. (In Russ.)
- Пономарева, Е. И., Алехина Н. Н., & Бакаева И. А. (2016). Хлеб из биоактивированного зерна пшеницы повышенной пищевой ценности. *Вопросы питания*, 85(2), 116–121.
- Ponomareva, E. I., Alekhina N. N., & Bakaeva I. A. (2016). Bread made from bioactivated wheat grain of increased nutritional value. *Nutrition Issues*, 85(2), 116–121. (In Russ.)
- Рыбакова, А. В., & Макарова, М. Н. (2015). Методы эвтаназии лабораторных животных в соответствии с Европейской директивой 2010/63. *Международный вестник ветеринарии*, (2), 96–107.
- Rybakova, A. V., & Makarova, M. N. (2015). Methods of euthanasia of laboratory animals in accordance with the European Directive 2010/63. *International Bulletin of Veterinary Medicine*, (2), 96–107. (In Russ.)
- Устинова, А. В., Дыдыкин, А. С., Хвыля, С. И., Конь, И. Я., & Углицких, А. К. (2005). Нутриентная адекватность и медико-биологическая оценка консервов для энтерального питания детей раннего возраста. *Пищевая промышленность*, (10), 88–90.
- Ustinova, A. V., Dыдыкин, A. S., Khvylya, S. I., Kon', I. Ya., & Uglitskikh, A. K. (2005). Nutritional adequacy and biomedical assessment of canned food for enteral nutrition of young children. *Food Industry*, (10), 88–90. (In Russ.)
- Цед, Е. А., Василенко, З. В., Королева, Л. М., Волкова, С. В., Астапенко, С. В., & Селемина, Н. М. (2012). Доклиническая комплексная оценка свойств напитка брожения на основе рисового гриба. *Пиво и напитки*, (5), 64–67.
- Tsed, E. A., Vasilenko, Z. V., Koroleva, L. M., Volkova, S. V., Astapenko, S. V., & Selemina, N. M. (2012). Preclinical comprehensive assessment of the properties of the fermentation drink based on rice mushroom. *Beer and Drinks*, (5), 64–67. (In Russ.)
- Цурцумия, Д., Приходько, Е., Тетерина, Л., Селиверстов, П., Ситкин, С., & Радченко, В. (2016). Пищевые волокна в коррекции дислипидемии. *Врач*, (9), 29–37.
- Tsurtsumiya, D., Prikhod'ko, E., Teterina, L., Seliverstov, P., Sitkin, S., & Radchenko, V. (2016). Dietary fiber in the correction of dyslipidemia. *Doctor*, (9), 29–37. (In Russ.)
- Черникова, Н. А., & Кнышенко, О. А. (2018). Гликемический индекс и его роль в управлении и контроле сахарного диабета. *Эндокринология: Новости, мнения, обучение*, 7(4), 16–22. <https://doi.org/10.24411/2304-9529-2018-14002>
- Chernikova, N. A., & Knyshenko, O. A. (2018). Glycemic index and its role in the management and control of diabetes mellitus. *Endocrinology: News, opinions, training*, 7(4), 16–22. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2304-9529-2018-14002>
- Шаршунов, В. А., Урбанчик, Е. Н., Шалюта, А. Е., & Галдова, М. Н. (2016). Получение биологически активного зеонного продукта на основе смесей пророщенного зерна пшеницы и овса голозерного. *Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук*, (4), 118–125.
- Sharshunov, V. A., Urbanchik, E. N., Shalyuta, A. E., & Galdova, M. N. (2016). Obtaining a biologically active grain product based on mixtures of sprouted wheat and naked oats. *News of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Agricultural Sciences*, (4), 118–125. (In Russ.)
- Bantle, J. P., Wylie-Rosett, J., Albright, A. L., Apovian, C. M., Clark, N. G., Franz, M. J., Hoogwerf, B. J., Lichtenstein, A. H., Mayer-Davis, E., Mooradian, A. D., & Wheeler, M. L. (2008). Nutrition recommendations and interventions for diabetes: A position statement of the American diabetes association. (2008). *Diabetes Care*, 31(Suppl. 1), 61–78. <https://doi.org/10.2337/dc08-s061>
- Benincasa, P., Falcinelli, B., Lutts, S., Stagnari, F., & Galieni, A. (2019). Sprouted grains: A comprehensive review. *Nutrients*, 11(2), Article 421. <https://doi.org/10.3390/nu11020421>
- Lairon, D. (2007). Dietary fiber and control of body weight. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 17(1), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2006.07.006>
- Lemmens, E., Moroni, A. V., Pagand, J., Heirbaut, P., Ritala, A., Karlen, Y., Le, K.-A., van der Broeck, H. C., Brouns, F. J. P. H., de Brier, N., & Delcour, J. A. (2019). Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(1), 305–328. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12414>
- Molska, M., Reguła, J., & Świeca, M. (2023). Adding modified buckwheat sprouts to an atherogenic diet — the effect on selected nutritional parameters in rats. *Plant Foods for Human Nutrition*, 78, 279–285. <https://doi.org/10.1007/s11130-023-01047-9>
- Wolever, T. M. S., & Jenkins, D. J. A. (1986). The use of the glycemic index in predicting the blood glucose response to mixed meals. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 43(1), 167–172. <https://doi.org/10.1093/ajcn/43.1.167>

УДК 664.769:581.192.4

Формирование композиции биологически активных соединений и антиоксидантной активности микрозелени злаковых культур при выращивании на гидрогеле

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Л. П. Нилова, С. М. Малютенкова, О. В. Федорук

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Нилова Людмила Павловна

E-mail: nilova_l_p@mail.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Нилова, Л.П., Малютенкова, С.М., & Федорук, О.В. (2023). Формирование композиции биологически активных соединений и антиоксидантной активности микрозелени злаковых культур при выращивании на гидрогеле. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 82-94. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.477>

ПОСТУПИЛА: 01.03.2023

ПРИНЯТА: 15.09.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение: Микрозелень становится все более популярной благодаря содержанию биологически активных соединений. В питании эффективно использовать свежесрезанные ростки, которые можно выращивать на различных субстратах в индустрии питания и домашних условиях. Выращивание микрозелени на гидрогеле промышленного производства обеспечивает свободный доступ семян к воде без регулярного полива, что может привести к более эффективному росту растений и синтезу в них биологически активных соединений.

Цель: изучение возможности выращивания на гидрогеле зерна злаковых культур на примере пшеницы, ячменя, овса для получения микрозелени, как источника биологически активных соединений и антиоксидантов.

Материалы и методы: Для получения микрозелени использовали зерно пшеницы, ячменя и овса, которое выращивали на гидрогеле в течение 10 суток с ежедневным измерением высоты ростков. В микрозелени на 5-е, 7-е и 9-е сутки роста определяли количество хлорофиллов, каротиноидов, флавоноидов, витамин С и антиоксидантную активность методом FRAP и кулонометрическим титрованием.

Результаты: Микрозелень достигла оптимальной высоты 9–13 см на 7-е сутки выращивания на гидрогеле. В процессе роста микрозелени синтез биологически активных соединений происходил по-разному. Содержание хлорофиллов и каротиноидов увеличивалось в течение всего периода роста, интенсифицируясь на 9-е сутки. Хлорофиллы преобладали в микрозелени пшеницы, каротиноиды – в микрозелени овса на всех стадиях роста. Содержание флавоноидов в процессе роста микрозелени увеличивалось, но на 9-е сутки скорость их синтеза замедлилась. В течение всего периода роста содержание флавоноидов преобладало в ячмене. Количество витамина С в микрозелени увеличивалось только до 7-ми суток роста, а затем резко снизилось до значений 5-ти суточных ростков и ниже. Витамин С преобладал в микрозелени овса. Все виды микрозелени обладали антиоксидантной активностью, максимальные значения которых зафиксированы на 7-е сутки роста.

Выводы: Выращивание злаковых культур на гидрогеле позволяет получать микрозелень оптимальной высоты с максимальной антиоксидантной активностью на 7-е сутки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

микрозелень, пшеница, ячмень, овес, выращивание, гидрогель, биологически активные соединения, антиоксидантная активность

Formation of the Composition of Biologically Active Compounds and Antioxidant Activity of Cereal Microgreens when Grown on Hydrogel

Liudmila P. Nilova, Svetlana M. Malyutenkova, Oksana V. Fedoruk

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Ludmila P. Nilova

E-mail: nilova_lp@mail.ru

FOR CITATIONS:

Nilova, L.P., Malyutenkova, S.M., & Fedoruk, O.V. (2023). Formation of the composition of biologically active compounds and antioxidant activity of cereal microgreens when grown on Hydrogel. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 82-94.

<https://doi.org/10.36107/spfp.2023.477>

RECEIVED: 01.03.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background: Cereal microgreens are becoming increasingly popular due to the content of biologically active compounds. It is most effective to use freshly cut microgreen sprouts in your diet. Storage and transportation of microgreens leads to a decrease in their quality and loss of biologically active compounds. You can use the hydrogel to grow microgreens in the food industry and at home. The easiest way to grow microgreens is to select a substrate and grow them indoors. The use of industrially produced hydrogel as a substrate allows seeds to have free access to water without regular watering, which can lead to more efficient plant growth and the synthesis of biologically active compounds in them. Currently, hydrogel is not used for growing cereal microgreens.

Purpose: The purpose is to study the possibility of growing cereal grains on a hydrogel using the example of wheat, barley, oats to obtain microgreens as a source of biologically active compounds and antioxidants.

Materials and Methods: To obtain microgreens, grains of wheat, barley, and oats were used, which were grown on a hydrogel for 10 days with daily measurement of the height of the sprouts. The amount of chlorophylls, carotenoids, flavonoids, vitamin C, and antioxidant activity in microgreens was determined by FRAP and coulometric titration on the 5th, 7th, and 9th days of growth.

Results: Microgreens reached an optimal height of 9–13 cm on the 7th day of cultivation on a hydrogel. During the growth of microgreens, the synthesis of biologically active compounds occurred in different ways. The content of chlorophylls and carotenoids increased during the entire period of growth, intensifying on the 9th day. Chlorophyll predominated in wheat microgreens, carotenoids dominated in oat microgreens at all stages of growth. The content of flavonoids increased during the growth of microgreens, but on the 9th day the rate of their synthesis slowed down. During the entire period of growth, the content of flavonoids prevailed in barley. The amount of vitamin C in microgreens increased only up to the 7th day of growth, and then sharply decreased to the values of 5-day-old sprouts and below. Vitamin C was predominant in oat microgreens. All types of microgreens had antioxidant activity, the maximum values of which were recorded on the 7th day of growth.

Conclusion: Growing cereal crops on a hydrogel allows you to get microgreens of optimal height with maximum antioxidant activity on the 7th day.

KEYWORDS

microgreens, wheat, barley, oats, cultivation, hydrogel, biologically active compounds, antioxidant activity

ВВЕДЕНИЕ

Проростки и микрозелень являются новыми функциональными источниками пищи с большим потенциалом для разнообразия и улучшения рациона питания человека и решения проблемы дефицита питательных веществ (Ebert, 2022; Partar et al., 2023). Изучению содержания биологически активных соединений и антиоксидантной активности различных видов микрозелени при разных условиях выращивания и их пользы для здоровья посвящено множество работ, которые обобщены в ряде обзорных статей (Galieni, et al., 2020; Aloo et al., 2021; Teng et al., 2021; Zhang et al., 2021). При одинаковых условиях выращивания содержание природных антиоксидантов — фенольных соединений, антоцианов и витамина С может колебаться в широких пределах в зависимости от вида микрозелени. Микрозелень красной капусты и проса накапливала больше фенольных соединений, чем другие изученные виды микрозелени, тогда как общее содержание антоцианов было выше в микрозелени красной редьки и проса (Dhaka et al., 2023). Исследования *in vitro* и *in vivo* показали, что микрозелень обладает противовоспалительными, противораковыми, антибактериальными и антигипергликемическими свойствами (Zhang et al., 2021), а микрозелень овса может способствовать снижению артериального давления (Liska et al., 2022).

Микрозелень получают при выращивании различных семян — овощных, зерновых, бобовых и других культур (Елисеева и др., 2020; Niroula et al., 2021; Corrado et al., 2022; Dhaka et al., 2023). В отличие от проростков, которые культивируют не более 10 дней в темноте без использования почвы и дополнительных питательных веществ, микрозелень выращивают от 7 до 21 дней в присутствии света и среды для выращивания без агрохимикатов. В результате образуются растения длиной около 10 см с полностью развитыми семядолями с одним или двумя настоящими листьями (Aloo et al., 2021; Kaur et al., 2021; Niroula et al., 2021; Bhaswant et al., 2023). При одинаковой продолжительности культивирования в микрозелени пшеницы накапливается в 2 и более раз больше фенольных соединений, чем в проростках, что оказывает влияние на их антиоксидантную активность ($R^2 > 0,92$) (Niroula et al.,

2019). Зеленая пигментация микрозелени связана с синтезом хлорофиллов, который считается одним из наиболее распространенных фитохимических веществ в природе. Несмотря на то, что хлорофиллы являются одними из наиболее распространенных липофильных биологически активных соединений в природе и, возможно, в рационе человека, они часто игнорируются в исследованиях в области питания, поскольку долгое время считалось, что они не могут усваиваться из пищи. Однако недавние исследования показали, что способность хлорофиллов модулировать окислительный стресс (Koničková et al., 2014) и улавливать мутагены путем ограничения их биодоступности (Pietrzak et al., 2008) способствует профилактике онкологических заболеваний. В России установлен адекватный уровень потребления хлорофилла в составе пищевых продуктов в количестве 100 мг в сутки¹.

Проростки и микрозелень можно производить в городских и пригородных условиях в ограниченном пространстве с коротким циклом роста и минимальным использованием внешних питательных веществ для выращивания. Их считают источником биологически активных соединений и могут употреблять в свежем виде при приготовлении кулинарных блюд в индустрии питания или использовать как ингредиент в производстве пищевых продуктов (Бережная и др., 2015; Galieni, et al., 2020; Ghooora et al., 2020; Данильчук с соавт., 2020; Peñaranda, 2021).

Проращивание семян рассматривают как эффективную стратегию, позволяющую управлять составом биологически активных соединений в ростках, таким образом, улучшая их пользу для здоровья (Fortună et al., 2018; Islam et al., 2019; Науменко и др., 2019; Galieni, et al., 2020; Зенькова & Акулич, 2021; Dhaka et al., 2023). Количественный и качественный состав биологически активных соединений антиоксидантной направленности проростков и микрозелени зависит, прежде всего, от вида семян. В пророщенной пшенице повышение антиоксидантной активности происходит преимущественно за счет синтеза фенольных соединений (Niroula et al., 2019), в частности фенольных кислот (Złotek et al., 2019; Padalia et al., 2010;), в пророщенной гречихе — флавонолов (Kuznetsova et al., 2018; Ling et al., 2018).

¹ МР 2.3.1.1915–04. (2004). *Методические рекомендации «Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ»*. <https://docs.cntd.ru/document/1200037560>

Важными факторами регулирования синтеза биологически активных соединений в ростках являются условия проращивания (вид почвы, свет, температура, доступность воды и питательных веществ), правильный подбор которых может привести к получению микрорзелени с антиоксидантной активностью, превышающую некоторые свежие овощи (Kulkarni et al., 2006). Микрорзелень пшеницы, полученная с использованием гидропонных технологий, содержит больше, чем выращенная на почве из букового леса, хлорофиллов на 78%, фенольных соединений — на 5,7%, флавоноидов — на 34,9%, антирадикальная активность (DPPH-тест) увеличивается на 62,1% (Fortunã et al., 2018). При выращивании пшеницы на кокосовом торфе в микрорзелени накапливается больше фенольных кислот и флавоноидов (катехина, рутина), а на почве — общих фенольных соединений, что повышает их антиоксидантную активность (Kaur et al., 2021). Увеличение доли синего излучения в светодиодах до 33% при выращивании семян приводит к более интенсивному синтезу хлорофиллов и каротиноидов, а снижение синего излучения до 16% — увеличивает синтез токоферолов (Samuolienė et al., 2017; Li et al., 2022).

Усилить антиоксидантные свойства ростков может полив их растворами минеральных солей, модифицированными питательными растворами или опрыскивание их растворами арахионовой или жасмоновой кислотами (Волошин с соавт., 2015; Złotek et al., 2019; Islam et al., 2020; Kaur et al., 2021; Елисеева с соавт., 2020; Corrado et al., 2022). Полив ростков родниковой водой, содержащей больше солей калия, кальция и магния, чем артезианская вода, не только повышают в них содержание минералов, но и стимулирует синтез хлорофиллов на 39%, фенольных соединений — на 9,7%, флавоноидов — на 73,3% (Fortunã et al., 2018). Использование для полива зерна пшеницы раствора хлорида натрия ($12,5 \text{ ммоль/дм}^3$), приводит к увеличению в ростках фенольных соединений, хлорофиллов и каротиноидов. Повышение в растворе концентрации хлорида натрия (25 ммоль/дм^3), уменьшает содержание вышеперечисленных биологически активных соединений в ростках до исходного количества и ниже, но увеличивает синтез антоцианов (Islam et al., 2019).

Микрорзелень имеет короткие циклы роста, низкую скорость фиксации биомассы (низкое потребле-

ние кислорода и низкое образование углекислого газа), высокую эффективность урожая на единицу площади (с почвой или без нее), времени и объема (Fortunã et al., 2018; Galieni, et al., 2020; Niroula et al., 2021; Corrado et al., 2022). Преимуществом ее производства в промышленных масштабах или домашнем хозяйстве является сбор микрорзелени в свежем виде перед употреблением, что обеспечивает максимальную антиоксидантную активность продукта по сравнению с таблетированными аналогами (Kulkarni et al., 2006).

В последние годы среди садоводов для проращивания и получения рассады различных овощей в домашних условиях популярно использование гидрогеля промышленного производства, рекомендованного для использования в сельском хозяйстве. Выращивание микрорзелени злаковых и овощных культур на гидрогеле позволило бы круглогодично получать свежую съедобную микрорзелень, содержащую природные антиоксиданты, что может стать дополнением к рациону питания, обеспечивая его полноценность.

Цель данного исследования: изучение возможности выращивания на гидрогеле зерна злаковых культур на примере пшеницы, ячменя, овса для получения микрорзелени, как источника биологически активных соединений и антиоксидантов. В работе исследовали динамику роста микрорзелени по высоте ростков, синтез биологически активных соединений — хлорофиллов, каротиноидов, флавоноидов, витамина С и антиоксидантную активность микрорзелени методами FRAP и кулонометрическим титрованием.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Объектами исследований явилась микрорзелень пшеницы, ячменя и овса: пшеница «Аратай» производитель товарищество на вере «Пугачевское», Пензенская область; ячмень «Naturale» производитель ИП Салахутдинов, г. Москва; овес «Волшебное зернышко» производитель ООО «Мирас М», Республика Башкортостан. Выращивание микрорзелени проводилось на гранулированном гидрогеле «Green Square» (почвенный кондиционер В-415К) с содер-

жанием солей калия (не менее 21 %), производитель ООО «Акрипол», Россия, г. Москва.

Оборудование

Спектрофотометр «UNICO-2800», США, стеклянные кюветы с толщиной слоя 1 см.

Кулонометр «Эксперт-006-антиоксиданты», Россия.

Шкаф сушильный РА-50/350, Россия.

Методы

В микрозелени разной длины определяли массовую долю влаги методом высушивания навески до постоянной массы при температуре 105°C по ГОСТ 28561–90².

Содержание пигментов — хлорофиллов (a + b), суммы каротиноидов определяли спектрофотометрически одновременно в одной пробе (Sumanta et al., 2014). Около 0,5 г микрозелени гомогенизировали в присутствии 10 мл диметилсульфоксида, а затем полученную смесь в течение 15 минут центрифугировали при 10 000 об/мин. 0,5 мл надосадочной жидкости смешивали с 4,5 мл диметилсульфоксида и анализировали на спектрофотометре UNICO–2800. Для расчета хлорофилла формы a ($X_{л_a}$), хлорофилла формы b ($X_{л_b}$), суммы каротиноидов (K) использовали значения оптической плотности при длинах волн, нм: 470 (A_{470}); 649 (A_{649}) и 664 (A_{664}), и рассчитывали по следующим формулам:

$$X_{л_a} = 13,36 \times A_{664} - 5,19 \times A_{649}; \quad (1)$$

$$X_{л_b} = 27,43 \times A_{649} - 8,12 \times A_{664}; \quad (2)$$

$$K = \frac{1000 \times A_{470} - 2,13 \times X_{л_a} - 97,63 \times X_{л_b}}{209} \quad (3)$$

Общее содержание флавоноидов определяли спектрофотометрически по реакции с хлоридом алюминия при длине волны 420 нм по ГОСТ Р 55312–2012³

после предварительной гомогенизации 1 г микрозелени с 60 %-ным этанолом и центрифугировании в течение 3 минут при 3000 об/мин. Калибровочную кривую строили по рутину.

Определение витамина С проводили титриметрическим методом с раствором 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия по ГОСТ 24556–89⁴. Подготовка пробы заключалась в растирании 5 г микрозелени с 2 %-м раствором соляной кислоты до получения однородной кашицы, фильтровании, доведении дистиллированной водой до нужного объема. Полученный раствор оттитровывали 0,250 г/дм³ раствором 2,6-дихлорфенолиндофенола.

Антиоксидантную активность определяли: спектрофотометрически методом FRAP с хлоридом железа в присутствии о-фенантролина при длине волны 505 нм (Рогожин & Рогожина, 2016)⁵; кулонометрическим титрованием (КМТ) на кулонометре «Эксперт-006-антиоксиданты» с электрогенерированным бромом. Калибровочную кривую строили по аскорбиновой кислоте.

Процедура исследования

Выращивание зерна осуществляли в течение 10 суток в пластиковых лотках, которые заполняли набухшим гидрогелем (соотношение гранулированного гидрогеля и фильтрованной воды 10 г/1,75 л) с толщиной слоя 5 см. Зерно трижды промывали в водопроводной воде и сразу высевали при плотности 3 зерна на см². В период роста микрозелени соблюдали световой режим 10/14 день/ночь. После трех суток роста микрозелени ежедневно измеряли высоту каждого растения. На 5-е, 7-е и 9-е сутки микрозелень срезали ножницами из нержавеющей стали и сразу использовали для определения биологически активных соединений и влажности.

Анализ данных

Исследования проводились в трехкратной повторности каждого образца микрозелени на разных ста-

² ГОСТ 28561–90. (2008). *Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги*. М.: Стандартинформ.

³ ГОСТ Р 55312–2012. (2012). *Прополис. Методы определения флавоноидных соединений*. М.: Стандартинформ.

⁴ ГОСТ 24556–89. (2009). *Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С*. М.: Стандартинформ.

⁵ Рогожин, В. В., & Рогожина, Т. В. (2016). *Практикум по биохимии сельскохозяйственной продукции*. СПб.: ГИОРД.

дях роста. После измерения высоты каждого растения рассчитывали среднее значение, стандартное отклонение и коэффициент вариации, как соотношение стандартного отклонения к среднему арифметическому. Статистический анализ содержания биологически активных соединений, влажности и антиоксидантной активности проводился на основании трех измерений образцов из трех контейнеров и был выражен как среднее арифметическое, стандартное отклонение. Оценка достоверности результатов проводилась с использованием t-критерия Стьюдента. Различия считали достоверными при вероятности 95%. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием Microsoft Excel 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Зерно всех исследуемых злаковых культур прорастало не одновременно, поэтому в течение всего периода роста высота ростков была неравномер-

ной, особенно после 3-х суток роста (Таблица 1). В этот период высота ростков колебалась от 1 до 8 мм со средним значением около 5 мм и была наиболее выражена у зерна ячменя. Постепенно в процессе дальнейшего роста высота ростков выравнивалась, о чем свидетельствует снижение коэффициента вариации в 2–3 раза, значения которого для всех злаковых культур, начиная с 4-х суток роста, не превышали 20% (среднее рассеяние).

Наибольший рост микрорзелени фиксировался с 3-х до 4-х суток, высота ростков возросла в 8–10 раз, наиболее интенсивно у пшеницы. Затем скорость роста замедлилась, прибавляя в среднем 23–29 мм с 4 на 5 сутки и в среднем 24 мм — с 5 на 6 сутки. После 6-ти суток прирост микрорзелени незначительно увеличился и составил 33–35 мм, а после 8-ти суток замедлился — прирост за сутки составил около 16–20 мм. Наиболее интенсивно в этот период росла микрорзелень пшеницы, высота которой на 10-е сутки превысила высоту микрорзелени ячменя и овса на 3,5 и 7,5 мм, соответственно. Но

Таблица 1

Динамика роста микрорзелени злаковых культур на гидрогеле

Высота микрорзелени, мм	Продолжительность роста, сутки							
	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Микрорзелень пшеницы</i>								
Min	2	32	44	56	89	104	120	140
Max	7	50	78	117	153	197	225	245
Mean	4,76	40,67	63,86	88,27	121,95	154,25	174,72	195,72
SD	1,60	4,65	8,95	16,40	18,59	26,56	27,14	29,14
V, %	33,63	11,44	14,02	18,58	15,24	17,22	15,54	14,89
<i>Микрорзелень ячменя</i>								
Min	2	30	47	61	97	112	122	133
Max	8	52	90	124	160	205	222	240
Mean	5,18	41,11	70,67	95,09	130,26	162,23	178,68	192,14
SD	1,85	5,50	11,33	16,79	17,05	24,47	27,96	28,77
V, %	35,64	13,39	16,03	17,65	13,09	15,08	15,65	14,97
<i>Микрорзелень овса</i>								
Min	1	27	38	50	87	107	115	130
Max	7	44	80	117	151	201	217	238
Mean	4,32	36,93	61,45	84,84	119,16	150,84	167,17	188,24
SD	1,83	4,45	11,34	19,22	18,75	26,68	26,34	30,72
V, %	42,42	12,06	18,46	22,66	15,74	17,69	15,75	16,32

Примечание. min, max – минимальные и максимальные измеренные значения; mean – среднее арифметическое; SD – стандартная ошибка среднего; V – коэффициент вариации (%).

нежной и сочной микрозелень злаковых культур была только до 9-ти суток роста, а на 10-е сутки становилась жесткой. Это подтверждают значения влажности микрозелени, которые уже на 9-е сутки роста имели тенденцию к снижению на 1,9–2,67 % (Таблица 2).

В процессе роста микрозелень постепенно приобретала более выраженный зеленый оттенок, что связано с синтезом хлорофиллов (таблица 2). С 5 по 9 сутки их количество увеличилось в 2 раза у микрозелени пшеницы и ячменя и в 1,6 раза у микрозелени овса. Интенсивный синтез хлорофиллов происходил с 7-е по 9-е сутки роста независимо от вида зерна для выращивания. В микрозелени пшеницы сумма хлорофиллов в этот период увеличилась на 75%, в то время как с 5-е по 7-е сутки только на 22,2%. Такая же тенденция была характерна для микрозелени ячменя и овса. Содержание хлорофиллов с 5-е по 7-е сутки роста увеличилось на 20,6 и 21,3% и на 68,0 и 32,2% с 7-е по 9-е сутки, соответственно для микрозелени ячменя и овса. На всех стадиях роста микрозелени содержание хлорофиллов в зависимости от вида зерна распределилась следующим образом: пшеница > овес > ячмень. На 9-е сутки микрозелень пшеницы содержала хлорофиллов больше в 1,6 и 1,4 раза, чем микрозелень

ячменя и овса, соответственно. В составе хлорофиллов всех видов микрозелени преобладал хлорофилл а, на долю которого приходилось более 60 %.

Распределение количества каротиноидов между микрозеленью из разных злаковых культур отличалось от хлорофиллов. Каротиноиды преобладали в микрозелени овса на всех стадиях роста. На 7-е сутки их количество увеличилось на 18,1%, на 9-е сутки — еще на 41,8%. Микрозелень пшеницы на 5-е сутки содержала каротиноидов меньше в 1,8 раза, чем микрозелень овса, но их синтез при дальнейшем росте микрозелени был более интенсивным. На 7-е сутки их количество увеличилось на 36,9%, а на 9-е сутки — на 44,9%, фактически постепенно ускоряясь со временем роста. Микрозелень ячменя содержала меньше всех каротиноидов, как в начале роста, так и в конце.

Содержание флавоноидов в микрозелени злаковых культур носило иной характер, хотя, также как для хлорофиллов и каротиноидов, их количество увеличивалось в течение всего периода роста (Таблица 3). Флавоноиды преобладали в микрозелени ячменя на всех стадиях роста. Их количество было больше, чем в микрозелени пшеницы и овса на 5-е сутки на 34,5% и 17,0%; на 7-е сутки — на 37,1

Таблица 2

Содержание пигментов (хлорофиллов, каротиноидов) и влажность микрозелени злаковых культур при выращивании на гидрогеле

Продолжительность роста, сутки	Хлорофилл, мг / 100 г			Каротиноиды, мг/100 г	Влажность, %
	хлорофилл а	хлорофилл b	сумма		
<i>Микрозелень пшеницы</i>					
5	13,66 ± 0,46	8,17 ± 0,28	21,83 ± 0,37	1,30 ± 0,04	84,96 ± 1,15
7	17,13 ± 0,20	9,54 ± 0,24	26,67 ± 0,20	1,78 ± 0,05	86,77 ± 1,20
9	28,48 ± 0,62	18,23 ± 0,30	46,71 ± 0,41	2,58 ± 0,05	84,10 ± 1,20
<i>Микрозелень ячменя</i>					
5	8,90 ± 0,40	5,14 ± 0,20	14,04 ± 0,26	0,99 ± 0,04	88,91 ± 1,00
7	10,23 ± 0,30	6,70 ± 0,22	16,93 ± 0,26	1,19 ± 0,03	90,22 ± 0,90
9	18,20 ± 0,30	10,25 ± 0,18	28,45 ± 0,23	1,72 ± 0,06	88,32 ± 0,95
<i>Микрозелень овса</i>					
5	12,34 ± 0,51	8,10 ± 0,35	20,44 ± 0,42	2,37 ± 0,06	86,12 ± 1,10
7	14,93 ± 0,50	9,87 ± 0,40	24,80 ± 0,43	2,80 ± 0,07	87,31 ± 0,92
9	20,86 ± 0,38	11,93 ± 0,32	32,79 ± 0,35	3,97 ± 0,05	85,36 ± 1,10

Таблица 3

Содержание флавоноидов, витамина С и антиоксидантная активность микрорзелени злаковых культур при выращивании на гидрогеле

Продолжительность роста, сутки	Флавоноиды, мг рутина / 100 г	Витамин С, мг /100 г	Антиоксидантная активность, мг АК/100 г	
			FRAP	KMT
<i>Микрорзелень пшеницы</i>				
5	4,60 ± 0,18	6,02 ± 0,12	30,36 ± 1,20	69,53 ± 2,95
7	7,41 ± 0,22	7,45 ± 0,15	39,28 ± 1,50	80,80 ± 3,20
9	7,58 ± 0,20	5,18 ± 0,20	28,47 ± 1,00	62,06 ± 2,60
<i>Микрорзелень ячменя</i>				
5	6,19 ± 0,14	5,73 ± 0,16	44,99 ± 1,80	76,96 ± 2,76
7	10,16 ± 0,15	6,92 ± 0,16	55,19 ± 2,01	91,70 ± 3,34
9	12,40 ± 0,20	4,97 ± 0,18	45,01 ± 2,10	69,50 ± 2,86
<i>Микрорзелень овса</i>				
5	5,29 ± 0,19	6,88 ± 0,25	36,58 ± 1,65	79,17 ± 3,00
7	8,83 ± 0,24	8,05 ± 0,20	44,51 ± 1,50	99,56 ± 2,56
9	9,57 ± 0,18	5,69 ± 0,15	35,60 ± 1,00	68,68 ± 2,80

и 15,1%; на 9-е сутки — на 63,6 и 29,6%, соответственно. Наиболее интенсивный синтез флавоноидов происходил с 5-е по 7-е сутки роста, увеличиваясь на 61,1–66,9% в этот период, что наиболее было выражено в микрорзелени овса. На 9-е сутки роста зафиксировано снижение скорости синтеза флавоноидов для всех видов микрорзелени. Их количество для микрорзелени пшеницы, ячменя и овса на 9-е сутки увеличилось на 2,3; 22,0; 8,4%, соответственно, по сравнению с 7-ми сутками роста.

В отличие от хлорофиллов, каротиноидов и флавоноидов, для которых в процессе роста микрорзелени было характерно увеличение их количества, то увеличение содержания витамина С происходило только до 7-ми суток роста (Таблица 3). С 5-ти до 7-ми суток роста количество витамина С в микрорзелени возросло от 17,0% (микрорзелень овса) до 23,7% (микрорзелень пшеницы). На 9-е сутки количество витамина С уменьшилось у всех видов микрорзелени, в большей степени у микрорзелени пшеницы — на 43,8%, а у остальных на 39,2 и 41,4%. Витамин С преобладал в микрорзелени овса на всех стадиях роста.

Микрорзелень злаковых культур обладала антиоксидантными свойствами, о чем свидетельствуют

значения антиоксидантной активности, определенные двумя методами, на всех стадиях роста (Таблица 3). Увеличение значений антиоксидантной активности в процессе роста микрорзелени независимо от ее вида происходило только до 7-ми суток. С 5 по 7-е сутки значения антиоксидантной активности возросли на 21,6–29,3% (FRAP) и на 14,6–25,7% (KMT). На 9-е сутки роста антиоксидантная активность микрорзелени существенно снизилась: на 8,4–27,5% (FRAP) и на 24,2–31,0% (KMT), и была меньше или на уровне 5-ти суточной микрорзелени. Причем по данным FRAP-теста в большей степени уменьшилась антиоксидантная активность у микрорзелени ячменя, а по данным KMT — у микрорзелени овса. В результате максимальной антиоксидантной активностью обладала микрорзелень на 7-е сутки роста и в зависимости от вида используемых злаковых культур по данным FRAP имела ряд: ячмень > овес > пшеница, а по данным KMT: овес > ячмень > пшеница.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Использование гидрогеля в качестве субстрата для выращивания микрозелени злаковых культур приводило к более интенсивному росту ростков по сравнению с другими технологиями. Уже на 7-е сутки выращивания зерна пшеницы, ячменя и овса на гидрогеле микрозелень достигла оптимальной высоты 9–12 см за счет свободного доступа растений к воде. По сравнению с гидропонной технологией с проливом водой (Волошин и др., 2015) высота ростков на гидрогеле через 7 суток была больше в 1,5–1,9 раз. Свободный доступ к воде оказал большее влияние на интенсивность роста микрозелени, чем освещение. Увеличение светового дня до 12 часов при выращивании микрозелени в гидропонной системе потребовало более длительного периода для достижения высоты ростков 10 см (Islam, et al., 2020), что на 3-е суток больше, чем при выращивании на гидрогеле.

Ограничение доступа к воде зерна за счет двухразового полива даже при использовании субстрата в виде экологически чистой органической почвы (35% кокосовый торф, 25% гранит, 25% грибная культура, 7,4% перлит, 5% цеолит, 2,5% вермикулит, 0,1% гуано) приводит к достижению высоты микрозелени пшеницы 9–12 см через 8 дней (Islam et al., 2019). Микрозелень пшеницы и ячменя, выращенные на почве с двухразовым поливом, достигают такой высоты на 10 и 13 день роста, соответственно (Niroula et al., 2019). Аналогичные результаты были получены при выращивании семян фасоли маш и чечевицы на питательной среде из смеси кокосового торфа, вермикулита и песка в соотношении 1,5:1,5:1, длина ростков которых достигла 7–14 и 8–12 см, соответственно, на 9 сутки (Dhaka et al., 2023).

В процессе роста микрозелени независимо от технологии выращивания происходит синтез биологически активных соединений, интенсивность которого зависит от вида зерна и условий и продолжительности выращивания. При выращивании микрозелени злаковых культур на гидрогеле синтез биологически активных соединений происходил по-разному в зависимости от вида семян, но на 7-е сутки значительно уступал другим технологиям только по количеству флавоноидов.

В процессе роста микрозелени синтез пигментов — хлорофиллов и каротиноидов происходит с различной скоростью в зависимости от вида семян, которая максимально увеличивается между 7–10 днями у пшеницы и между 10–13 днями у ячменя (Niroula et al., 2019). Результаты исследований выращивания микрозелени пшеницы и ячменя на гидрогеле подтверждают эту тенденцию. Во время роста на гидрогеле через 7 и 9 дней микрозелень ячменя содержала меньше хлорофиллов и каротиноидов в 1,6 и 1,5 раз, соответственно, чем микрозелень пшеницы. При дальнейшем росте микрозелени синтез пигментов продолжался, но с меньшей скоростью, что привело к выравниванию количества хлорофиллов и каротиноидов между микрозеленью злаков. По данным Niroula et al. отсутствие различий в содержании хлорофиллов и каротиноидов между ростками пшеницы и ячменя не установлено через 12–13 дней выращивания (Niroula et al., 2019; Niroula et al., 2021). Несмотря на отсутствие питательных веществ, кроме собственных, при выращивании семян злаковых культур на гидрогеле, микрозелень имела тот же порядок значений хлорофиллов и каротиноидов, что и при выращивании на искусственных почвах. На 7-е и 9-е сутки микрозелень пшеницы на гидрогеле содержала мг/100г в пересчете на сухое вещество (СВ) хлорофиллов 201,59 и 293,77, соответственно. Микрозелень пшеницы, в эти же периоды роста на кокосовом торфе, содержала хлорофиллов 269,29 и 385,15 мг/100г СВ (Niroula et al., 2021), что больше на 33,5 и 31,1%, соответственно, чем на гидрогеле. В то же время, количество хлорофиллов в микрозелени пшеницы, выращенной на гидропонике, было меньше, чем на гидрогеле на 38,5%, а каротиноидов, наоборот, больше в 2,2 раза (Islam et al., 2020). Содержание хлорофилла формы а при выращивании микрозелени пшеницы на гидрогеле на 9-е сутки составило 28,48 мг/100 г, а на гидропонике только на 14-е сутки — 30,17 мг / 100 мл (Fortunã et al., 2018).

Синтез флавоноидов при выращивании микрозелени злаковых культур на гидрогеле носил другой характер, и на 9-е сутки роста затормаживался. По сравнению с микрозеленью пшеницы, выращенной на гидропонике, их количество в исследуемой микрозелени пшеницы было в 6 раз меньше, а на почве с двухразовым поливом — меньше в 1,8 раз (Islam et al., 2019; Islam et al., 2020). Это может быть обусловлено ботаническим сортом пшеницы, используемой для проращивания. По данным

Kaur et al. (Kaur et al., 2021), разница в содержании флавоноидов микрорзелени из четырех сортов пшеницы составляет 63,4–72,6% в зависимости от условий выращивания. Несмотря на снижение синтеза флавоноидов в микрорзелени злаковых культур во время роста на гидрогеле, их количество продолжало возрастать. Возможность дальнейшего синтеза флавоноидов в процессе роста ростков подтверждают исследования Li, et al. (Li et al., 2022). При выращивании мягкой озимой пшеницы на гидропонике в течение 43 дней содержание флавоноидов увеличивается преимущественно в листьях до 1,5–1,8 мг/г, а в стеблях их количество в 3 раза меньше.

Количество витамином С в ростках злаковых культур зависит от условий и продолжительности выращивания, но его синтез активизируется на начальных стадиях роста в результате активации фермента L-галактоно-1,4-лактондегидрогеназа (Melino Soole, & Ford, 2009). В ростках пшеницы при проращивании в течение 3-х суток на фильтровальной бумаге, которую смачивали 10 мл дистиллированной воды, количество витамина С составляло 3,8 мг / 100 г СВ, но уже на 4-е сутки снизилось в 1,8 раз, что авторы объясняют его участием в оксидазных и пероксидазных реакциях при прорастании зерна (Рогожина & Рогожин, 2010). В проростках мягкой пшеницы длиной 2 мм через 48 часов роста с неограниченным доступом воды и периодической аэрацией содержание витамина С составляло 1,45–3,32 мг / 100 г (Зенькова с соавт., 2020). По данным Бережной (Бережная с соавт., 2015) через 48 часов в проростках пшеницы количество витамина С составило около 16 мг/100 г. Через 5 суток его количество увеличилось только на 2 мг/100 г или на 12,5%. В то же время содержание витамина С в микрорзелене, выращенной на гидропонике со светодиодами в течение 10 суток, составило 6,4 мг /100 мл (Islam et al., 2020), на органической почве в течение 8 суток – 2,51 мг / 100 мл (Islam et al., 2019), что в 1,64 и 2,97 раз меньше, соответственно, чем при проращивании на гидрогеле на 7-е сутки.

Ряд исследований показывает, что микрорзелень злаковых культур обладает антиоксидантной активностью, которая зависит от условий выращивания (Calzuola & Marsili, 2004; Kulkarni et al., 2006; Fortună et al., 2018; Islam et al., 2020; Kaur et al., 2021; Niroula et al., 2021; Li et al., 2022; Dhaka et al., 2023).

Антиоксидантная активность микрорзелени пшеницы в зависимости от условий выращивания имеет ряд: в воде < в растворе питательных веществ < в почве с поливом водой < в почве с поливом питательными веществами (Kulkarni et al., 2006; Kaur et al., 2021). Причем на 7-е сутки роста антиоксидантная активность микрорзелени возрастает, на 8-е сутки – снижается, а затем снова возрастает, и на 15-е сутки достигает или превышает значения 7-суточной микрорзелени (Kulkarni et al., 2006). Чем больше световой период при выращивании, тем выше антиоксидантная активность микрорзелени. У микрорзелени ячменя антиоксидантная активность выше, чем у микрорзелени пшеницы, достигая максимальных значений между 9 и 12 сутками роста на кокосовом торфе (Niroula et al., 2021), на 13-е сутки роста на почве (Niroula et al., 2019). Влияние ботанических сортов зерна на антиоксидантную активность не столь значительно. По данным Kaur с соавторами (Kaur et al., 2021) различия антиоксидантной активности микрорзелени пшеницы из 4-х ботанических сортов не превышают 6,5–18,9%.

ВЫВОДЫ

Для выращивания микрорзелени пшеницы, ячменя и овса можно использовать гидрогель, который обеспечивает свободный доступ растений к воде и позволяет через 7-м суток роста получить микрорзелень с содержанием биологически активных соединений, обеспечивающих максимальную антиоксидантную активность.

Микрорзелень пшеницы, ячменя и овса при выращивании на гидрогеле, содержащем соли калия (по информации производителя в маркировке) достигает оптимальной высоты на 7-е сутки роста, что на 3-е суток быстрее, чем при использовании гидропонной технологии или на 3–6 суток, чем при выращивании на почве с двухразовым поливом.

В процессе роста всех видов микрорзелени на гидрогеле до 7-ми суток происходит постепенное увеличение количества исследуемых биологически активных соединений. Дальнейший рост микрорзелени до 9-ти суток интенсифицирует синтез хлорофиллов и каротиноидов, синтез флавоноидов затормаживается, а количество витамина С снижается до уровня 5-ти суточных ростков и ниже. Микрорзелень злаковых культур различалась содер-

жанием биологически активных соединений. В микрозелени пшеницы преобладали хлорофиллы, микрозелени ячменя — флавоноиды, микрозелени овса — каротиноиды и витамин С. Все виды микрозелени обладали антиоксидантной активностью, максимальные значения которых зафиксированы на 7-е сутки роста.

Проведенные исследования ограничивались использованием для набухания гидрогеля воды. Дальнейшие исследования могут быть направлены на использование растворов солей, как питательных веществ, что позволит интенсифицировать синтез биологически активных соединений в микрозелени при выращивании на гидрогеле.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Нилова Людмила Павловна: концептуализация; проектирование методологии; проведение исследования; верификация данных; создание черновика и редактирование рукописи; визуализация; ресурсное обеспечение.

Малютенкова Светлана Михайловна: концептуализация; проектирование методологии; проведение исследования; верификация данных; создание

черновика и редактирование рукописи; визуализация; ресурсное обеспечение.

Федорук Оксана Витальевна: концептуализация; проектирование методологии; проведение исследования; верификация данных; создание черновика и редактирование рукописи; визуализация; ресурсное обеспечение.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Бережная, О. В., Дубцов, Г. Г., & Войно, Л. И. (2015). Проростки пшеницы — ингредиент для продуктов питания. *Пищевая промышленность*, (5), 26–29.
- Berezhnaya, O. V., Dubtsov, G. G., & Voino, L. I. (2015). Wheat sprouts are an ingredient for food. *Food Industry*, (5), 26–29. (In Russ.)
- Волошин, М. В., Андреева, Ю. В., Колесова, О. В., Маслова, В. В., Люшина, Г. А., & Солодников, С. Ю. (2015). Минеральные добавки и гидропонная технология в производстве сока из ростков пшеницы. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. *Химическая технология и биотехнология*, (2), 21–52.
- Voloshin, M. V., Andreeva, Yu. V., Kolesova, O. V., Maslova, V. V., Lyushina, G. A., & Solodnikov, S. Yu. (2015). Mineral additives and hydroponic technology in the production of juice from wheat germ. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Chemical Technology and Biotechnology* (2), 21–52. (In Russ.)
- Данильчук, Т. Н., Ефремова, Ю. Г., & Корыстина, И. В. (2020). Напитки на основе молочной сыворотки и сублиматов проростков растений. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 69–81. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.305>
- Danil'chuk, T. N., Efremova, Yu. G., & Korystina, I. V. (2020). Drinks based on whey and sublimates of plant seedlings. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 69–81. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.305>
- Елисеева, Л. Г., Осман, А. Д., Евдокимова, О. В., Зеленков, В. Н., Латушкин, В. В., Иванова, М. И., & Герасимова, Л. К. (2020). Сравнительная характеристика пищевой ценности микрозелени и традиционного салата, выращенного в условиях фитотрона городского типа ИСР 0.1. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, (6), 63–73. <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2020-65-6-63-73>
- Eliseeva, L. G., Osman, A. D., Evdokimova, O. V., Zelenkov, V. N., Latushkin, V. V., Ivanova, M. I., & Gerasimova, L. K. (2020). Comparative characteristics of the nutritional value of microgreens and traditional lettuce grown in the conditions of an urban-type phytotron ISR 0.1. *Technology and Commodity Science of Innovative Food Products*, (6), 63–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2020-65-6-63-73>
- Зенькова, М. Л., Акулич, А. В., & Мельникова, Л. А. (2020). Исследование нутриентного профиля пророщенного зерна мягкой пшеницы, выращенной в Беларуси. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 58–68. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.339>
- Zen'kova, M. L., Akulich, A. V., & Mel'nikova, L. A. (2020). Study of the nutrient profile of sprouted soft wheat grain grown in Belarus. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 58–68. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.339>
- Зенькова, М. Л., & Акулич, А. В. (2021). Влияние процесса проращивания зерен злаковых культур на их пищевую

- ценность. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 26–53. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.207>
- Zen'kova, M. L., & Akulich, A. V. (2021). The influence of the process of germination of cereal grains on their nutritional value. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 26–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.207>
- Науменко, Н. В., Потороко, И. Ю., Малинин, А. В., & Цатуров, А. В. (2019). Оптимизация условий процесса проращивания зерна пшеницы. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 151, 200–210.
- Naumenko, N. V., Potorocho, I. Yu., Malinin, A. V., & Tsaturov, A. V. (2019). Optimization of the conditions of the wheat grain germination process. *Polythematic Online Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University*, 151, 200–210. (In Russ.)
- Рогожина, Т. В., & Рогожин, В. В. (2010). Роль компонентов антиоксидантной системы в механизмах прорастания зерен пшеницы. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, (11), 31–38.
- Rogozhina, T. V., & Rogozhin, V. V. (2010). The role of the components of the antioxidant system in the mechanisms of germination of wheat grains. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*, (11), 31–38. (In Russ.)
- Aloo, S. O., Ofosu, F. K., Kilonzi, S. M., Shabbir, U., & Oh, D. H. (2021). Edible plant sprouts: Health benefits, trends, and opportunities for novel exploration. *Nutrients*, 13, Article 2882. <https://doi.org/10.3390/nu13082882>
- Bhaswant, M., Shanmugam, D. K., Miyazawa, T., Abe, C., & Miyazawa, T. (2023). Microgreens — a comprehensive review of bioactive molecules and health benefits. *Molecules*, 28(2), Article 867. <https://doi.org/10.3390/molecules28020867>
- Calzuola, I., & Marsili, G. L. (2004). Synthesis of antioxidants in wheat sprouts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(16), 5201–5206. <https://doi.org/10.1021/jf0307752>
- Corrado, G., Pannico, A., Zarrelli, A., Kyriacou, M. C., De Pascale, S., & Roupheal, Y. (2022). Macro and trace element mineral composition of six hemp varieties grown as microgreens. *Journal of Food Composition and Analysis*, 114, Article 104750. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104750>
- Galieni, A., Falcinelli, B., Stagnari, F., Datti, A., & Benincasa, P. (2020). Sprouts and microgreens: Trends, opportunities, and horizons for novel research. *Agronomy*, 10(9), Article 1424. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091424>
- Ghoora, M. D., Haldipur, A. C., & Srividya, N. (2020). Comparative evaluation of phytochemical content, antioxidant capacities and overall antioxidant potential of select culinary microgreens. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, Article 100046. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100046>
- Dhaka, A. S., Dikshit, H. K., Mishra, G. P., Tontang, M. T., Meena, N. L., Kumar, R. R., Ramesh, S. V., Narwal, S., Aski, M., & Thimmegowda, V. (2023). Evaluation of growth conditions, antioxidant potential, and sensory attributes of six diverse microgreens species. *Agriculture*, 13(3), Article 676. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030676>
- Fortună, M.-E., Vasilache, V., Ignat, M., Silion, M., Vicol, T., Patraș, X., Miron, I., & Lobiuc, A. (2018). Elemental and macromolecular modifications in *Triticum aestivum* L. plantlets under different cultivation conditions. *PLoS ONE*, 13(8), Article e0202441. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202441>
- Islam, M. Z., Park, B.-Ju., & Lee, Yo.-T. (2019). Effect of salinity stress on bioactive compounds and antioxidant activity of wheat microgreen extract under organic cultivation conditions International. *Journal of Biological Macromolecules*, 140, 631–636. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.090>
- Islam, M. Z., Park, B.-Ju., Kang, Ho-M., & Lee, Yo.-T. (2020). Influence of selenium biofortification on the bioactive compounds and antioxidant activity of wheat microgreen extract. *Food Chemistry*, 309, Article 125763. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125763>
- Kaur, N., Singh, B., Kaur, A., Yadav, M. P., Singh, N., Ahlawat, A. K., & Singh, A. M. (2021). Effect of growing conditions on proximate, mineral, amino acid, phenolic composition and antioxidant properties of wheatgrass from different wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Food Chemistry*, 341, Article 128201. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128201>
- Koníčková, R., Vaňková, K., Vaníková, J., Váňová, K., Muchová, L., Subhanová, I., & Vítek, L. (2014). Anti-cancer effects of blue-green alga *Spirulina platensis*, a natural source of bilirubin-like tetrapyrrolic compounds. *Annals of Hepatology*, 13(2), 273–283. [https://doi.org/10.1016/s1665-2681\(19\)30891-9](https://doi.org/10.1016/s1665-2681(19)30891-9)
- Kulkarni, S. D., Tilak, J. C., Acharya, R., Rajurkar, N. S., Devasagayam, T. P. A., & Reddy, A. V. R. (2006). Evaluation of the antioxidant activity of wheatgrass (*Triticum aestivum* L.) as a function of growth under different conditions. *Phytotherapy Research*, 227, 218–227. <https://doi.org/10.1002/ptr.1838>
- Kuznetsova, E., Klimova, E., Bychkova, T., Zomitev, V., Motyleva, S., & Brindza, J. (2018). Alteration of biochemical parameters and microstructure of *Fagopyrum esculentum* Moench grain in process of germination. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1), 687–693. <https://doi.org/10.5219/932>
- Li, Ju., Guo, X., Zhang, S., Zhang, Yi., Chen, L., Zheng, W., & Xue, X. (2022). Effects of light quality on growth, nutritional characteristics, and antioxidant properties of winter wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 13, Article 978468. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.978468>
- Ling, A., Li, X., Hu, X., Ma, Zh., Wu, K., Zhang, H., Hao, M., & Wei, S. (2018). Dynamic changes in polyphenol compounds, antioxidant activity, and PAL gene expression in different tissues of buckwheat during germination. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), 5723–5730. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9119>

- Liska, D. J., Dioum, E., Chu, Y., & Mah, E. (2022). Narrative review on the effects of oat and sprouted oat components on blood pressure. *Nutrients*, *14*(22), Article 4772. <https://doi.org/10.3390/nu14224772>
- Melino, V. J., Soole, K. L., & Ford, C. M. (2009). Ascorbate metabolism and the developmental demand for tartaric and oxalic acids in ripening grape berries. *BMC Plant Biology*, *9*(1), 145. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-9-145>
- Niroula, A., Khatri, S., Timilsina, R., Khadka, D., Khadka, A., & Ojha, P. (2019). Profile of chlorophylls and carotenoids of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) microgreens. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(5), 2758–2763. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03768-9>
- Niroula, A., Amgain, N., Rashmi, K. C., Adhikari, S., & Acharya, J. (2021). Pigments, ascorbic acid, total polyphenols and antioxidant capacities in deetiolated barley (*Hordeum vulgare*) and wheat (*Triticum aestivum*) microgreens. *Food Chemistry*, *354*, Article 129491. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129491>
- Padalia, S., Drabu, S., Raheja, I., Gupta, A., & Dhamija, M. (2010). Multitude potential of wheatgrass juice (Green Blood): An overview. *Chronicles of Young Scientists*, *1*(2), 23–28.
- Peñaranda, J. D., Bueno, M., Álvarez, F., Pérez, P. D., & Perezábad, L. (2021) Sprouted grains in product development. Case studies of sprouted wheat for baking flours and fermented beverages. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, *25*, Article 100375. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100375>
- Pietrzak, M., Halicka, H. D., Wieczorek, Z., Wieczorek, J., & Darzynkiewicz, Z. (2008). Attenuation of acridine mutagen ICR-191 – DNA interactions and DNA damage by the mutagen interceptor chlorophyllin. *Biophysical Chemistry*, *135*(1–3), 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.bpc.2008.03.004>
- Samuolienė, G., Viršilė, A., Brazaitytė, A., Jankauskienė, J., Sakalauskienė, S., Vaštakaitė, V., Novičkovas, A., Viškeliene, A., Sasnauskas, A., & Pavelas, A. (2017) Duchovskis blue light dosage affects carotenoids and tocopherols in microgreens. *Food Chemistry*, *228*, 50–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.144>
- Sumanta, N., Haque, C. I., Nishika, J., & Suprakash, R. (2014). Spectrophotometric analysis of chlorophylls and carotenoids from commonly grown fern species by using various extracting solvents. *Research Journal of Chemical Sciences*, *4*, 63–69. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1340072>
- Teng, J, Liao, P., & Wang, M. (2021). The role of emerging micro-scale vegetables in human diet and health benefits-an updated review based on microgreens. *Food & Functional*, *12*(5), 1914–1932. <https://doi.org/10.1039/d0fo03299a>
- Zhang, Y., Xiao, Z., Ager, E., Konga, L., & Tan, L. (2021). Nutritional quality and health benefits of microgreens, a crop of modern agriculture. *Journal of Future Foods*, *1*(1), 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.07.001>
- Złotek, U., Szymanowska, U., Jakubczyk, A., Sikora, M., & Świeca, M. (2019). Effect of arachidonic and jasmonic acid elicitation on the content of phenolic compounds and antioxidant and anti-inflammatory properties of wheatgrass (*Triticum aestivum* L.). *Food Chemistry*, *288*, 256–261. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.124>

УДК 633.13:579.64:579.67

Фузариоз зерна овса и выявление антигенов токсинов в напитках на растительной основе

Л. Н. Харламова, М. Ю. Синельникова, Д. Ю. Матвеева

Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности, ВНИИ ПБиВП – филиал «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, г. Москва, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Харламова Лариса Николаевна
E-mail: harlara@yandex.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Харламова, Л.Н., Синельникова, М.Ю., & Матвеева, Д.Ю. (2023). Фузариоз зерна овса и выявление его в напитках на растительной основе. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 96-102. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.465>

ПОСТУПИЛА: 11.06.2023

ПРИНЯТА: 15.09.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

**АННОТАЦИЯ**

Введение: Напитки на растительном сырье, все больше становятся популярными не только как заменители животного молока, но и в качестве элемента правильного питания, особенно в сегменте функциональных напитков. Одним из популярных объектов сырья на российском рынке является овес. При использовании в производстве напитков, основным условием его применения является микологическая чистота, в частности отсутствие заражения грибами рода *Fusarium*. В России напитки на растительной основе довольно молодой продукт, который не имеет нормативные документы, регламентирующие показатели зараженности микроорганизмами готового продукта. Фузариоз зерна ведет не только к снижению урожайности злаков, но и значительно ухудшает его качественные характеристики. Проведены исследование по зараженности зерен овса пленчатых и голозерных форм, а также по содержанию антигенов *Fusarium* различных видов, характерных для зерновых культур, таких как *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. sambucinum*, *F. sporotrichioides*, *F. tricinctum*, *F. fujikuroi*, *F. subulutinans*, *F. verticillicides*, *F. avenaceum*, *F. equiseti*, *F. poae*, *F. Moniliforme* иммуноферментным методом в образцах промышленных напитков на растительной основе.

Цель: Выявление фузариоза в зерне овса и готовых растительных напитках с целью подтверждения качества и безопасности готовой продукции.

Материалы и методы: Объекты исследований: зерно овса пленчатой формы урожая 2021 года, выращенного в Ивановской области; зерно овса голозерной формы урожая 2021 года, выращенного в Тульской области; промышленные образцы растительных напитков из овса. Исследования были проведены по показателям: оценка зараженности фузариумом; определения антигенов видов *Fusarium* spp. иммуноферментным методом. Определение антигенов возбудителя фузариоза проводилось на автоматическом 8-канальном фотометре для иммуноферментного анализа Ledetect 96.

Результаты: Установлена степень зараженности грибами рода *Fusarium* зерна овса голозерной и пленчатой форм. Проведен анализ зараженности образцов промышленных напитков из растительного сырья методом иммуноферментного анализа. В исследуемых образцах не обнаружены антигены *Fusarium*.

Выводы: В качестве показателя безопасности для растительных напитков необходим контроль антигенов *Fusarium*.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

овес, фузариоз, зерно, напитки на растительной основе, антиген

Oat Grain Fusariosis and Identification of Toxin Antigens in Plant-based Drinks

Larisa N. Kharlamova, Marina Yu. Sinelnikova, Daria Yu. Matveeva

All-Russian Research Institute of the Brewing, Non-Alcoholic and Wine Industry – Branch of V. M. Gorbатов Federal Scientific Center for Food Systems of RAS, Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Larisa N. Kharlamova
E-mail: harlara@yandex.ru

FOR CITATIONS:

Kharlamova, L.N., Sinelnikova, M.Yu., & Matveeva, D.Yu. (2023). Oat grain fusariosis and identification of toxin antigens in plant-based drinks. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 96-102.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2023.465>

RECEIVED: 11.06.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background: Plant-based drinks are becoming increasingly popular not only as substitutes for animal milk, but also as an element of proper nutrition, especially in the segment of functional drinks. One of the popular raw materials on the Russian market is oats. When used in the production of beverages, the main condition for its use is mycological purity, in particular the absence of contamination with fungi of the genus *Fusarium*. In Russia, plant-based drinks are a fairly young product that does not have regulatory documents regulating the indicators of microorganism contamination of the finished product. *Fusarium* grain not only leads to a decrease in cereal yields, but also significantly worsens its quality characteristics. A study was conducted on the contamination of oat grains of filmy and naked forms, as well as on the content of *Fusarium* antigens of various species characteristic of grain crops, such as *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. sambucinum*, *F. sporotrichioides*, *F. tricinctum*, *F. fujikuroi*, *F. subulutinans*, *F. verticillicides*, *F. avenaceum*, *F. equiseti*, *F. poae*, *F. Moniliforme* by enzyme immunoassay in samples of industrial plant-based beverages.

Purpose: Detection of fusarium in oat grain and finished herbal drinks in order to confirm the quality and safety of the finished product.

Materials and Methods: Objects of research: filmy oat grain from the 2021 harvest, grown in the Ivanovo region; naked oat grain of the 2021 harvest, grown in the Tula region; industrial samples of herbal drinks made from oats. The studies were carried out according to the following indicators: assessment of *Fusarium* infestation; determination of antigens of *Fusarium* spp. enzyme immunoassay method. Determination of fusarium pathogen antigens was carried out using an automatic 8-channel photometer for enzyme immunoassay Ledetect 96.

Results: The degree of infection by fungi of the genus *Fusarium* of oat grains of naked and chaffy forms has been established. An analysis of the contamination of samples of industrial drinks from plant raw materials was carried out using the enzyme immunoassay method. No *Fusarium* antigens were detected in the samples studied.

Conclusion: Monitoring of *Fusarium* antigens is necessary as a safety indicator for herbal beverages.

KEYWORDS

oats, fusarium, grain, plant-based drinks, antigen

ВВЕДЕНИЕ

Овес — злаковая культура, занимающая в мировой статистике производства шестое место после пшеницы, кукурузы, риса, ячменя и сорго. Прогнозируется, что мировой рынок овса будет расти на 4,80% в течение прогнозируемого периода с 2022 по 2027 год¹. Высокие пищевые и кормовые качества, а также разнообразные возможности использования обуславливают значительный интерес к этой зерновой культуре. Пищевую ценность зерна определяет не только химический состав, соотношение питательных веществ, но состав, свойства и усвояемость белков (Mushtaq et al., 2014; Prasad et al., 2015). Белок овса превосходит белок пшеницы, ржи, ячменя, кукурузы, проса по качеству аминокислотного состава, имеет большую биологическую ценность. Он легко усваивается, так как его аминокислотный состав близок к физиологически необходимой норме (эталону) по данным FAO/ВОЗ, и может использоваться организмом для создания собственных белков (Шаболкина с соавт., 2020; Manzali et al., 2017). Также овес содержит высокий уровень витаминов, антиоксидантов и минералов, служат отличным источником β-глюкана (Premkumar et al., 2017; Decker et al., 2014).

Для безопасного потребления и для использования в качестве полезного ингредиента, овес должен контролироваться по зараженности грибами рода *Fusarium* и загрязнению микотоксинами (Lombert et al., 2003). Обилие и видовой состав микобиоты — важные факторы, определяющие качество зерна. Грибы рода *Fusarium* образуют токсичные вторичные метаболиты, способные негативно воздействовать на здоровье потребителей зерновой продукции. (Буркин с соавт., 2015). Грибы, возбудители фузариоза, способны поражать растения зерновых культур на протяжении всего онтогенеза — от семени до семени, начиная цикл с зараженного зерна или инфицированных растительных остатков, являющихся причиной корневой гнили и гибели проростков, и заканчивая аэрогенной инфекцией — причиной поражения при фузариозе колоса. В пораженных зернах уменьшается способность прорастания (Волкова, 2010).

На основании ранее полученных данных, которые считаются недостаточно достоверными, полагалось, что злак менее подвержен контаминации грибами рода *Fusarium*. Это связано с тем, что на зерне овса, в отличие от других злаковых, внешние проявления зараженности носят не столь яркий характер. (Martin et al., 2018). Но такой характер заболевания связан с особенностями биологического, биохимического и морфоанатомического строения овса. Соцветие овса — метелка, которая состоит из колосков с большими кроющими чешуйками, и цветение и созревание происходит в нисходящем порядке с верхних колосков. В метелке овса колоски расположены на концах многократно ветвящихся веточек на расстоянии, что значительно затрудняет распространение патогенов (Yan et al., 2010; Matsuyama et al., 2014)

Чаще всего овес поражает *Fusarium roae*, за ним следует *Fusarium graminearum*, *Fusarium avenaceum* выявляется реже. *Fusarium roae* относительно малотребователен к теплу и влажности и продуцирует микотоксин ниваленол, относящийся к трихотеценовой группе химических соединений (Гаврилова с соавт., 2021, Пирязева с соавт., 2016.). Распространение *Fusarium roae*, в сравнении с другими патогенами овса, не имеет четкого разъяснения, но именно этот патоген не образует скопление макроконидий, дающих узнаваемую розово-оранжевую окраску. Заражение *Fusarium roae* дает штриховатость и глазковую пятнистость колоскам чешуй, а также культуры гриба выделяют приторно-сладкий запах (Gordon, 1959; Pettersson & Olvang, 1997).

Фузариозный фитофтороз (ФНВ) может привести к резким потерям урожая и заражению микотоксинами мелких зерновых культур. В результате морфологического и молекулярного анализа канадскими учеными было обнаружено, что преобладающими видами фузариоза, поражающими овес, являются *F. roae*, за которыми следуют *F. graminearum*, *F. sporotrichioides*, *F. Avenaceum* и *F. culmorum*. Дезоксиниваленол (DON) и ниваленол (NIV), трихотецены типа В, были наиболее распространенными фузариозными микотоксинами, обнаруженными в овсе. Боверидин (BEA) также часто обнаруживался, хотя и в более низких концентрациях (Nazrul et al., 2021)

¹ Shahbandeh, M. (2023). *Oats production worldwide from 2015/2016 to 2022/2023*. <https://www.statista.com/aboutus/our-research-commitment/1239/m-shahbandeh>

Учеными выявлена зависимость интенсивности заражения голозерного овса грибами рода *Fusarium* от метеорологических условий в период роста и развития растений. Можно отметить, что при низких температурах воздуха и высокой влагообеспеченности вегетационного периода степень заражения семян грибными и бактериальными инфекциями увеличивается. (Исачкова, 2018).

Для овса характерно многополярное экзогенное первичное заражение колосков. А в поле фузариоз проявляется на единичных колосках, расположенных на концах разветвленных веточек соцветий. Выявлено, что у овса основная доля колосков и зерна в них, не подвергается видимым изменениям даже при наличии инфекции. Поэтому визуальный анализ поражения метелки в поле, и зерна овса мало информативен (Гагкаева & Гаврилова, 2011).

Целью представленного исследования являлось выявление фузариоза в зерне овса и готовых растительных напитках с целью подтверждения их качества и безопасности. Также важным аспектом исследования являлось исследование по наличию антигенов возбудителя фузариоза в готовых напитках, полученных из зерна, зараженного фузариозом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Объектами исследования являлись:

- (1) Образцы овса голозерной формы.
- (2) Образцы овса пленчатой формы.
- (3) Образцы растительных напитков из овса, приобретенные в торговой сети.

Оборудование

Определение антигенов *Fusarium* проводилось на автоматическом 8-канальном фотометре для иммуноферментного анализа Ledetect 96. Центрифугирование образцов растительных напитков проводилось на настольной мини-центрифуге Velocity 13-и. Микроскопирование образцов овса после инкубирования проводили на микроскопе MoticBA 300.

Методы

Оценка зараженности фузариумом

Цельные зерна инкубировали на твердой питательной среде CZID с добавлением фунгицидов, избирательно действующих на грибы, ограничивая скорость роста быстрорастущих грибов и создавая тем самым преимущества для развития колоний возбудителей фузариоза.

Иммуноферментный метод определения антигенов *Fusarium*

Основывается на количественном определении антигенов *Fusarium* различных видов, характерных для зерновых культур, таких как *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. sambucinum*, *F. sporotrichioides*, *F. tricinctum*, *F. fujikuroi*, *F. subalutinans*, *F. verticillidices*, *F. avenaceum*, *F. equiseti*, *F. poae*, *F. Moniliforme* образцах растительных напитков. Определение антигенов *Fusarium* основано на использовании «сэндвич»-варианта твердофазного иммуноферментного анализа.

Процедура исследования

Оценка зараженности овса фузариумом

Готовили полную среду CZID и разливали по чашкам Петри. Затем раскладывали 100 зерен в чашки Петри, подвергнутые поверхностной стерилизации 1 % раствором гипохлорита натрия, для выявления внутренней микрофлоры. Остальные 100 зерен, подвергали инкубации для выявления наружной микрофлоры без стерилизации. Инкубацию проводили в течении 7 дней с режимом дневной свет/УФ с $\lambda = 360$ нм фотопериодом 12 часов.

Иммуноферментный метод определения антигенов *Fusarium*

На внутренней поверхности лунок планшета иммобилизованы антитела к *Fusarium*. При добавлении исследуемого образца, происходило связывание антител с антигенами из образца. Полученный комплекс выявляется с помощью конъюгата, меченного пероксидазой антигена. В результате образовывался связанный с пластиком «сэндвич», содержащий пероксидазу. Во время инкубации с субстратным раствором тетраметилбензида (ТМБ) происходило окрашивание растворов в лунках. Интенсив-

ность окраски прямо пропорциональна концентрации антигенов *Fusarium* в исследуемом образце.

В полученных окрашенных растворах измеряли величину оптической плотности на спектрофотометре при длине волны 450 нм.

Анализ данных

Оценка зараженности фузариумом

Результаты выражали, как долю в процентах зерен, зараженных фузариозом. Из двух вариантов — с предварительной поверхностной стерилизацией зерен и без нее — учитывали больший.

Иммуноферментный метод определения антигенов *Fusarium*

Полученные значения оптической плотности обрабатывали с помощью ПО RIDASOFT Win.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее, рядом авторов, были проведены исследования по зараженности овса фузариозом, что было подтверждено нами в результате микологического анализа. При этом, влияние использования за-

раженного зерна на качество напитков на растительной основе не проводились. Это связано с тем, что данный тип напитков появился сравнительно недавно, а нормативная документация на него была разработана впервые только в 2023 году.

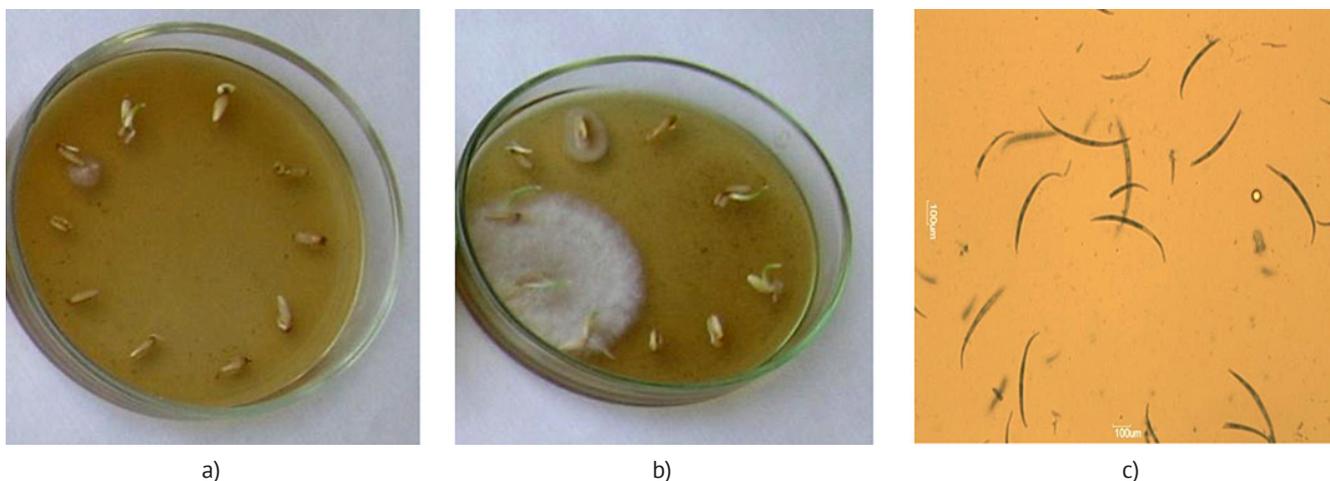
Были проведены микологические исследования 11 образцов овса различных форм, из них 5 образцов пленчатого и 6 образцов голозерного. Данные эксперимента представлены на Рисунке 1.

В результате исследования в двух образцах пленчатого овса было выявлено заражение грибами, один образец голозерного овса также имел слабые признаки зараженности грибом *Fusarium*. Остальные исследуемые образцы не имели признаков заражения. Следует также отметить, что голозерная форма овса имеет более высокие показатели устойчивости к фузариозу по сравнению с пленчатым (Лоскутов с соавт., 2016).

Из исследуемого зерна, зараженного фузариозом, в лабораторных условиях были приготовлены напитки. Во всех напитках были обнаружены антигены возбудителя фузариоза, что подтверждает возможность перехода возбудителей фузариума из зерна в готовую продукцию. Также следует отметить, что исследуемые образцы имели низкую органолептическую оценку, что говорит о влиянии исследуемого гриба не только на безопасность, но и на качественные характеристики готовой про-

Рисунок 1

Наличие зараженности фузариумом



Примечание: а) голозерной формы овса, б) пленчатой формы овса; с) Микропрепарат спор возбудителя фузариоза на пленчатой форме овса

дукции. Так как сырье для изготовления напитков подвержено заражению фузариозом, нами были проведены исследования по содержанию антигенов *Fusarium* иммуноферментным методом в семи образцах напитков на растительной основе, приобретенных в торговой сети. Согласно полученным данным, ни в одном исследуемом напитке из растительного сырья не были выявлены антигены фузариоза, характерные для зернового сырья, используемого при их производстве. Результаты говорят о том, что в исследованных напитках использовалось сырье, без признаков поражения фузариозом.

ВЫВОДЫ

Согласно целям исследования данной работы, проведенные исследования показали, что зерно овса может быть заражено грибом *Fusarium*, следовательно, необходимо контролировать безопасность зерна овса, даже если при использовании овса цветковые чешуи удаляются, что безусловно, снижает количество микотоксинов в готовой продукции. При этом следует отметить, что в процессе хранения зерна, при возникновении благоприятных условий для развития грибов вида *Fusarium*, инфекция с чешуей может легко перейти на саму зерновку и продолжить развитие, которая в свою очередь, приводит к заражению.

Проведенные исследования по наличию антигенов возбудителя фузариоза в готовых напитках, полученных из зерна, зараженного фузариозом, показали, что данное заболевание овса отражается как на безопасности, так и на качестве готовой продукции. В образцах, закупленных в торговой сети, не были обнаружены антигены токсинов фу-

зариоза. Исходя из результатов проведенных исследований, можно сделать вывод, что зараженность растений овса грибами и опасность высокого содержания микотоксинов требуют постоянного наблюдения за состоянием зернового сырья и продуктов его переработки с целью получения безопасных напитков. Проведенные исследования отличались комплексным подходом к проблеме, а также использованием новых методов идентификации не только готового продукта, но и сырья.

Дальнейшие работы направлены на изучение и контроль сырья, а также полученной из него продукции не только овса, а всего спектра зернового сырья в РФ.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Харламова Лариса Николаевна: концептуализация; создание модели исследования; проведение исследования; верификация данных; создание черновика и редактирование рукописи; визуализация; ресурсное обеспечение.

Синельникова Марина Юрьевна: концептуализация; создание модели исследования; проведение исследования; верификация данных; создание черновика и редактирование рукописи; визуализация; ресурсное обеспечение.

Матвеева Дарья Юрьевна: концептуализация; создание модели исследования; проведение исследования; верификация данных; создание черновика и редактирование рукописи; визуализация; ресурсное обеспечение.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Буркин, А. А., Кононенко, Г. П., Гаврилова, О. П., & Гагкаева, Т. Ю. (2015). Микотоксикологическое обследование зерна овса и продуктов его переработки. *Современная микология в России*, (5), 221–223.
- Burkin, A. A., Kononenko, G. P., Gavrilova, O. P., & Gagkaeva, T. Yu. (2015). Mycotoxicological examination of oat grain and its processed products. *Modern Mycology in Russia*, (5), 221–223. (In Russ.)
- Волкова, Т. Н. (2010). Оценка зараженности зерна ячменя и солода плесневыми грибами. *Пиво и напитки*, (2), 26–32.
- Volkova, T. N. (2010). Assessment of contamination of barley and malt grains with mold fungi. *Beer and Drinks*, (2), 26–32. In Russ.)
- Гаврилова, О. П., Гагкаева, Т. Ю., Орина, А. С., Маркова, А. С., Кабашов, А. Д., & Лоскутов, И. Г. (2021). Характеристика устойчивости селекционных линий овса к заражению *Fusarium langsethiae* и накоплению Т-2/НТ-2 токсинов. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 25(7), 732–739. <https://doi.org/10.18699/VJ21.083>
- Gavrilova, O. P., Gagkaeva, T. Yu., Orina, A. S., Markova, A. S., Kabashov, A. D., & Loskutov, I. G. (2021). Characteristics

- of resistance of oat breeding lines to *Fusarium langsethiae* infection and accumulation of T-2/HT-2 toxins. *VVavilov Journal of Genetics and Breeding*, 25(7), 732–739. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/VJ21.083>
- Гагкаева, Т. Ю., & Гаврилова, О. П. (2011). Особенности поражения овса фузариозом (обзор). *Сельскохозяйственная биология*, (6), 3–4.
- Gagkaeva, T. Yu., & Gavrilova, O. P. (2011). Features of the defeat of oats with fusarium (review). *Agricultural Biology*, (6), 3–4. (In Russ.)
- Исачкова, О. А. (2018). Устойчивость голозерного овса к семенной инфекции. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*, (2), 11–16. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2018-2-2>
- Isachkova, O. A. (2018). Resistance of naked oats to seed infection. *Siberian Bulletin of Agricultural Science*, (2), 11–16. (In Russ.) <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2018-2-2>
- Лоскутов, И. Г., Блинова, Е. В., Гаврилова, О. П., & Гагкаева, Т. Ю. (2016). Разнообразие культурного овса по хозяйственно ценным признакам и их связь с устойчивостью к фузариозу. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 20(3), 286–294. <https://doi.org/10.18699/VJ16.151>
- Loskutov, I. G., Blinova, E. V., Gavrilova, O. P., & Gagkaeva, T. Yu. (2016). The diversity of cultivated oats according to economically valuable characteristics and their relationship with resistance to fusarium. *VVavilov Journal of Genetics and Breeding*, 20(3), 286–294. (In Russ.) <https://doi.org/10.18699/VJ16.151>
- Пирязева, Е. А., Кононенко, Г. П., & Буркин, А. А. (2016). Пораженность грубых кормов токсинообразующими грибами рода *Fusarium*. *Сельскохозяйственная биология*, (6), 937–945. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.6.937rus>
- Piryazeva, E. A., Kononenko, G. P., & Burkin, A. A. (2016). The infestation of coarse feeds with toxin-forming fungi of the genus *Fusarium*. *Agricultural Biology*, (6), 937–945. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.6.937rus>
- Шаболкина, Е. Н., Шевченко, С. Н., Баталова, Г. А., Васин, А. В., Анисимкина, Н. В., & Бишарев, А. А. (2020). Изучение биологической ценности белка зерна овса голозерного. *Зернобобовые и крупяные культуры*, (2), 78–83. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11173>
- Shabolkina, E. N., Shevchenko, S. N., Batalova, G. A., Vasin, A. V., Anisimkina, N. V., & Bisharev, A. A. (2020). The study of the biological value of the protein of the grain of naked oats. *Legumes and Cereals*, (2), 78–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11173>
- Decker, E. A., Rose, D. J., & Stewart, D. (2014). Processing of oats and the impact of processing operations on nutrition and health benefits. *British Journal of Nutrition*, 112(S2), 58–64. <https://doi.org/10.1017/s000711451400227x>
- Gordon, W. L. (1959). The occurrence of *Fusarium* species in Canada: VI. Taxonomy and geographic distribution of *Fusarium* species on plants, insects and fungi. *Canadian Journal of Botany*, 37(2), 257–290. <http://dx.doi.org/10.1139/b59-021>
- Lombert, G. A., Pellers, P., Roscoe, W., Mancotia, M., Neal, R., & Scott, P. M. (2003). Mycotoxins in infant food cereals in the Canadian retail market. *Food Additives & Contaminants*, 20(5), 494–504. <https://doi.org/10.1080/0265203031000094645>
- Manzali, R., Antari, A., Douaik, A., Taghouti, M., Benchekroun, M., Bouksaim, M., & Saidi, N. (2017). Profiling of nutritional and health-related compounds in developed hexaploid oat lines derivative of interspecific crosses. *International Journal of Celiac Disease*, 5(2), 72–76. <https://doi.org/10.12691/IJCD-5-2-6>
- Martin, C., Schöneberg, T., Vogelgsang, S., Mendes Ferreira, C. S., Morisoli, R., Bertossa, M., Bucheli, T. D., Mauch-Mani, B., & Mascher, F. T. (2018). Responses of Oat Grains to *Fusarium poae* and *F. langsethiae* Infections and Mycotoxin Contaminations. *Toxins*, 10(1), Article 47. <https://doi.org/10.3390/toxins10010047>
- Matsuyama, H., Shimazaki, Y., Ohshita, Y., & Watanabe, Y. (2014). Varietal difference in lodging resistance and Culm characteristics of wheat. *Japan Journal of Crop Science*, 83(2), 136–142. <https://doi.org/10.1626/jcs.83.136>
- Mushtaq, A., Gul-Zaffar, Dar, Z. A., & Mehfuza, H. (2014). A review on Oat (*Avena sativa* L.) as a dual-purpose crop. *Scientific Research and Essays*, 9(4), 52–59. <https://doi.org/10.5897/SRE2014.5820>
- Nazrul Islam, M., Tabassum, M., Banik, M., Daayf, F., Fernando, D., Harris, L., Sura, S., & Xiben, W. (2021). Naturally occurring fusarium species and mycotoxins in oat grains from Manitoba, Canada. *Toxins*, 13(9), Article 670. <https://doi.org/10.3390/toxins13090670>
- Pettersson, H., & Olvang, H. (1997). Trichothecene production by *Fusarium poae* and its ecology. *Sydowia, Special Issue*, 1997, 217–218.
- Prasad, R., Alok, J., Latha S., Arvind, K., & Unnikrishnan, V. S. (2015). Nutritional advantages of oats and opportunities for its processing as value added foods — a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 662–675. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1072-1>
- Premkumar, R., Nirmalakumari, A., & Anandakumar, C. R. (2017). Studies on Genetic Variability and Character Association among Yield and Yield Attributing Traits in Oats (*Avena sativa* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(11), 4075–4083. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.477>
- Yan, W., Fregeau — Reid, J., Rioux, S., Pageau, D., Xue, A., Martin, R., Fedak, G., De Haan, B., Lajeunesse, J., & Savard, M. (2010). Response of oat genotypes to *Fusarium* head blight in Eastern Canada. *Crop Science*, 50(1), 134–142. <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.03.0129>

УДК 637.181

Влияние компонентов рецептуры на технические характеристики кедрового напитка

Сибирский федеральный научный центр агробихотехнологий Российской академии наук, р.п. Краснообск, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Мазалевский Виктор Борисович
E-mail: mazalevskiyvb@sfsca.ru

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

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Мазалевский, В.Б. (2023). Влияние компонентов рецептуры на технические характеристики кедрового напитка. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 102-114.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2023.419>

ПОСТУПИЛА: 04.02.2023

ПРИНЯТА: 15.09.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



В. Б. Мазалевский

АННОТАЦИЯ

Введение: Для людей с ограничениями к употреблению молока, разработан ряд так называемых аналогов молока. Это соевое, миндальное, рисовое, кокосовое, овсяное и т.д. Одним из перспективных видов растительного сырья для получения заменителей молока являются кедровые орехи. Существующие кедровые виды заменителей молока не сбалансированы по составу основных компонентов и имеют органолептические недостатки, такие как недостаточно выраженный вкус, запах, водянистая консистенция. Данное исследование направлено на устранение этих недостатков.

Цель: Исследование влияния гидромодуля и соотношения компонентов рецептуры на технические характеристики кедрового напитка.

Методы: Массовые доли влаги, жира, белка, сахаров, клетчатки, золы определяли соответственно методами высушивания, экстракции, Кьельдаля, Бертрена, Геннеберга и Штомана, сжигания. Исследование микроструктуры проводилось с использованием микроскопа Carl Zeiss Stereo Discovery V8 (Германия) с камерой Axio Cam ICc 5 (Германия) и программным обеспечением ZEN2. Исследование вязкости проводилось с использованием вибровискозиметра AND SV-1A. Результаты испытаний статистически обрабатывались с помощью MS Excel.

Результаты: В напитке из ядра кедрового ореха при увеличении гидромодуля с 4 до 7 ед., содержание воды увеличивалось с 80,6 % до 87,9 %, в напитке из жмыха кедрового ореха с 81,0 % до 88,1 %. Анализ полученных данных свидетельствует, что оптимальным является значение гидромодуля 7 ед. Показано, что для получения кедрового напитка с хорошими органолептическими показателями необходимо соблюдать баланс между жиром и белком, используя для этого в качестве сырья смесь из ядра и жмыха кедрового ореха. Исследовали напитки из смесей ядра и жмыха с массовой долей жмыха 0,2–0,8 ед. и гидромодулем 7 ед. Вязкость напитков из смесей ядра и жмыха увеличивалась с 2,18 до 3,96 мПа·с, содержание белка с 2,7 до 3,7 %, углеводов с 2,8 до 3,8 %, жира уменьшалось с 6,3 до 3,9 %, соотношение жир/белок с 1,83 до 1,06 ед.

Выводы: Приготовление кедрового напитка из смеси ядер и жмыха кедрового ореха при массовой доле жмыха 0,8 ед. приводит к формированию напитка с выраженным вкусом и запахом и умеренно вязкой консистенцией без ощущения водянистости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ядро кедрового ореха, жмых кедрового ореха, *Pinus sibirica*, кедровый напиток, механоакустический гомогенизатор, гидромеханическое диспергирование

Influence of the Recipe Components on the Technical Characteristics of the Pine Nuts and Oil Cake Beverages

Siberian Federal Research Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences (SFSCA RAS), Krasnoobsk, Russian Federation

Viktor B. Mazalevskiy

CORRESPONDENCE:

Viktor B. Mazalevskiy

E-mail: mazalevskiyvb@sfsca.ru

FOR CITATIONS:

Mazalevskiy, V.B. (2023). Influence of the recipe components on the technical characteristics of the pine nuts and oil cake beverages. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 102-114. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.419>

RECEIVED: 04.02.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction: For people with milk restrictions, a number of so-called milk analogues have been developed. These are soya milk, almond milk, rice milk, coconut milk, oat milk, etc. One of the promising types of plant raw materials for obtaining milk replacers is pine nuts. Existing pine kinds of milk replacers are not balanced in composition of the main components and have organoleptic drawbacks.

Purpose: Study of the effect of hydromodule and the ratio of the components of the formulation on the technical characteristics of pine nuts beverage.

Materials and Methods: To determine the physico-chemical and organoleptic characteristics were used standard methods according to the methods and regulations. Microstructure was studied using a Carl Zeiss Stereo Discovery V8 microscope (Germany) with an Axio Cam ICc 5 camera (Germany) and ZEN2 software. Viscosity studies were carried out using an AND SV-1A vibro-viscosimeter. Test results were statistically processed using MS Excel.

Results: In the pine nut kernel drink the water content increased from 80,6% to 87,9%, in the pine nut cake drink it increased from 81,0% to 88,1% by increasing the hydromodule from 4 to 7 units. The analysis of the received data testifies that the optimum value of hydromodule is 7 units. It was shown that in order to obtain a pine beverage with good organoleptic characteristics it is necessary to use a mixture of pine nut kernel and pine nut cake as raw material. Beverages from mixtures of kernel and cake with a mass fraction of cake of 0.2–0.8 units and a hydromodule of 7 units were studied. Viscosity of the drinks from kernel and oilcake mixtures increased from 2,18 to 3,96 mPa · s, protein content increased from 2,7 to 3,7%, carbohydrate content from 2,8 to 3,8%, fat content decreased from 6,3 to 3,9%, fat/protein ratio from 1,83 to 1,06.

Conclusion: Preparation of a pine beverage from a mixture of pine nut kernels and pine nut cakes at a mass fraction of cakes of 0.8 units leads to formation of a beverage with a pronounced taste and smell and a moderately viscous consistency.

KEYWORDS

pine nut kernel, pine nut cake, *Pinus sibirica*, pine beverage, mechanoacoustic homogenizer, hydromechanical dispersion

ВВЕДЕНИЕ

Коровье молоко — это ценный продукт питания, содержащий полезные для человека нутриенты. Однако люди с наличием непереносимости лактозы, повышенным холестерином, страдающие аллергиями или ведущие веганский образ жизни, ограничены в употреблении молока. Для таких случаев разработан ряд альтернативных молоку продуктов. Это соевое, фасоловое, арахисовое, миндальное, рисовое, кокосовое, овсяное, конопляное и т.д. (Егорова, 2018а; Егорова, 2018б; Grant & Hicks, 2018; Udayarajan et al., 2022).

Несмотря на то, что напитки на растительной основе завоевывают все большую популярность на рынке продуктов питания и считаются здоровыми альтернативами продуктам, традиционно изготавливаемым из молока, содержание питательных веществ в этих напитках варьируется, например, они имеют более низкое содержание белка по сравнению с молоком, за исключением продуктов на основе сои (Jonas da Rocha Esperança et al., 2022). Следовательно, использование этих напитков в качестве заменителя молока может быть рискованным, особенно если их давать детям, нуждающимся в диете с высоким содержанием белка. Тем не менее они содержат другие полезные для здоровья соединения, которых нет в молоке, такие как пищевые волокна и антиоксиданты (Patra et al., 2021, Silva et al., 2020).

Одним из перспективных видов растительного сырья для получения напитков альтернативных молоку являются кедровые орехи. Заготовка кедровых орехов населением восточных районов России для собственных нужд имеет давнюю историю. Ввод в эксплуатацию Сибирской железной дороги позволил начать их скупку и вывоз за пределы Сибирского региона. По данным за 1899–1908 гг., в среднем в год со всех станций Сибирской железной дороги вывозилось более 3900 т кедрового ореха, из которых 435–450 т затем отправлялось за границу.¹ Россия является одним из лидеров по объемам экспорта кедровых орехов и занимает третье место после Китая и Пакистана. Основные импортеры российских кедровых орехов — Китай, Казахстан, Германия, Великобритания и Белоруссия (Гайдин & Бурмакина, 2016; Карагодин & Юрина, 2017).

Кедровые орехи происходят из рода сосны, и в настоящее время известно 29 съедобных видов. Наиболее часто потребляемые кедровые орехи относятся к видам *Pinus koraiensis* (сосна корейская), *P. sibirica* (сосна сибирская), *P. pinea* (сосна кедровая) и *P. gerardiana* (сосна чилгоза) (Baker et al., 2021). Кедровые орехи едят в сыром виде и используют в кулинарии в разных частях мира, поскольку они содержат значительное количество полезных нутриентов (Хантургаев с соавт., 2019; Некрасова с соавт., 2020). Орехи также можно использовать для производства масла (Dyshluk et al., 2018). Это кедровое масло богато разнообразными необычными дельта-5-непрерывными метиленовыми жирными кислотами, которые отличаются по структуре от других полиненасыщенных жирных кислот и характерны для семян голосеменных растений. Эти жирные кислоты включают пиноленовую кислоту (все цис-5,-9,-12 18:3), сциадоновую кислоту (все цис-5,-11,-14 20:3) и таксолеиновую кислоту (все -5,-9 18:2). Пиноленовая кислота является наиболее распространенной из них в кедровом масле, составляя 14–19% от общего количества жирных кислот. Сообщалось, что пиноленовая кислота обладает биологической активностью, включая противовоспалительное действие (Baker et al., 2020; Chen et al., 2020; Zhang et al., 2019).

Масло кедрового ореха проявляет также антимикробную активность, является пребиотиком, антиоксидантными свойствами, антигипертензивной активностью, что позволяет использовать его в качестве биологически активной добавки к пище, а также для диетического, лечебного, профилактического и спортивного питания (Efremov et al., 2020; Prosekov et al., 2018; Xie et al., 2016; Yang et al., 2017; Zhang et al., 2018; Ефанов, 2021; Наумова с соавт., 2018).

Ядро кедрового ореха (*Pinus sibirica*) содержит (в % на абсолютно сухое вещество) 60,6–70,5% липидов, 14,9–21,6% белков, 17,3–18,7% углеводов, в том числе 14,2–15,1% полисахаридов, 2,2–4,5% легкогидролизуемых сахаров. Соотношение компонентов в составе орехов меняется в определенных пределах в зависимости от погодных условий сбора урожая орехов и районирования кедровых сосен. В состав белков входят 18 аминокислот,

¹ ГАКК. Ф. Р-962. (2016). *Всесоюзный трест кедровой промышленности по заготовке и реализации кедрового ореха Народного комиссариата снабжения*. Оп. 1. Д. 18.

в том числе 8 незаменимых, среди которых лимитирующей является триптофан. Также обнаружено значительное количество аминокислот, относящихся к заменимым лишь условно, так как в достаточной степени организмом человека они не синтезируются, — аргинин, тирозин и гистидин (Babich et al., 2017; Егорова & Позняковский, 2010). Ядро кедрового ореха содержит приблизительно в три раза больше жира, чем белка, что создает необходимость введения в технологию производства напитков из ядра кедрового ореха регулирования соотношения жир/белок, как это осуществляется в технологии молочных продуктов. В настоящее время при исследовании способов получения кедрового напитка в основном используют как метод механического измельчения с последующей водной экстракцией², так и метод гидромеханического диспергирования (Ульянов с соавт., 2011), а также экстрагирование с использованием ультразвукового воздействия (Егорова, 2018а). Однако обычно для исследований используется либо ядро, либо жмых кедрового ореха, что приводит к несбалансированному химическому составу напитка и как следствие к органолептическим недостаткам. На качество кедрового напитка влияют разнообразные факторы, в том числе технологические параметры, обусловленные типом используемого оборудования, такие как температура, продолжительность обработки, давление, мощность ультразвука и другие.

Цель данного исследования — изучить влияние гидромодуля и соотношения компонентов рецептуры на технические характеристики кедрового напитка. В соответствии с поставленной целью определены задачи исследования: (1) исследовать химический состав сырья: ядра и жмыха кедрового ореха; (2) определить гидромодуль для производства кедрового напитка; (3) исследовать влияние соотношения компонентов рецептуры на физико-химические, органолептические показатели и микроструктуру кедрового напитка; (4) оценить микробиологическую безопасность готового продукта при хранении. Гипотеза исследования предполагает зависимость характеристик кедрового напитка от соотношения компонентов рецептуры.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Объект исследований — напитки из ядер и жмыха кедрового ореха (семян сосны кедровой сибирской — *Pinus sibirica Du Tour*), полученные методом гидромеханического диспергирования. В рамках данной работы напитки из ядер и жмыха кедрового ореха представляют собой продукты, изготовленные из ядер и/или жмыха кедрового ореха и подготовленной питьевой воды, обладающие жидкой консистенцией. Качество напитков регламентируется ГОСТ Р 70650–2023³, согласно которому они относятся к напиткам на растительной основе ореховым пастеризованным. Ядро и жмых кедрового ореха были куплены на рынке. Орехи из которых были получены ядра и жмых собраны в Томской области, Алтайском крае и республике Бурятия, для получения напитков использовали смесь. Жмых кедрового ореха — продукт полученный путем холодного прессования сушеного ядра кедрового ореха.

Оборудование

В процессе работы использовано следующее оборудование: аппарат Кьельдаля (Россия), весы аналитические OHAUS (Япония), гомогенизатор HG-15F-Set (Корея), магнитная мешалка Biosan MSH-300 (Латвия), настольный измеритель pH Ohaus Starter 2100 (Китай), плита программируемая ПЛП-03 НПП «Томьаналит» (Россия), холодильник Medicool Sanyo (Япония), шкаф сушильный ШС-80 (Россия), муфельная печь SNOL (Литва), МАГ-50 (Россия), микроскоп Carl Zeiss Stereo Discovery V8 (Германия) с камерой Axio Cam ICs 5 (Германия), вибровискозиметр AND SV-1A (Япония).

Инструменты

Для обработки микрофотографий использовалась программа ZEN, статистическая обработка результатов испытаний проводилась с помощью MS Office Excel.

² Кущин, А. А., & Федотов, В. А. (2007). Патент РФ № 2311037. Способ получения кедрового молока. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности.

³ ГОСТ Р 70650–2023. (2023). Напитки на растительной основе (из зерна, орехов, кокоса). Общие технические условия. М.: Стандартинформ.

Методы

В исследуемых образцах ядра, жмыха, напитков из ядер и/или жмыха кедрового ореха определяли: массовые доли влаги, жира, белка, сахаров, клетчатки, золы согласно методам, регламентируемым, соответственно ГОСТ Р 54668–2011 «Молоко и продукты переработки молока. Методы определения массовой доли влаги и сухого вещества»⁴, ГОСТ 5867–90 «Молоко и молочные продукты. Методы определения жира»⁵, ГОСТ 34454 «Производство молочной. Определение массовой доли белка методом Кьельдаля»⁶, ГОСТ Р 54667–2011 «Молоко и продукты переработки молока. Методы определения массовой доли сахаров»⁷, ГОСТ 31675–2012 «Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации»⁸; ГОСТ 10847–2019 «Зерно. Методы определения зольности»⁹. Описательную характеристику органолептических показателей напитков из ядер и/или жмыха кедрового ореха осуществляли согласно ГОСТ 31450–2013 Молоко питьевое. Технические условия¹⁰. Содержание (или наличие) плесеней и дрожжей, мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, патогенных микроорганизмов (в т.ч. сальмонелл), бактерий группы кишечных палочек — соответственно согласно ГОСТ 10444.12–2013 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов»¹¹, ГОСТ 10444.15–94 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов»¹², ГОСТ 31659–2012 «Про-

дукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*»¹³, ГОСТ 31747–2012 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)»¹⁴.

Процедура исследования

На первом этапе исследовали химический состав сырья — ядра и жмыха кедрового ореха для получения исходных данных подбора соотношений между компонентами рецептуры.

На втором этапе получали напитки из ядра и напитки из жмыха с разными значениями гидромодуля для определения массовой доли влаги в напитке, обеспечивающей приемлемые органолептические и физико-химические и показатели.

На третьем этапе получали напитки из смеси ядра и жмыха кедрового ореха для определения соотношения жир/белок. Исследовали физико-химические, органолептические и микроструктуру напитков.

На четвертом этапе проводили исследования микробиологической безопасности кедрового напитка в процессе хранения при 2–6 °С.

Производство напитков из ядер и/или жмыха кедрового ореха осуществляли путем проведения следующих технологических операций: подготовка сырья (инспекция, просеивание); пастеризация и гомогенизация смеси (ядра кедрового

⁴ ГОСТ Р 54668–2011. (2011). *Молоко и продукты переработки молока. Методы определения массовой доли влаги и сухого вещества*. М.: Стандартинформ.

⁵ ГОСТ 5867–90. (2011). *Молоко и молочные продукты. Методы определения жира*. М.: Стандартинформ.

⁶ ГОСТ 34454–2018. (2018). *Производство молочной. Определение массовой доли белка методом Кьельдаля*. М.: Стандартинформ.

⁷ ГОСТ Р 54667–2011. (2011). *Молоко и продукты переработки молока. Методы определения массовой доли сахаров*. М.: Стандартинформ.

⁸ ГОСТ 31675–2012. (2012). *Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации*. М.: Стандартинформ.

⁹ ГОСТ 10847–2019. (2019). *Зерно. Методы определения зольности*. М.: Стандартинформ.

¹⁰ ГОСТ 31450–2013. (2013). *Молоко питьевое. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

¹¹ ГОСТ 10444.12–2013. (2013). *Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов*. М.: Стандартинформ.

¹² ГОСТ 10444.15–94. (2012). *Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов*. М.: Стандартинформ.

¹³ ГОСТ 31659–2012. (2012). *Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella**. М.: Стандартинформ.

¹⁴ ГОСТ 31747–2012. (2012). *Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)*. М.: Стандартинформ.

ореха/вода — 1/4–1/7, жмых кедрового ореха/вода 1/4–1/7, смесь ядра и жмыха кедрового ореха с массовой долей жмыха 0,2; 0,4; 0,6 и 0,8 ед./вода — 1/7) в механоакустическом гомогенизаторе МАГ-50 при 2900 об/мин при увеличении температуры с 25 до 67 °С в течение 25 мин и выдержке при (65 ± 2) °С в течение 20 мин; фасование; охлаждение до температуры 16–25 °С; хранение при 2–6 °С. Выбор пределов исследования гидромодуля основан на предварительной оценке консистенции напитков, при соотношении ядра кедрового ореха/вода — 1/4–1/7, жмых кедрового ореха/вода 1/4–1/7 (гидромодуле 4–7), при гидромодуле ниже 4 напиток обладал густой консистенцией, выше 7 излишне жидкой. Фасовка напитка из ядер и/или жмыха кедрового ореха осуществлялась в банки (емкостью 0,2 дм³) с крышками из полипропилена неокрашенные, соответствующие требованиям ГОСТ 33756–2016 «Упаковка потребительская полимерная. Общие технические условия»¹⁵.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для достижения поставленной в исследовании цели — изучить влияние гидромодуля и соотношения компонентов рецептуры на технические характеристики кедрового напитка — необходимо исследовать характеристики кедрового сырья — ядра и жмыха кедрового ореха и характеристики напитков. В связи с этим данная секция разбита на следующие тематические блоки: исследование химического состава ядра и жмыха кедрового ореха, исследование напитков из ядра и напитков из жмыха кедрового ореха, исследование напитков из смеси ядра и жмыха кедрового ореха, исследование микробиологических показателей кедрового напитка.

Исследование химического состава ядра и жмыха кедрового ореха

Химический состав кедровых орехов зависит от различных факторов, например, от места произрастания, погодных условий и т.д. Химический состав жмыха кедрового ореха также может быть различным и зависит, например, от прессующего

оборудования. Так используемый Наумовой Н.Л. (2018) кедровый жмых содержал 20,8 % белка и 54,2 % жира, чем мало отличался от химического состава ядра кедрового ореха, исследованного в данной работе (см. Таблица 1), которое содержало приблизительно в три раза больше жира, чем белка. При выработке кедрового напитка из ядра кедрового ореха, это соотношение сохраняется, обуславливая высокую калорийность продукта. При холодном прессовании ядра кедрового ореха происходит удаление значительного количества масла, а в остающемся жмыхе изменяется соотношение между компонентами. В 100 г жмыха белка и углеводов в 1,3 раза больше, чем жира.

Таблица 1
Химический состав сырья ($n = 3$), %

Компоненты	Ядро	Жмых
Белки	18,6 ± 0,3	32,2 ± 0,3
Жиры	56,6 ± 0,7	24,8 ± 0,5
Углеводы, в том числе:	19,4 ± 0,4	32,8 ± 0,4
Сахара	4,8 ± 0,3	7,4 ± 0,4
Клетчатка	3,5 ± 0,3	5,4 ± 0,3
Вода	2,9 ± 0,3	4,9 ± 0,4
Зола	2,44 ± 0,24	5,22 ± 0,21
Активная кислотность, ед. рН	6,5 ± 0,1	6,5 ± 0,1

Сравнение химического состава ядра и жмыха показывает, что в ядре жира в 2,3 раза больше, чем в жмыхе, а в жмыхе белка в 1,7 раза больше, чем в ядре, в жмыхе по сравнению с ядром увеличивается также содержание воды в 1,7 раза, клетчатки в 1,5 раза и золы в 2,1 раза. Белки и клетчатка способны взаимодействовать с водой, чем объясняется увеличение содержания воды при выдавливании жира и концентрировании гидрофильных веществ. Активная кислотность жмыха такая же как в ядре.

Исследование напитков из ядра и напитков из жмыха кедрового ореха

Изготовленные при гидромодуле 4–7 напитки из ядра и напитки из жмыха исследовали на содержание массовой доли воды (см. Рисунок 1), белка, жира, углеводов (см. Рисунок 2).

¹⁵ ГОСТ 33756–2016. (2016). *Упаковка потребительская полимерная. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

Рисунок 1

Массовая доля воды в напитках

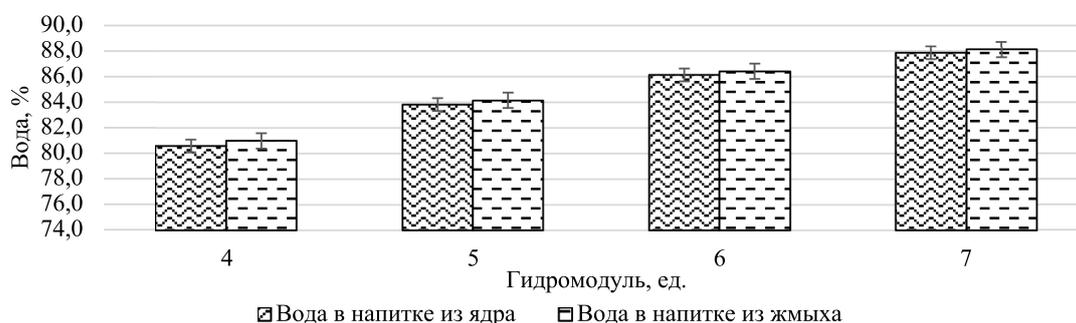
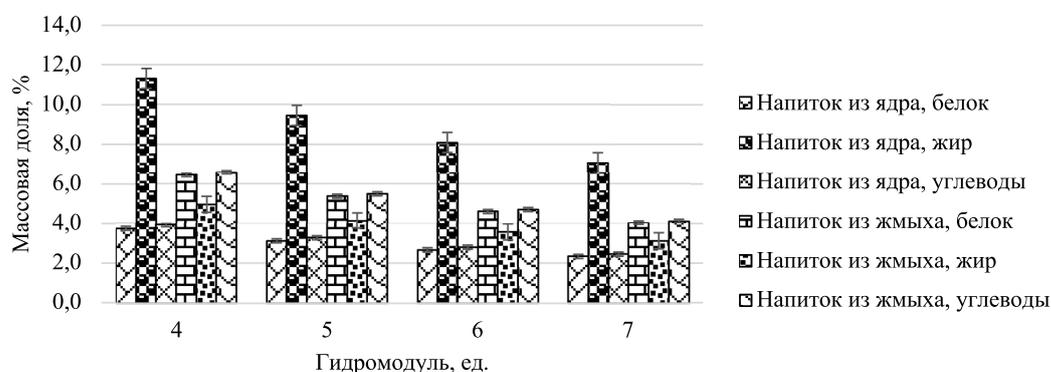


Рисунок 2

Массовая доля белка, жира и углеводов в напитках



В напитке из ядра кедрового ореха при увеличении гидро модуля с 4 до 7, содержание воды увеличивается с 80,6% до 87,9%, в напитке из жмыха кедрового ореха с 81,0% до 88,1%. Массовая доля влаги порядка 87–88% характерна для коровьего молока, гидро модуль 7 позволяет получить кедровый напиток с массовой долей влаги и сухих веществ приблизительно как у коровьего молока.

Массовые доли белка, жира и углеводов в напитках пропорциональны массовым долям белка, жира и углеводов в ядре и жмыхе кедрового ореха (см. Таблица 1, Рисунок 2). В напитке из ядра содержание жира на 7,6–4,8% превышает содержание белка, значения массовой доли белка, сравнимые с молоком можно получить при гидро модуле 5–6, но при этом содержание жира значительно превышает привычные 2,5–3,7% и даже 6%, характерные для коровьего молока (Ларионов & Егорова, 2021). В напитке из жмыха содержание белка на 1,4–0,9% превышает содержание жира, которое при всех исследованных гидро модулях сравнимо с показателями коровьего молока. Массовая доля углеводов

в напитке из жмыха в 1,8 раза больше, чем в напитке из ядра, при гидро модулях 6–7 приблизительно соответствует коровьему молоку. Таким образом видно, что по химическим показателям жмых кедрового ореха при гидро модулях 6–7 позволяет получить более приближенный к молоку напиток, чем ядро.

С увеличением гидро модуля происходит снижение вязкости напитков (см. Рисунок 3). В напитке из ядра при увеличении гидро модуля с 4 до 7 вязкость уменьшилась в 2,2 раза, в напитке из жмыха в 3 раза. Вязкость напитка из жмыха в 2,8–3,9 раза превышает вязкость напитка из ядра, что обусловлено высоким содержанием углеводов, в том числе клетчатки, в жмыхе. Близкой с коровьим молоком, вязкость которого по данным Шуварикова с соавт. (2017) составляет 1,8 мПа · с является только вязкость напитка из ядра при гидро модуле 6.

Показатель активной кислотности в напитках из ядра приблизительно на 0,2 ед. рН больше, чем в напитках из жмыха (см. Рисунок 4). Это может

Рисунок 3

Вязкость напитков

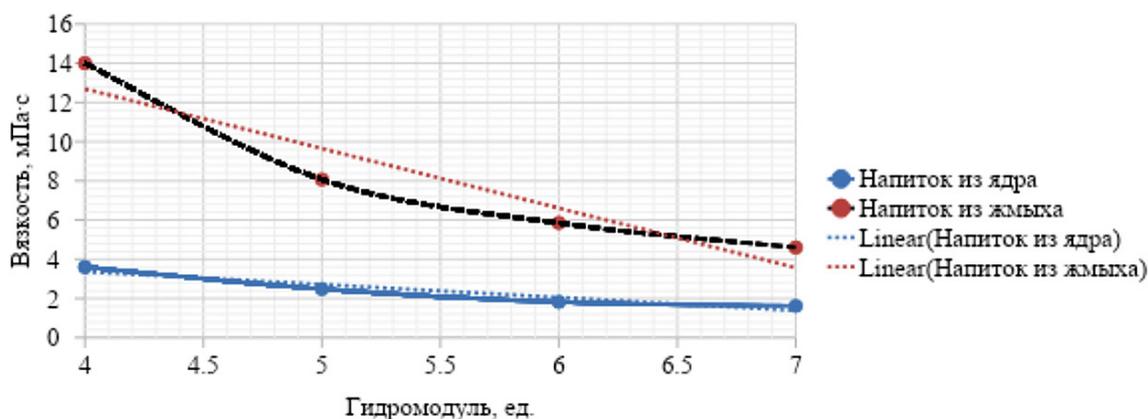
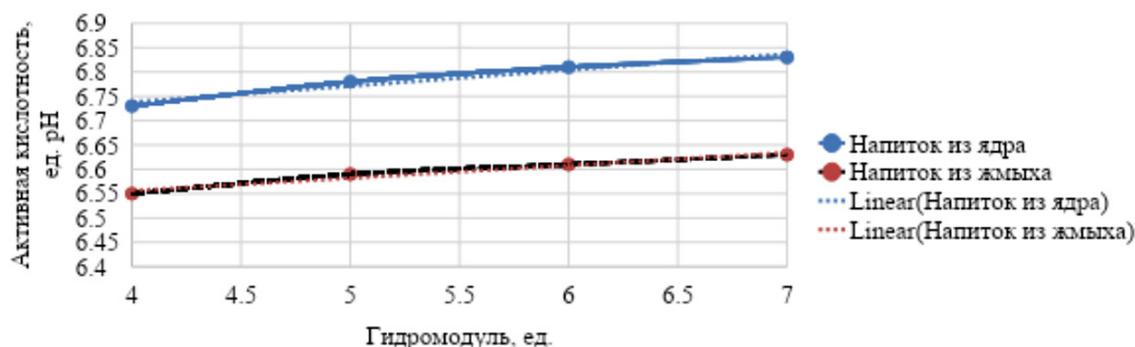


Рисунок 4

Активная кислотность напитков



быть следствием наличия в напитках из жмыха большего количества белка и углеводов, содержащих группы — COOH и — OH.

Органолептические показатели напитка из ядра имеют некоторые отличия от напитка из жмыха (см. Таблица 2). Напиток из ядра при гидромодуле

4–7 является недостаточно вязким со сливочным привкусом, что обусловлено высоким содержанием жира, а напиток из жмыха отличается сладковатым привкусом из-за высокого содержания углеводов. При гидромодулях 4–6 консистенция для напитка из жмыха ощущается слишком вязкой. Данные, указанные в Таблице 2 и на Рисунке 3, показывают,

Таблица 2

Органолептические показатели кедровых напитков

Наименование показателя	Гидромодуль, ед.							
	Напиток из ядра				Напиток из жмыха			
	4	5	6	7	4	5	6	7
Внешний вид	Непрозрачная жидкость с включением темных частиц и наличием маслянистого слоя на поверхности				Непрозрачная жидкость с включением темных частиц и осадком на дне емкости			
Консистенция	Однородная невязкая				Густая	Вязкая	В меру вязкая	
Вкус и запах	Кедровый привкус и запах, сливочный				Кедровый привкус и запах, сладковатый			
Цвет	Светло-кремовый		Белый с кремовым оттенком		Кремовый			

что недостаточная вязкость напитка из ядра может быть связана с недостаточным содержанием гидрофильных веществ, таких как белки и углеводы (см. Таблица 1 и Рисунок 2).

Отделение маслянистого слоя на поверхности напитка из ядра происходит из-за высокого содержания жира в продукте и недостаточного количества стабилизирующих поверхность жировых глобул веществ, которыми могут являться, например, белки. Таким образом по органолептическим показателям напитки, изготовленные из ядра и напитки, изготовленные из жмыха обладают и положительными и отрицательными сторонами, которые вызваны полярными причинами. Напиток из жмыха ощущается достаточно жидким только при гидромодуле 7, напиток из ядра ощущается недостаточно вязким при всех исследованных значениях гидромодуля.

В работах других авторов, например в работе Кущина и соавт. для получения кедрового напитка используются гидромодули до 10 ед., однако напитки

с таким высоким содержанием воды содержат невысокие концентрации белка¹⁶. В работах Егоровой (2018а), Запорожан с соавт. (2020) для получения кедрового напитка использовалась полученная из кедрового жмыха мука, которую обрабатывали ультразвуком на аппарате серии «Волна» (модель УЗТА-0,4/22-ОМ) при гидромодулях 5–7 ед., что привело к экстракции 6,1–7,2% сухих веществ, и 2,5–2,65% белка и 2,8% жира. Авторы также пришли к выводу, что необходимо использовать гидромодуль 7 ед.

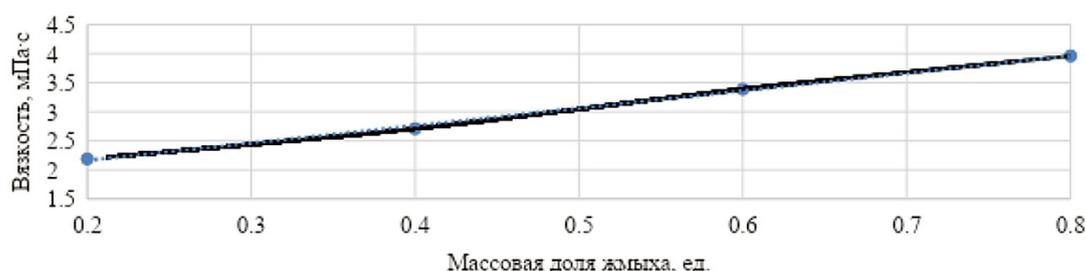
Исследование напитков из смеси ядра и жмыха кедрового ореха

В напитках, полученных из смеси ядра и жмыха кедрового ореха, при гидромодуле 7 ед. исследовали органолептические показатели (см. Таблица 3), вязкость (см. Рисунок 5), активную кислотность (см. Рисунок 6), массовую долю белка, жира, углеводов (см. Рисунок 7) и микроструктуру (см. Рисунок 8).

Таблица 3
Органолептические показатели напитков из смеси ядра и жмыха

Наименование показателя	Массовая доля жмыха, ед.			
	0,2	0,4	0,6	0,8
Внешний вид	Непрозрачная жидкость с включением темных частиц, осадком на дне емкости и маслянистого слоя на поверхности	Непрозрачная жидкость с включением темных частиц, осадком на дне емкости и наличием тонкой маслянистой пленки на поверхности	Непрозрачная жидкость с включением темных частиц, осадком на дне емкости и наличием тонкой маслянистой пленки на поверхности	Непрозрачная жидкость с включением темных частиц и осадком на дне емкости
Консистенция	Недостаточно вязкая	В меру вязкая	В меру вязкая	В меру вязкая
Вкус и запах	Кедровый привкус и запах, сливочный	Кедровый привкус и запах, сливочный, сладковатый	Кедровый привкус и запах, сливочный, сладковатый	Кедровый привкус и запах, сливочный, сладковатый
Цвет	Белый с кремовым оттенком	Кремовый	Кремовый	Кремовый

Рисунок 5
Вязкость напитков из смеси ядра и жмыха при гидромодуле 7 ед.



¹⁶ Кущин, А. А., & Федотов, В. А. (2007). Патент РФ № 2311037. Способ получения кедрового молока. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности.

Рисунок 6

Активная кислотность напитков с гидромодулем 7 ед. и массовой долей жмыха 0,2–0,8 ед.

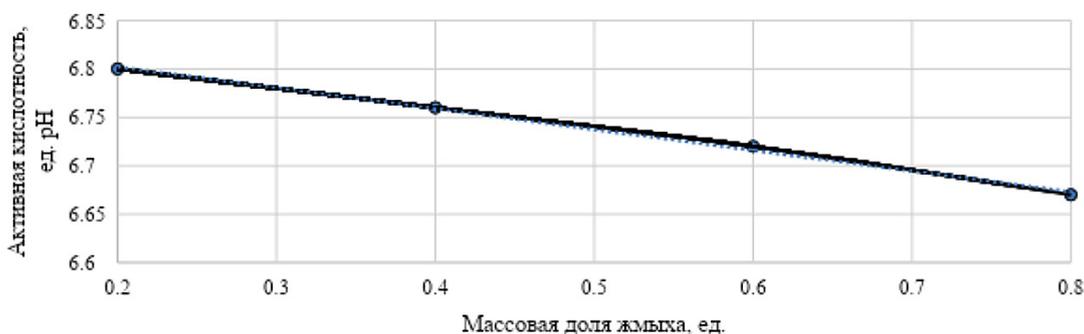


Рисунок 7

Содержание белка, жира, углеводов в напитке и соотношение жир/белок в зависимости от массовой доли жмыха в смеси

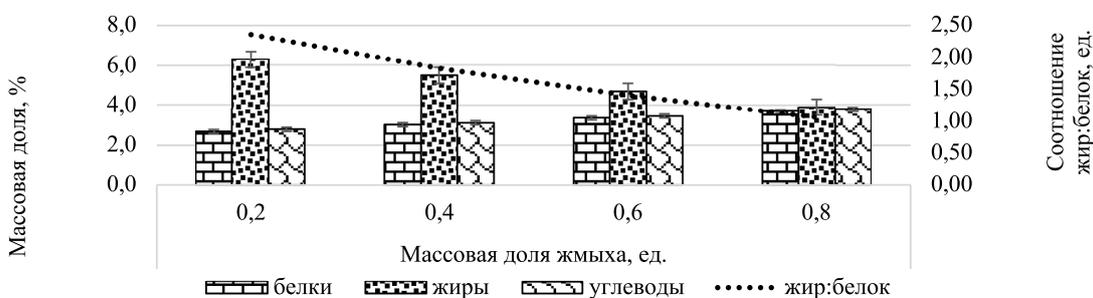


Рисунок 8

Микроструктура напитков из ядра (а), жмыха (б) и смеси ядра и жмыха с массовой долей жмыха 0,8 ед. при гидромодуле 7 ед. (в)



Изменяя массовую долю жмыха в смеси меняли соотношение между белком и жиром в частности, между гидрофильными и гидрофобными веществами в общем, создавая условия для формирования требуемых органолептических и физико-химических показателей.

Приготовление напитка из смеси ядра и жмыха привело к формированию гармоничных органолептических показателей. Увеличение массовой доли жмыха в смеси сырья для напитков до 0,6–0,8 ед. приводит к повышению вязкости консистенции, сохране-

нию сливочного кедрового сладковатого привкуса и кремового цвета.

Вязкость напитков из смеси ядра и жмыха увеличивается приблизительно на 0,6 мПа · с, показатель рН уменьшается приблизительно на 0,05 ед. с повышением массовой доли жмыха в смеси на каждые 0,2 ед.

Массовая доля белка и углеводов в напитке при увеличении массовой доли жмыха в смеси с 0,2 до 0,8 ед. повышается на 1 %, массовая доля жира снижается на 2,4 %.

Анализ микроструктуры напитков из ядра, жмыха и их смеси показывает, что в напитке из ядра наблюдаются отдельно расположенные друг от друга крупные глобулы жира диаметром до 40 мкм. В напитке из жмыха крупные глобулы жира диаметром более 40 мкм расположены редко и на значительном удалении друг от друга, в основном наблюдаются очень мелкие равномерно распределенные глобулы жира и частицы нерастворимых углеводов; в напитке полученном из смеси ядра и жмыха наблюдается большое количество однородных по размерам глобул жира с диаметром до 25 мкм. Сравнение данных органолептической оценки и анализа микроструктуры (см. Таблица 3 и Рисунок 8) показывает, что смешивание ядра и жмыха при приготовлении напитка позволяет получить систему устойчивую к коалесценции благодаря уменьшению содержания жира и адсорбции белка на поверхности жировых глобул. Полисахариды, содержащиеся в кедровом напитке, подвергались седиментации при хранении, но при взбалтывании напитка не ощущались инородными включениями благодаря высокой степени измельчения.

Исследование микробиологических показателей кедрового напитка

Исследование микробиологических показателей свидетельствует о том, что гидромеханическое диспергирование ядра и жмыха кедрового ореха в воде при $(65 \pm 2)^\circ\text{C}$ с выдержкой при этой температуре 20 мин, розлив в банки, укупоривание, охлаждение в банках до $2-6^\circ\text{C}$ и хранение в холодильнике при этой температуре гарантирует сохранение безопасности кедрового напитка в течение 14 суток. Отсутствие роста микроорганизмов объясняется

повышением эффективности пастеризации в механоакустическом гомогенизаторе за счет эффекта кавитации. Данные показывают, что 14 суток хранения не являются пределом для примененного режима обработки, поэтому исследования зависимости продолжительности хранения кедрового напитка от режимов обработки в МАГ-50 будут продолжены. В работе Ефанова (2021) напиток, содержащий в рецептуре ядра кедрового ореха, полученный также в кавитационном аппарате при температурах от 50 до 70°C в течение от 30 до 60 минут сохранял микробиологическую чистоту в течение всего срока исследования, который составил 20 суток.

ВЫВОДЫ

Таким образом в данной работе изучено влияние гидромодуля и соотношения компонентов рецептуры на технические характеристики кедрового напитка. Соотношение компонентов рецептуры оказывает влияние на качество напитков на растительной основе. Недостаточное количество гидрофильных веществ, избыточное гидрофобных или неподходящий гидромодуль приводят к порокам органолептических показателей напитков. Поэтому как и ожидалось обработка смеси кедрового сырья с разным химическим составом и воды в МАГ-50 при массовой доле жмыха 0,8 ед. и гидромодуле 7 ед. привело к получению напитка, с выраженным вкусом и запахом, умеренно вязкой консистенцией, содержащего 3,7% белка, 3,9% жира, 3,8% углеводов. При хранении кедрового напитка при температуре $2-6^\circ\text{C}$ в течение 14 суток не происходило ухудшение микробиологических показателей, поэтому исследования по определению

Таблица 4

Микробиологические показатели кедрового напитка, полученного при гидромодуле 7 ед. и массовой доле жмыха 0,8 ед

Срок хранения	Результат						
	КМАФАнМ, КОЕ/г	БГКП		<i>Salmonella</i>	<i>E.coli</i>	Пл. грибы, КОЕ/г	Дрожжи, КОЕ/г
		10^1	10^2				
0 суток	нет роста	-	-	не обнаружено	-	нет роста	нет роста
3 суток	нет роста	-	-	не обнаружено	-	нет роста	нет роста
7 суток	нет роста	-	-	не обнаружено	-	нет роста	нет роста
14 суток	нет роста	-	-	не обнаружено	-	нет роста	нет роста
ТР ТС 021/2011	$5,00 \times 10^4$	Не допускается в 1 г		Не допускается в 25 г	-	10	10

нию срока годности напитка будут продолжены. Данное исследование было ограничено применением фиксированных параметров работы МАГ-50, температурой, продолжительностью обработки и частотой вращения ротора. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение изменений технических характеристик напитков кедровых, полученных при установленном в данной работе соотношении компонентов, но при различных

температуре и продолжительности обработки, вариантов упаковки и продолжительности хранения. Проведенные исследования могут быть использованы на предприятиях пищевой промышленности, в научных и образовательных учреждениях и позволяют расширить ассортимент кедровых напитков вариантами со сбалансированным химическим составом и богатыми органолептическими характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Гайдин, С. Т., & Бурмакина, Г. А. (2016). История создания кедровой промышленности. *Вестник Томского государственного университета*, 410, 41–49. <https://doi.org/10.17223/15617793/410/7>
- Gaidin, S. T., & Burmakina, G. A. (2016). The history of the cedar industry. *Bulletin of Tomsk State University*, 410, 41–49. (In Russ.) <https://doi.org/10.17223/15617793/410/7>
- Егорова, Е. Ю., & Позняковский, В. М. (2010). Пищевая ценность кедровых орехов Дальнего Востока. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, (4), 21–24.
- Egorova, E. Yu., & Poznyakovskii, V. M. (2010). Nutritional value of pine nuts of the Far East. *News of higher educational institutions. Food technology*, (4), 21–24. (In Russ.)
- Егорова, Е. Ю. (2018а). Немолочное молоко: Обзор сырья и технологий. *Ползуновский вестник*, (3), 25–34. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2018.03.005>
- Egorova, E. Yu. (2018a). Non-dairy milk: An overview of raw materials and technologies. *PPolzunovsky Bulletin*, (3), 25–34. (In Russ.) <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2018.03.005>
- Егорова, Е. Ю. (2018б). Современные подходы к получению протеиновых напитков на растительной основе. *Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова*, 46(2), 143–150.
- Egorova, E. Yu. (2018b). Modern approaches to obtaining plant-based protein drinks. *Proceedings of the Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov*, 46(2), 143–150. (In Russ.)
- Ефанов, М. В. (2021). Инновационная кавитационная технология получения функциональных напитков из дикоросов. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, (2), 72–75.
- Efanov, M. V. (2021). Innovative cavitation technology for producing functional drinks from wild plants. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, (2), 72–75. (In Russ.)
- Запорожан, Е. А., Егорова, Е. Ю., & Цыганок С. Н. (2020). Влияние предварительной ультразвуковой обработки воды на характеристики модельных эмульсий на основе кедрового жмыха. *Ползуновский вестник*, (3), 11–15. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.002>
- Zaporozhan, E. A., Egorova, E. Yu., & Tsyganok S. N. (2020). The effect of preliminary ultrasonic water treatment on the characteristics of model emulsions based on cedar cake. *Polzunovsky Bulletin*, (3), 11–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.002>
- Карагодин, В. П., & Юрина, О. В. (2017). Влияние технических барьеров на Российский экспорт кедровых орехов. *Международная торговля и торговая политика*, 9(1), 79–87.
- Karagodin, V. P., & Yurina, O. V. (2017). The impact of technical barriers on the Russian export of pine nuts. *International Trade and Trade Policy*, 9(1), 79–87. (In Russ.)
- Ларионов, Г. А., & Егорова, К. Д. (2021). Химический состав молока коров в осенне-зимний период. *Российский журнал. Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*, (3), 274–279. <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyг.ecol.202103006>
- Larionov, G. A., & Egorova, K. D. (2021). The chemical composition of cow's milk in the autumn-winter period. *Russian magazine. Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology*, (3), 274–279. (In Russ.) <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyг.ecol.202103006>
- Наумова, Н. Л., Бучель, А. В., Лукин, А. А., & Мигуля, И. Ю. (2018). Результаты исследований применения жмыха ядер кедрового ореха в рецептуре печеночного паштета. *Вестник Камчатского государственного технического университета*, (45), 50–57. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-45-50-57>
- Naumova, N. L., Buchel', A. V., Lukin, A. A., & Migulya, I. Yu. (2018). The results of studies on the use of pine nut kernel cake in the recipe of liver paste. *Bulletin of the Kamchatka State Technical University*, (45), 50–57. (In Russ.) <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-45-50-57>
- Некрасова, Ю. О., Мезенова, О. Я., Мерзель, Й. Т., & Кюн, С. (2020). Биопотенциал семян кедровой сосны сибирской и его изменения в процессе хранения. *Известия Калининградского государственного технического университета*, 56, 119–130.
- Nekrasova, Yu. O., Mezenova, O. Ya., Merzel', I. T., & Kyun, S. (2020). Biopotential of Siberian cedar pine seeds and its changes during storage. *Proceedings of the Kaliningrad State Technical University*, 56, 119–130. (In Russ.)

- Ульянов, Б. А., Свиридов Д. П., & Семенов, И. А. (2011). Использование кавитационного измельчения в производстве молока кедрового. *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*, (1), 199–204.
- Ul'yanov, B. A., Sviridov D. P., & Semenov, I. A. (2011). The use of cavitation grinding in the production of cedar milk. *Modern technologies. System analysis. Modeling*, (1), 199–204. (In Russ.)
- Хантургаев, А. Г., Хамагаева, И. С., & Котова, Т. И. (2019). Изучение качественных характеристик биопродуктов функционального питания с использованием вторичного сырья переработки кедрового ореха. *Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления*, 73(2), 20–28.
- Khanturgaev, A. G., Khamagaeva, I. S., & Kotova, T. I. (2019). The study of the qualitative characteristics of functional nutrition products using secondary raw materials of pine nut processing. *Bulletin of the East Siberian State University of Technology and Management*, 73(2), 20–28. (In Russ.)
- Шувариков, А. С., Канина, К. А., Красуля, О. Н., Пастух, О. Н., & Робкова, Т. О. (2017). Физико-химические показатели козьего, овечьего и коровьего молока. *Овцы, козы, шерстяное дело*, (1), 38–40.
- Shuvarikov, A. S., Kanina, K. A., Krasulya, O. N., Pastukh, O. N., & Robkova, T. O. (2017). Physico-chemical parameters of goat's, sheep's and cow's milk. *Sheep, Goats, Wool Business*, (1), 38–40. (In Russ.)
- Babich, O. O., Milent'eva, I. S., Ivanova, S. A., & Pavsky, V. A. (2017). The potential of pine nut as a component of sport nutrition. *Foods and Raw Materials*, 5(2), 170–177. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-170-177>
- Baker, E. J., Miles, E. A., & Calder, P. C. (2021). A review of the functional effects of pine nut oil, pinolenic acid and its derivative eicosatrienoic acid and their potential health benefits. *Progress in Lipid Research*, 82, Article 101097. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2021.101097>
- Baker, E. J., Valenzuela, C. A., van Dooremalen, W. T. M., Martínez-Fernández, L., Yaqoob, P., Miles, E. A., & Calder, P. C. (2020). Gamma-linolenic and pinolenic acids exert anti-inflammatory effects in cultured human endothelial cells through their elongation products. *Molecular Nutrition & Food Research*, 64(20), Article 2000382. <https://doi.org/10.1002/mnfr.202000382>.
- Chen, S. J., Huang, W. C., Shen, H. J., Chen, R. Y., Chang, H., Ho, Y. S., Tsai, P. J., & Chuang, L. T. (2020). Investigation of modulatory effect of pinolenic acid (PNA) on inflammatory responses in human THP-1 macrophage-like cell and mouse models. *Inflammation*, 43(2), 518–531. <https://doi.org/10.1007/s10753-019-01134-7>
- Dyshluk, L. S., Sukhikh, S. A., Ivanova, S. A., Smirnova, I. A., Subbotina, M. A., Pozdnyakova, A. V., Neverov, E. N., & Garmashov, S. Y. (2018). Prospects for using pine nut products in the dairy industry. *Foods and Raw Materials*, 6(2), 264–280. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-264-280>
- Efremov, A. A., Zykova, I. D., Senashova, V. A., Grodnickaya, I. D., & Pashenova, N. V. (2020). Antimicrobial and antiradical activity of individual fractions of *Pinus sibirica* Du Tour and *Abies sibirica* Ledeb, native to the Siberian region. *Chemistry of Plant Raw Material*, 47(7), 203–210. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020047505>
- Grant, C. A., & Hicks, A. L. (2018). Comparative life cycle assessment of milk and plant-based alternatives. *Environmental Engineering Science*, 35(11), 1235–1247. <https://doi.org/10.1089/ees.2018.0233>
- Jonas da Rocha Esperança, V., Corrêa de Souza Coelho, C., Tonon, R., Torrezan, R., & Freitas-Silva, O. (2022). A review on plant-based tree nuts beverages: Technological, sensory, nutritional, health and microbiological aspects. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 2396–2408. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2134417>
- Patra, T., Rinnan, A.; Olsen, K. (2021). The physical stability of plant-based drinks and the analysis methods thereof. *Food Hydrocolloids*, 118, Article 106770. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106770>
- Prosekov, A. Y., Dyshlyuk, L. S., Milent'eva, I. S., Pavsky, V. A., Ivanova, S. A., & Garmashov, S. Y. (2018). Study of the biofunctional properties of cedar pine oil with the use of in vitro testing cultures. *Foods and Raw Materials*, 6(1), 136–143. <https://www.doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-136-143>
- Silva, A. R. A., Silva, M. M. N., & Ribeiro, B. D. (2020). Health issues and technological aspects of plant-based alternative milk. *Food Research International*, 131, Article 108972. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108972>
- Udayarajan, C. T., Mohan, K., & Nisha, P. (2022). Tree nuts: Treasure mine for prebiotic and probiotic dairy free vegan products. *Trends in Food Science & Technology*, 124, 208–218. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.022>
- Xie, K., Miles, E. A., & Calder, P. C. (2016). A review of the potential health benefits of pine nut oil and its characteristic fatty acid pinolenic acid. *Journal of Functional Foods*, 23, 464–473. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.03.003>
- Yang, R., Li, X., Lin, S., Zhang, Z., & Chen, F. (2017). Identification of novel peptides from 3 to 10kDa pine nut (*Pinus koraiensis*) meal protein, with an exploration of the relationship between their antioxidant activities and secondary structure. *Food Chemistry*, 219, 311–320. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.163>
- Zhang, J., Lin, W., Wu, R., & Liu, Y. (2018) Mechanisms of the active components from Korean pine nut preventing and treating d-galactose-induced aging rats. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 103, 680–690. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.04.063>
- Zhang, J., Zhang, S., Wang, P., Guo, N., Wang, W., Yao, L., Yang, Q., Efferth, T., Jiao, J., & Fua, Y. (2019) Pinolenic acid ameliorates oleic acid-induced lipogenesis and oxidative stress via AMPK/SIRT1 signaling pathway in HepG2 cells. *European Journal of Pharmacology*, 861, Article 172618 <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2019.172618>

УДК: 664.7

¹ Научно-исследовательский институт пищевого концентрата промышленности и специальной пищевой технологии – филиал ФГБНУ «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи», п. Измайлово, Российская Федерация

² Российский биотехнологический университет, г. Москва, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:**Смирнов Станислав Олегович**

E-mail: sts_76@bk.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Смирнов, С. О., Фазуллина, О. Ф., Данилкин, А. Ю., Бакуменко, О. Е., & Кандроков, Р. Х. (2023). Обоснование подбора функциональных ингредиентов рецептуры смесей для энтерального питания, обеспечивающих биологическую эффективность и физиологическое действие: Обзор предметного поля. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 115-132. <https://doi.org/10.36107/spfr.2023.435>

ПОСТУПИЛА: 20.05.2023**ПРИНЯТА:** 15.09.2023**ОПУБЛИКОВАНА:** 30.09.2023**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:**

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Научно-исследовательская работа проведена за счет субсидий на выполнение прикладных научных исследований в рамках программы (Тема № FGMF-2022-0002) «Часть 4. Разработка цифровой платформы обогащенной и специализированной пищевой продукции диетического профилактического и лечебного питания заданного химического состава, Раздел 5. Разработка технологии энтеральной смеси для перорального приема для включения в диетотерапию пациентов с белково-энергетической недостаточностью».

Обоснование подбора функциональных ингредиентов рецептуры смесей для энтерального питания, обеспечивающих биологическую эффективность и физиологическое действие: Обзор предметного поля

С. О. Смирнов¹, О. Ф. Фазуллина¹, А. Ю. Данилкин¹,
О. Е. Бакуменко², Р. Х. Кандроков²

АННОТАЦИЯ

Введение: Энтеральное питание признается клиницистами предпочтительным методом нутритивной терапии, положительно влияющим на выздоровление практически любой категории пациентов. О критической важности лечебного питания говорит статистика заболеваний. Спрос на лечебное питание растет. Однако отрасль зависит от импорта. Более 70% потребностей рынка обеспечивает импортная продукция. Для полноценного импортозамещения необходима целая отечественная отрасль по производству высококачественных сырьевых компонентов для производства продуктов лечебного питания, отвечающих современным медико-биологическим требованиям. В данном обзоре предметного поля проанализированы научные литературные источники (с 1997 по 2023 гг.), посвященные результатам изучения организации и состояния фактического питания больных, находящихся на стационарном лечении в медицинских учреждениях.

Цель обзора: обоснование подбора функциональных ингредиентов рецептур смесей для энтерального питания, обеспечивающих биологическую эффективность и физиологическое действие, обусловленных целевым назначением.

Материалы и методы: Данный обзор предметного поля проведен согласно протоколу PRISMA-ScR. Поиск источников по интересующей теме проведен в базах данных Scopus, PubMed, РИНЦ. Для обзора использованы научные публикации российских и зарубежных ученых по вопросам нутриционной поддержки, медико-технических требований к обогащенным продуктам, предназначенным для включения в рацион питания больных.

Результаты: По ключевым словам отобраны 7393 публикации. Критериям включения в обзор соответствовали 59. В результате анализа отобранных публикаций сформулированы медико-технические требования к продуктам для энтерального питания.

Выводы: Результаты исследования указывают на необходимость оценки клинической и экономической эффективности нутриционной поддержки, основанной на принципах метаболической адекватности и клинической целесообразности. Технология производства специализированного продукта питания для больных, нуждающихся в лечебном питании, должна предусматривать высокоэффективные технологические процессы, максимально сохраняющие пищевую ценность исходного сырья и обеспечивающие высокий санитарно-гигиенический уровень производства. Требуется комплексный анализ органолептических, физико-химических и микробиологических показателей нового продукта, а также проведение его клинических испытаний, подтверждающих функциональные свойства. В связи с вышеизложенным, актуальным является проведение исследований по разработке рецептур и технологий обогащенного продукта для питания больных с многочисленными травмами, повреждениями, заболеваниями костной системы, ожогами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

фактическое питание, пищевой статус, пищевые концентраты, растительное сырье, рацион, рецептуры, технология, безопасность, химический состав



Substantiation of the selection of functional ingredients in the formulation of mixtures for enteral nutrition, providing biological efficacy and physiological effect due: A Scoping Review

¹ Scientific Research Institute of Food Concentration Industry and Special Food Technology – branch of the Federal State Budgetary Institution «Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety», Izmailovo village, Russian Federation

² Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation

Stanislav O. Smirnov¹, Oliya F. Fazullina¹, Aleksey Y. Danilkin¹, Olesya E. Bakumenko², Roman Kh. Kandrov²

CORRESPONDENCE:

Stanislav O. Smirnov

E-mail: sts_76@bk.ru

FOR CITATIONS:

Smirnov, S. O., Fazullina, O. F., Danilkin, A. Y., Bakumenko, O. E., & Kandrov, R. Kh. (2023). Substantiation of the selection of functional ingredients in the formulation of mixtures for enteral nutrition, providing biological efficacy and physiological effect due: Scoping Review. *Storage and Processing of Farm Products*, (2), 115-132. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.435>

RECEIVED: 20.05.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FOUNDATION

Research work was carried out with subsidies for applied scientific research within the framework of the program (Topic No. FGMF-2022-0002) "Part 4. Development of a digital platform for enriched and specialized food products of dietary preventive and therapeutic nutrition of a given chemical composition, Section 5. Development technology of enteral mixture for oral administration for inclusion in diet therapy for patients with protein-energy malnutrition."

ABSTRACT

Introduction: Enteral nutrition is recognized by clinicians as the preferred method of nutritional therapy, positively affecting the recovery of almost any category of patients. The critical importance of therapeutic nutrition is indicated by the statistics of diseases. The demand for therapeutic nutrition is growing. However, the industry depends on imports. More than 70% of the needs of the medical nutrition market are provided by imported products. For full-fledged import substitution, an entire domestic industry is needed for the production of high-quality raw materials for the production of medical nutrition products that meet modern medical and biological requirements. In this overview of the subject field, scientific literature sources (from 1992 to 2023) devoted to the results of studying the organization and state of the actual nutrition of patients undergoing inpatient treatment in medical institutions are analyzed.

Purpose: Substantiation of the selection of functional ingredients in the formulation of mixtures for enteral nutrition, providing biological efficacy and physiological effect due to the intended purpose.

Materials and Methods: This review of the subject field was conducted according to the PRISMA-ScR protocol. The search for sources on the topic of interest was carried out in the databases Scopus, PubMed, RINC. The review uses scientific publications of domestic and foreign scientists on nutritional support, medical and technical requirements for enriched products intended for inclusion in the diet of patients.

Results: 7393 publications were selected. 59 met the criteria for inclusion in the review. As a result of the analysis of the selected publications, medical and technical requirements for enteral nutrition products are formulated.

Conclusion: The results of the study indicate the need to assess the clinical and economic effectiveness of nutritional support based on the principles of metabolic adequacy and clinical expediency. The technology of production of a specialized food product for patients in need of therapeutic nutrition should provide for highly efficient technological processes that preserve the nutritional value of the raw materials as much as possible and ensure a high sanitary and hygienic level of production. A comprehensive analysis of the organoleptic, physico-chemical and microbiological parameters of the new product is required, as well as conducting clinical trials confirming its functional properties. In connection with the above, it is relevant to conduct research on the development of a formulation and technology of an enriched product for the nutrition of patients with numerous injuries, injuries and diseases of the bone system, burns.

KEYWORDS

actual nutrition, nutritional status, food concentrates, vegetable raw materials, diet, recipes, technology, safety, chemical composition



ВВЕДЕНИЕ

Анализ литературных данных позволяет утверждать, что энтеральное питание признается предпочтительным методом нутритивной терапии, существенно влияющим на течение критических состояний, особенно в первые 24–48 часов от начала заболевания, для практически любой категории пациентов. О критической важности лечебного питания говорит статистика заболеваний. В Федеральном научно-практическом центре паллиативной медицинской помощи Сеченовского университета (ФНПЦ ПМП) признают, что 60% пациентов онкологического и 80% пациентов неврологического профилей имеют нутритивную недостаточность. Спрос на лечебное питание растет. Однако отрасль зависит от импорта. Более 70% потребностей рынка лечебного питания обеспечивает импортная продукция. Импорт продуктов лечебного питания не затронут санкциями напрямую, но проблема технологического суверенитета в области разработки продукции лечебного питания и ее сырьевой базы выходит на передний план. Отечественное производство, по мнению академика В.А. Тутельяна, было утеряно после развала СССР и только сейчас подает признаки восстановления. Российские производители демонстрируют уверенный рост, но для полноценного импортозамещения необходима целая отечественная отрасль по производству высококачественных сырьевых компонентов для производства продуктов лечебного питания, отвечающих современным медико-биологическим требованиям (МБТ).

МБТ к пищевым продуктам представляют собой комплекс критериев, определяющих их качество, безопасность и пищевую ценность. Соответственно, МБТ должны включать описание органолептических и физико-химических свойств пищевых продуктов, показатели безопасности, требования к упаковке и маркировке, правила транспортирования и хранения. Качество и пищевая ценность пищевых продуктов гарантируются соблюдением требований действующих нормативных и технических документов¹.

МБТ в части требований к сырью определяют, что все сырье, используемое для изготовления смесей для энтерального питания пациентов с белково-энергетической недостаточностью по качеству и безопасности должно соответствовать требованиям действующих документов на каждый вид сырья, технических регламентов и других нормативных правовых актов, действие которых на него распространяется². МБТ к смесям для энтерального питания в части органолептических свойств определяют, что они должны обладать приятным ароматом и вкусом, свойственным сочетанию используемых видов сырья, не иметь посторонних запахов и привкусов (Луфт, 2016).

МБТ в части показателей безопасности должны включать микробиологические и гигиенические показатели в соответствии с МУК 4.2.577–96, СанПин 2.3.2.1078–01.

Таблица 1

Микробиологические показатели безопасности смесей для энтерального питания

Показатели безопасности	Допустимые уровни
Патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы, в 100 г	Не допускаются
КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	$2 \cdot 10^3$
БГКП (колиформы) в 1 г	Не допускаются
Дрожжи, КОЕ/г, не более	50
Плесени, КОЕ/г, не более	100
<i>S. aureus</i> в 1 г	Не допускаются
<i>B. cereus</i> , КОЕ/г	< 200

Примечание. Из МУК 4.2.577–96. Методы микробиологического контроля продуктов детского, лечебного питания и их компонентов, 2010 (<https://docs.cntd.ru/document/1200030748>). В свободном доступе; СанПин 2.3.2.1078–01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов, 2001, (<https://base.garant.ru/4178234/>). В свободном доступе.

МБТ в части пищевой ценности смесей для энтерального питания значения должны быть сопоставимы с рекомендуемыми адекватными уровнями их суточного потребления согласно действующей документации³. МБТ в части упаковки должны

¹ ФЗ 29-ФЗ. (2000). О качестве и безопасности пищевых продуктов. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_25584/

² МР 2.3.1.0253–21. (2021). Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

³ Там же.

быть гармонизированы с требованиями документа. Упаковка, упаковочные материалы и укупорочные средства должны быть разрешены в установленном порядке для упаковки пищевой продукции и для контакта с пищевыми продуктами, и обеспечивать сохранность качества в течение срока годности⁴. МБТ в части маркировки упакованных смесей для энтерального питания должны быть гармонизированы с требованиями документа. При этом в маркировке обязательно должны быть указаны наименования внесенных витаминов и минеральных веществ, их гарантированное содержание на конец срока годности, а также информация об ожидаемом благоприятном влиянии на состояние организма человека при систематическом употреблении⁵.

Цель обзора – обоснование подбора функциональных ингредиентов рецептуры смесей для энтерального питания, обеспечивающих биологическую эффективность и физиологическое действие, обусловленных целевым назначением с учетом обобщенных отечественных и зарубежных данных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Базы данных и инструменты

Обзор выполнен с использованием протокола PRISMA ScR. Поиск источников, опубликованных в период с 1997 по 2023 годы по теме «Функциональные ингредиенты рецептур смесей для энтерального питания, обеспечивающие биологиче-

скую эффективность и физиологическое действие» проведен в базах данных Scopus, PubMed, РИНЦ.

Критерии включения и исключения источников

Для поисковых запросов в отечественных электронных библиотеках были использованы следующие ключевые слова и словосочетания: энтеральное питание, нутриционная поддержка, фактическое питание, пищевой статус, пищевые концентраты, растительное сырье, рацион, рецептуры, технология, безопасность, химический состав. Ключевыми словами для осуществления поиска в зарубежных базах данных Scopus, PubMed являлись: 'enteral nutrition', 'nutritional support', 'actual nutrition'; 'nutritional status', 'food concentrates', 'plant raw materials', 'diet', 'formulations', 'technology', 'safety', 'chemical composition'.

В отобранных по критериям 7393 источниках (обзорные и исследовательские статьи, тезисы конференций, патенты) были проанализированы название, аннотация, контент. Критерии отбора источников представлены в Таблице 2.

Извлечение и анализ данных

Из отобранных источников была извлечена следующая информация: автор(ы), год публикации, страна проведения исследования или публикации, цель

Таблица 2

Критерии отбора источников для обзора предметного поля

Критерий	Включение	Исключение	Обоснование
Контекст	Объекты исследований – лечебно-диетическое питание для нутриционной поддержки	Не соответствует тематике исследования	Исследование направлено на создание продукта для энтерального питания
Язык	Все языки	Невозможность перевода на русский язык	Для более широкого охвата источников
Период	1997–2023		Для получения подтвержденных и доказанных сведений по теме исследования
Тип статьи	Обзорные, эмпирические	Источники, не подвергавшиеся рецензированию	Ставят под сомнение представленные результаты
Статус публикации	Опубликованные	Препринты и тезисы докладов конференций	Для получения подтвержденных и доказанных сведений

⁴ ТР ТС 005/2011. (2011). *О безопасности упаковки*. <https://docs.cntd.ru/document/902299529>

⁵ ТР ТС 022/2011. (2011). *Пищевая продукция в части ее маркировки*. <https://docs.cntd.ru/document/902320347>

исследования, результаты, выводы. Отобранные источники выгружены в файл формата .ris и обработаны в программном обеспечении «VOSViewer» для визуализации сетей совпадений ключевых слов, извлеченных из выбранных для обзора источников.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты поиска

Из баз данных Scopus, PubMed, РИНЦ были отобраны 7393 потенциально приемлемых источника. Работа с источниками по этапам представлена на Рисунке 1.

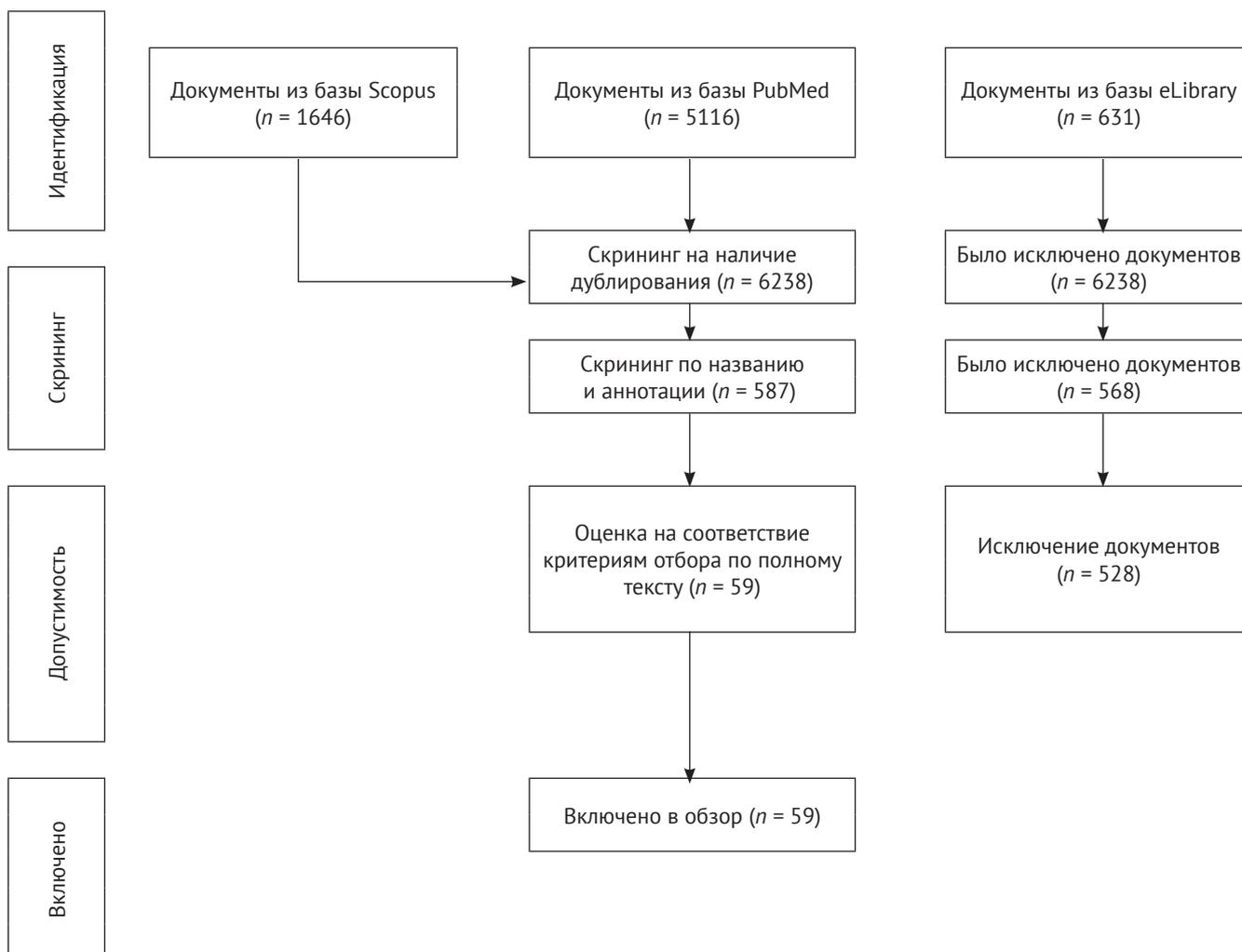
Из 7393 документов исключены не соответствующие теме, не содержащие полный текст. В обзор предметного поля включены 59 публикаций.

Далее информация из баз данных была выгружена в программу «VOSViewer» в файле формата .ris для анализа по ключевым словам. С помощью программы из 59 публикаций были извлечены 31 ключевых слова для графического представления их взаимосвязей в выбранных публикациях (Рисунки 2, 3).

Полученные с помощью VOSViewer данные свидетельствуют, что наиболее часто встречающимися ключевыми словами в отобранных работах, помимо основных «enteral nutrition», «humans», являются: «parenteral nutrition», «nutritional support», «nutritional status».

Рисунок 1

Диаграмма выбора публикаций для обзора предметного поля в соответствии с протоколом PRISMA



Обзор отобранных публикаций

В Таблице 3 дан пример обзора отобранных источников по основным критериям. Анализ полнотекстовых источников позволил определить основные направления исследований.

Анализ данных позволил установить, что энтеральное питание способствует более раннему выздоровлению, снижению частоты инфекционных осложнений, существенно улучшает течение критических состояний, является ведущим компонентом в лечении и профилактике послеоперационных

Таблица 3

Пример извлечения данных из публикаций, включенных в обзор

№	Авторы	Страна, год	Цели исследования	Предмет исследования	Методология/методы	Ключевые выводы, относящиеся к исследовательскому вопросу
1	Ефремов С.М., Талабан В.О., Артемьева В.В., Дерягин М.Н., Ломиворотов В.В.	Россия (2016)	Разработка рекомендаций по улучшению точности измерения энергетических потребностей методом непрямой калориметрии	Методы определения энергетических потребностей для назначения нутритивной поддержки	Анализ	Метод непрямой калориметрии является «золотым стандартом»
2	Heylan D.K., Stephens K.E., Day A.G., McClave S.A.	Канада (2011)	Оценка влияния раннего введения энтерального питания на внутрибольничное инфицирование в отделениях интенсивной терапии	207 пациентов трех хирургических отделений	Проспективное многоцентровое обсервационное исследование	Снижение инфекционных осложнений может быть связана с введением энтерального питания, особенно в первые 96 часов госпитализации
3	Yan X.X., Zhang X., Ai H., Wang D., Song K.Y.	Китай (2019)	Изучение изменений барьерной функции кишечника у пациентов с острым и тяжелым отравлением, влияние раннего энтерального питания	50 пациентов, разделенные на группы	Рандомизированное контролируемое клиническое исследование.	Ранняя нутриционная поддержка может способствовать выздоровлению
4	Репин М.В., Николенко А.В.	Россия (2019)	Оценить значение раннего энтерального зондового питания в лечении и профилактике послеоперационных моторно-эвакуаторных нарушений желудочно-кишечного тракта	596 пациентов после оперативного лечения с различной патологией желудка и двенадцатиперстной кишки	Исследовали моторную функцию тонкой кишки с помощью тензодатчика, подключаемого параллельно системе для энтеральной инфузии. Регистрировали изменения внутрикишечного давления в ответ на зондовое питание в 1, 2 и 4 сутки после операции. Динамику трофического статуса оценивали с использованием антропометрических, иммунологических и биохимических тестов	Энтеральные инфузии стимулируют моторику тонкой кишки после операции, а энтеральное зондовое питание является ведущим компонентом в лечении и профилактике послеоперационных осложнений, связанных с нарушением моторно-эвакуаторной функции желудочно-кишечного тракта.

осложнений, связанных с нарушением моторно-эвакуаторной функции желудочно-кишечного тракта. В наименьшей степени анализ возможностей применения энтерального питания коснулся пациентов с патологиями опорно-двигательного аппарата, ранениями и повреждениями костной системы, где, учитывая опасность для жизни их тяжелых форм, имеются большие перспективы для дальнейших исследований такого рода. Особо подчеркивается, что введение энтерального питания в лечебный протокол преимущественно в первые двое суток от начала заболевания в наибольшей степени влияет на достижение благоприятных результатов лечения, сопровождаясь улучшением метаболических процессов в органах и тканях. Наблюдается большой интерес к изучению патогенеза критических состояний путем оценки изменений показателей гомеостаза с помощью современного лабораторного и инструментального контроля, что укрепляет научную базу применения энтерального питания. Не представлены обобщенные актуальные данные об экономической составляющей применения энтерального питания. Расширение ассортимента отечественных продуктов энтерального питания, а также соответствующие организационные мероприятия могут вывести этот метод на более высокий уровень эффективности и безопасности, что в сочетании с экономическими преимуществами позволит расширить возможности внедрения энтерального питания в отечественную практику.

Современные подходы к созданию специализированных продуктов, влияющих на обмен веществ

Технологические разработки по созданию профилактических и специализированных продуктов складываются из создания композиций. Основой продуктов являются, как правило, трёхкомпонентные белково-углеводно-жировые композиции. По результатам проведенных технологических исследований, проводимых обычно с помощью компьютерного моделирования, проектируется состав многофункциональной пищевой композиции и разрабатывается технология её получения. Композиции должны быть сбалансированы по бел-

кам, углеводам и жирам (Коденцова с соавт., 2010; Добровольский с соавт., 2015).

Основа профилактических и специализированных продуктов – белки, жиры, углеводы

Определяющим фактором в комплексе нарушений метаболизма в организме человека является развитие белковой недостаточности, приводящей к ухудшению иммунной устойчивости организма и усугублению имеющихся патологий. Это обусловлено особой ролью белка в организме как пластического материала, необходимого для синтеза ферментов, гормонов, иммунных тел, регенерации тканей. Белковая часть пищевой композиции, состоящая из продуктов высокоэффективной переработки, исполняет роль стимуляторов регенерации тканей в организме человека.

Липиды являются одним из наиболее лабильных компонентов продуктов питания, в связи с этим изучение их состава направлено на прогнозирование профилактического действия и сроков хранения продукта. Липидная часть, состоящая из растительных масел, содержит линолевую, линоленовую и арахидоновую кислоты, т.е. незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты, которые не могут синтезироваться в организме, но способны оказывать положительное влияние на усиление функционирования иммунной системы⁶. Кроме того, липидная часть композиции содержит жирорастворимые витамины А, Е, Д (Богатырев с соавт., 1997; Коденцова с соавт., 2010).

Углеводная часть, входящая в пищевую композицию, варьирует и представляется различными видами овощных, зерновых культур и фруктов, что позволяет разнообразить вкусоароматическую гамму продуктов, а пищевые волокна этого сырья выполняют роль энтеросорбентов.

Учитывая современные тенденции науки о питании, исследователи на основе научной методологии проектирования пищи разрабатывают новые виды пищевых композиций, обладающих целенаправленными профилактическими свойствами

⁶ Андрейчук, В. П. (2005). РФ Патент № 2255604. Биологически активная добавка к пище для профилактики кальциевой недостаточности и оптимизации кальциевого обмена. М.: Андрейчук В. П.

(Богатырев с соавт., 1997; Букавнева с соавт., 2007; Бошкочев с соавт., 2018). Они, как правило, включают пищевые вещества, способствующие регулированию или ликвидации метаболических расстройств и патологических сдвигов в организме человека.

Молоко — источник важных биологически активных нутриентов

Пищевая и биологическая ценность молока заключается в том, что его компоненты сбалансированы, легко усваиваются. Компоненты молока используются в основном для «строительных» (пластических) целей (Wang et al., 2019). Исключительно благоприятно сбалансирован в молоке комплекс витаминов А, В₂, D, каротина, холина, токоферолов, тиамина и аскорбиновой кислоты. Всё это оказывает нормализующее влияние на уровень холестерина в сыворотке крови (Ганиева с соавт., 2021).

Аминокислоты молока настолько хорошо сбалансированы, что его белки усваиваются на 98%. По этому показателю они уступают (и только на 2%) белкам яйца, аминокислотный баланс которого принят Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) за эталон (100%). Кроме того, некоторые необходимые организму вещества встречаются только в молоке. Назовём лишь дефицитную арахионовую кислоту и биологически активный белково-лецитиновый комплекс. Оба эти компонента препятствуют развитию атеросклеротических процессов в организме (Chouinard et al., 1999; Lee et al., 2006).

В молоке представлены в основном три вида белка: казеин (казеиноген), лактоальбумин, лактоглобулин. Все виды молочных белков хорошо сбалансированы по аминокислотному составу. Казеина в молоке — 2,7% (81,9% от общего количества всех белков), лактоальбумина — 0,4% (12,1%), лактоглобулина — 0,2% (6%) (Zhao et al., 2013; Rezaei et al., 2016).

Белки молока отличаются тем, что связаны в едином комплексе с фосфором и кальцием, а также особенностями коллоидной структуры (Pietrzak-Fiećko & Kamelska-Sadowska, 2020). Кальций молока самый легкоусваиваемый из существующих в природе источников кальция.

Современная наука о питании рассматривает пищу не только как источник энергии, но и важных биологически активных нутриентов, которые участвуют в регуляции различных функций и систем организма человека и могут быть включены в состав функционального питания (Самсонов, 2002; Костюченко, 2014). Одним из них является кальций, который является жизненно важным элементом для организма. При его недостатке происходит деформация клеток и дезинтеграция тканей, снижение свёртываемости крови, нарушение проницаемости клеточных мембран, спазм мышц, размягчение костей, что находит свои клинические проявления (Ефремов с соавт., 2016).

Кальций. Способы получения кальцийсодержащих препаратов

Кальций особенно важен для эффективности регенеративных процессов при повреждениях и заболеваниях костной ткани, патологиях опорно-двигательного аппарата, однако не во всех пищевых продуктах кальций находится в доступной для организма форме, и поэтому во многих странах разрабатывают различные способы получения разнообразных кальцийсодержащих препаратов (Бурмистров с соавт., 2004; Шаколько с соавт., 2017).

Кальцийсодержащий препарат, производимый фирмой «Роше» (Швейцария), содержащий карбонат кальция, аскорбиновую кислоту, витамины, представляет собой минерально-витаминный комплекс и предлагает растворимую форму кальция в виде «шипучего» напитка.

Хорошо известен также кальцийсодержащий препарат «глюконат кальция». Однако, как и лактат кальция, это соединение представляет собой малоэффективный источник кальция ввиду невысокого процента его усвоения.

Препарат целевого назначения «Остеогенон», производимый фирмой «Робафарм» (Франция), содержит, наряду с фосфатом кальция, такие компоненты, как протеогликан, коллаген, микроэлементы и направлен на стимулирование метаболизма в остеокластах.

«Остео-Каль с глюкозамином» компании «Nutricare» (США) разработан как БАД к пище, улучшающая

функциональное состояние костной системы. Содержит кальций, витамин D, траву «конский хвост», глюкозамин, кремний, коллаген.

В биологически активный комплекс «Остео Вера» компании «Sevan International» (США), кроме кальция в форме цитрата, карбоната и глицината, включены магний, витамин D, фолиевая кислота, витамины группы B, бетаин. Препарат предназначен для коррекции остеопороза, стимулирует процесс всасывания кальция у лиц пожилого возраста.

ЗАО «Русско-Дальневосточный продукт» (Москва) создали лечебно-профилактическую композицию «Остеомакс Экстра» для улучшения функционального состояния опорно-двигательного аппарата, включающую гликамин (белково-гликозидный комплекс из голотурии), глюкозамин гидрохлорид, сухой экстракт корня лопуха, сухой экстракт коры осины и криопорошок скорлупы куриных яиц.

Для восполнения дефицита и нормализации обмена кальция в организме, В.Н. Зеленков, Е.Н. Офицеров разработали биологически активную кальцийсодержащую добавку на основе амаранта, в которую входит листовая часть амаранта в сухом виде, соединения фосфора минерального (или органического) происхождения и наполнители⁷.

В.П. Андрейчук предложил биологически активную добавку к пище для профилактики кальциевой недостаточности и оптимизации кальциевого обмена на основе кальция биологического происхождения (яичная скорлупа, раковины моллюсков) и минерально-органического комплекса из соединений магния, цинка, меди, калия, йода, витамина D, аскорбатных, цитратных, сукцинатных, тиосульфатных анионов, аминокислот лизина, аргинина, триптофана, соединений полиуроновой кислоты⁸.

Российские ученые разработали средство для профилактики и лечения заболеваний костей и суста-

вов, применяя высоколактозное коровье молоко и молочные продукты на его основе в качестве средства для профилактики и лечения заболеваний костей и суставов, связанных с недостатком в организме кальция и галактозы⁹.

Биокальций «Гай Бао», разработанный корпорацией «Тяньши» (Китай), содержит костный биокальций в соединении с кислотой дерева Тореза; витамин D и казеинофосфопептиды. Витамин D и казеинфосфопептиды в настоящее время применяются в мировой практике в качестве активаторов усвоения кальция, препятствуют превращению в тонком кишечнике ионов кальция в кальциевую соль, и, следовательно, обеспечивают полное усвоение вновь поступившего кальция (до 100%) и переработку уже отложившейся в организме (вредной) кальциевой соли в ионы кальция для усвоения организмом дополнительно 15–20% кальция.

Компания «Хумана Мильхунион ЭГ» (Германия) предложила использовать кальций-пептидный компонент, получаемый, по меньшей мере, из одной кальциевой соли, казеинофосфопептидов и гликомакропептида. Тем самым удается использовать присущий молоку принцип, состоящий в связывании больших количеств кальция с белками.

Однако, в целом перечисленные препараты не решают полностью проблему необходимости создания специализированного пищевого продукта для больных с многочисленными травмами, повреждениями костной системы, ожогами. Недостаточно только предоставить необходимые организму белок и кальций в доступной форме или стимулировать отдельные звенья обмена, когда следует обеспечить системный подход к стимулированию регенеративных процессов в поврежденной ткани, в том числе костной¹⁰.

⁷ Зеленков, В. Н., & Офицеров, Е. Н. (2005). РФ Патент 2250046. *Биологически активная кальцийсодержащая добавка на основе амаранта для восполнения дефицита и нормализации обмена кальция в организме*. М.: ДЕКА.

⁸ Андрейчук, В. П. (2005). РФ Патент № 2255604. *Биологически активная добавка к пище для профилактики кальциевой недостаточности и оптимизации кальциевого обмена*. М.: Андрейчук В. П.

⁹ Доценко, В. А., Кузьмин, М. Б., Кяккинен, А. И., & Романихин, В. Б. (2007). РФ Патент 2294749. *Средство для профилактики и лечения заболеваний костей и суставов*. М.: Экономика.

¹⁰ Самсонова, М. А. (Ред.) (1992). *Справочник по диетологии*. М.: Медицина.

Диагностика питательной недостаточности

При назначении энтерального питания необходимо определить степень питательно недостаточности, рассчитать фактические потребности организма в основных нутриентах и энергии, определить дозировку и состав смеси с учетом патологии и тяжести состояния больного, выбрать путь и скорость введения питательной смеси (Свиридов с соавт., 2011; Репин & Николенко, 2019).

Антропометрические методы включают в себя определение индекса массы тела (ИМТ) толщины кожной складки трицепса, объема плеча. В качестве высокоинформативного и простого показателя, отражающего состояние питания, используется индекс массы тела (ИМТ), определяемый как отношение массы тела (кг) к росту (м), возведенному в квадрат. Оценка состояния питательного статуса по показателю индекса массы тела представлена в Таблице 4 (Букавнева с соавт., 2007; Луфта, 2016).

Таблица 4

Характеристика питательного статуса по показателю ИМТ (кг/кв. м) с учетом возраста

Характеристика питательного статуса	Значение ИМТ в возрасте	
	18–25 лет	26 лет и старше
Нормальный	19,5–22,9	20,0–25,9
Повышенное питание	23,0–27,4	26,0–27,9
Ожирение 1 степени	27,5–29,9	28,0–30,9
Ожирение 2 степени	30,0–34,9	31,0–35,9
Ожирение 3 степени	35,0–39,9	36,0–40,9
Ожирение 4 степени	40,0 и выше	41,0 и выше
Пониженное питание	18,5–19,4	19,0–19,9
Гипотрофия 1 степени	17,0–18,4	17,5–18,9
Гипотрофия 2 степени	15,0–16,9	15,5–17,4
Гипотрофия 3 степени	Ниже 15,0	Ниже 15,5

Примерный рацион искусственного лечебного питания, исходя из тяжести состояния представлен в Таблице 5.

Таблица 5

Примерный рацион искусственного лечебного питания, исходя из тяжести состояния

Нутриенты	Умеренная тяжесть состояния	Умеренная тяжесть состояния	Тяжелое состояние
Вода, мл/кг	30	50	100–150
Белок г/кг	0,72–1,0	1,5–2,0	3,0–3,5
Жир г/кг	2	3	3–4
Углеводы г/кг	2	5	7
Na ⁺ , ммоль	1,0–1,4	2,0–3,0	3,0–4,0
K ⁺ , ммоль	0,7–0,9	2,0	3,0–4,0
Энергия, ккал	30–40	40–50	50–60

По типу белковой недостаточности, в зависимости от преимущественного дефицита мышечных или висцеральных белков, различают три вида нарушений питательного статуса (Поляков с соавт., 2017; Поцхверия с соавт., 2021).

- 1 — маразм — выраженный дефицит массы мышечного белка на фоне отсутствия дефицитов висцеральных белков, снижена масса тела, запасы жира истощены, возможен иммунодефицит;
- 2 — квашиоркор — дефицит висцеральных белков при отсутствии снижения мышечных белков, масса тела нормальная или повышенная, запасы жира сохранены, возможен иммунодефицит;
- 3 — смешанный тип — маразм + квашиоркор — дефицит как мышечных, так и висцеральных белков, масса тела снижена, запасы жира истощены, иммунодефицит.

В среднем, в катаболической фазе послеоперационного периода потребность больных в нутриентах на 1 кг массы тела в сутки составляет: в белке — 1,5–2 г/кг или 0,26–0,32 г азота или 0,7–2 г аминокислот (при необходимости дозу можно увеличить до 2,5 г/кг), энергии — 35–40 ккал/кг, углеводов — 3–5 г/кг, жиров — 2–3 г/кг, натрия — 1,5–2 ммоль/кг, калия — 1,5–2 ммоль/кг, магния — 0,05–0,1 ммоль/кг, кальция — 0,05–0,1 ммоль/кг, хлора — 1–3 ммоль/кг, фосфора — 0,2–0,5 ммоль/кг. Вода вводится из расчета 40–50 мл/кг массы тела¹¹ (Бурмистров с соавт., 2004; Свиридов с соавт., 2011).

¹¹ Доценко, В. А., Кузьмин, М. Б., Кяккинен, А. И., & Романихин, В. Б. (2007). РФ Патент 2294749. Средство для профилактики и лечения заболеваний костей и суставов. М.: Экономика.

В процессе активной нутритивной поддержки должен осуществляться непрерывный клинико-лабораторный мониторинг состояния пациентов, направленный на оценку эффективности и адекватности нутритивной поддержки, и на раннюю диагностику вероятных осложнений, вызванных проводимым энтеральным питанием (Пасечник, 2020).

Выбор состава смесей для энтерального питания

Выбор смесей для энтерального питания (ЭП) зависит от степени питательной недостаточности, характера и тяжести течения заболевания, степени сохранности функций желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) (Lee et al., 2013; Хорошилов, 2016).

Стандартные смеси могут использоваться в качестве полной диеты для перорального дополнительного питания, а также вводиться через зонд в желудок или тонкую кишку. Как правило, они содержат все необходимые макронутриенты, микронутриенты и витамины в соответствии с суточными потребностями организма в различных патологических состояниях и предназначаются для коррекции или предупреждения белково-энергетической недостаточности практически во всех ситуациях, когда естественное питание невозможно или недостаточно (Bertolini, et al., 2003; Doig et al., 2011; Chapple et al., 2016; Malik et al., 2016).

Наиболее часто используемые стандартные диеты: Унипит, Нутриэн Стандарт, Нутриэн Остео (Нутритек, Россия), Клинутрен оптимум (Нестле, Швейцария), Берламин модуляр (Берлин Хеми, Германия), Нутрикомп Стандарт, Нутрикомп Файбер, (Б.Браун, Германия), Нутризон, Нутризон Стандарт (Нутриция, Голландия), МД Мил Клинипит (Летри де Краон, Франция), Нутрилан Файбер (Нутрихем, Германия).

Полуэлементные смеси — сбалансированные смеси, содержат белковые гидролизаты и предназначены для ЭП хирургических и терапевтических больных различного профиля, имеющих нарушения функций ЖКТ — Нутриэн Элементаль (Нутритек, Россия), Пептамен (Нестле, Швейцария).

Иммуномодулирующие гиперметаболические смеси — предназначены для коррекции нарушений метаболического и иммунного статуса у больных и пострадавших с тяжелой травмой, ожогами, сепсисом, риском развития инфекции и инфекционных осложнений, особенно в критических состояниях — Нутриэн Иммун (Нутритек, Россия).

Использование стандартных полимерных диет предполагает сохранность функций ЖКТ или этап их восстановления при переходе от парентерального питания к энтеральному и обычному питанию (Mancl & Muzevich, 2013; Chibishev et al., 2016; Li et al., 2018; Pu et al., 2018). Состав смесей приведен в Таблице 6.

Таблица 6
Состав питательных смесей для энтерального питания

Название	На 1 литр смеси			Ккал/мл
	Белок, г	Углеводы, г	Жиры, г	
<i>Стандартные смеси</i>				
Унипит	40,0	129	36	1,0
Нутриэн Стандарт (сывороточный белок, МСТ)	40,0	129	36	1,0
Нутриэн Остео	51,0	115	37	1,0
Берламин Модуляр	38,0	138	34	1,0
МД мил Клинипит	40,0	120	39	1,0
Клинутрен	40,0	126,3	38	1,0
Нутризон	40,0	122	39	1,0
Нутризон Стандарт	40,0	123	39	1,0
Нутрикомп Стандарт	36,0	120	39	1,0
Нутрилан МСТ	35,0	117	47	1,0
Нутрикомп Файбер	34,1	120,6	37,6	1,0

Окончание Таблицы 6

Название	На 1 литр смеси			Ккал/мл
	Белок, г	Углеводы, г	Жиры, г	
<i>Высококалорийные смеси</i>				
Нутридринк	60,0	184	58	1,5
Нутризон энергия	60,0	185	58	1,5
<i>Иммунодиеты с высоким содержанием глутамина, аргинина и омега-3 жирных кислот</i>				
Нутриэн Иммун	70,0	142	45	1,25
<i>Полуэлементные смеси</i>				
Нутриэн Элементаль	42,0	135	26,4	1,0
Пептамен	38,7	123	39,8	1,0
<i>Специальные смеси</i>				
Нутриэн Гепат	25,8	160	14,0	1,0
Нутриэн Нефро	25,8	126	52	1,0
Нутриэн Пульмо	56,4	71	84	1,0
Нутриэн Диабет	40,0	120	45	1,0
Нутриэн Фтизио	47,0	108	42	1,0
Гепамин	69,5	51,7	-	0,5
Ренамин	50,5	54,6	-	0,5
Нутрикомп АДН Ренал	36,8	100,2	41,3	1,0
Нутрикомп АДН Диабет	41,5	80	56	1,0
Диазон	43,0	113	42	1,0
Клинутрен Диабет	38,1	111,7	44,2	1,0
Модулен	36,0	110	47	1,0
<i>Модули</i>				
МСТ модуль Берламин	20,5	20,5	98,8	1,0
Протеин модуль Берламин	87,1	1,0	4,5	0,38

Специальные (метаболически ориентированные) смеси — Нутриэн Гепат, Нутриэн Нефро, Нутриэн Пульмо, Нутриэн Диабет, Нутриэн Фтизио (Нутритек, Россия), Гепамин, Ренамин (ЗАО Академия Т, Россия), Нутрикомп АДН Браун Диабет, Нутрикомп АДН Браун Ренал (Б. Браун, Германия), Диазон (Нутриция, Голландия), Клинутрен Диабет, Модулен (Нестле, Швейцария).

Модули: — МСТ модуль, Протеин модуль, Карнитин модуль (Берлин Хеми, Германия), Нутрикомп Протеиновый модуль, Нутрикомп Энергетический модуль (Б. Браун, Германия).

Смеси ЭП могут в течение длительного времени применяться как единственный источник пищевых веществ и энергии, а также как дополнение к диетическому питанию. Используются в виде

напитка, добавки к пище, а также энтерального зондового питания.

Содержание сывороточного белка в отдельных смесях, повышает биологическую и питательную ценность, легкое усвоение белковой составляющей и смеси в целом. Особенностью сывороточного белка, полученного с использованием современных мембранных технологий, является сбалансированный аминокислотный состав.

Присутствие в смеси среднецепочечных триглицеридов (50% МСТ) повышает ее усвояемость в ЖКТ, позволяет назначать в ранние сроки после операций, в том числе на ЖКТ, при ограниченном усвоении жиров у больных с нарушениями функции пищеварительной системы (Qiu et al., 2017).

В отдельных смесях углеводы представлены смесью мальтодекстринов с различным декстрозным эквивалентом (степенью гидролиза) и определенным соотношением углеводных компонентов, что обеспечивает физиологическую осмолярность и удовлетворительные органолептические свойства данных смесей. Дополнительное введение в состав смесей глутамина, аргинина, омега-3 жирных кислот определяет иммуномодулирующий эффект энтерального питания (Van, 2019).

Медико-биологические требования к составу смесей для энтерального питания пациентов с белково-энергетической недостаточностью

При определении химического состава смесей для энтерального питания пациентов с белково-энергетической недостаточностью, прежде всего, учитывали существующие подходы к формированию состава в зависимости от патогенетических особенностей и характера изменения метаболизма в организме. Химический состав смесей для энтерального питания пациентов с белково-энергетической недостаточностью должен содержать источники белка, энергии, витамины, минеральные вещества, биологически активные вещества направленного специфического действия, а также отвечать формуле оптимального питания (Wang et al., 2019).

Содержание белка в составе разрабатываемых продуктов должно находиться в пределах 20–25 г на 100 г продукта, что составит около 20–25 % от энергетической ценности продукта. Увеличение энергетической квоты белков нецелесообразно, так часть белка будет использоваться не по его прямому назначению, то есть на пластические нужды, а в качестве источника энергии. Уменьшение содержания белков в продукте также нежелательно, так как это усложнит формирование сбалансированного состава в отношении их белковой составляющей.

Все процессы биосинтеза в организме являются реакциями, протекающими с потреблением энергии. Источником энергии в основном выступают углеводы и жиры. Обеспечивая организм необходимой энергией, они предохраняют эндогенный белок от использования на энергетические нужды.

Содержание углеводов в составе указанного пищевого продукта должно находиться в пределах 50–60

г на 100 г продукта, что составит около 60–65 % от энергетической ценности продукта. Моно- и дисахариды следует поддерживать на уровне 25–30 % от общего количества углеводов, что несколько превышает обычно рекомендуемые величины. Такое увеличение связано с их благоприятным влиянием на восстановление метаболизма тканей. Обменные процессы в организме человека в значительной степени зависят от глюкозы, как источника энергии. Особенно это актуально в условиях интенсивного распада эндогенных энергетических резервов, в первую очередь жировой ткани.

Введение липидов в рецептуру в определённой степени является добавлением энергетических веществ. Однако их включение в виде высоконасыщенных жирных кислот, являющихся эссенциальными нутриентами, будет оказывать позитивное влияние на синтез тканевых гормонов (простагландинов), предшественниками которых они являются, имеющих большое значение для нормализации процессов регенерации тканей.

Содержание жира должно находиться в пределах 10–15 г или 15–20 % от общей энергетической ценности, в основном в виде эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот.

Витаминная обеспеченность организма также имеет большое значение для повышения эффективности восстановительных процессов. Поэтому включение витаминов в состав рецептуры, учитывая повышенную потребность организма в них, является обязательным (Коденцова с соавт., 2010; van Steen et al., 2018).

Рекомендуемое содержание витаминов следует поддерживать на повышенных уровнях, составляющих до 50 % суточной потребности пациентов с травмами, ожогами и др. Это обусловлено, прежде всего, выраженной способностью витаминов усиливать интенсивность процессов регенерации, о чём свидетельствуют результаты применения витаминотерапии при лечении пациентов и, кроме того, их дефицитом в традиционном ассортименте диет (Bordejé et al., 2019; Teichert et al., 2021)

Особое внимание следует обратить на введение таких жирорастворимых витаминов как витамин Д, А, Е, К, а также аскорбиновой кислоты (витамин С), имеющих важное значение для нормализации

процессов метаболизма. Кроме того, витамины А, Е и С являются мощными природными антиоксидантами, что будет способствовать нормализации антиоксидантной активности клеток организма, учитывая активацию процессов перекисного окисления липидов (van Steen et al., 2018; Yan et al., 2019).

Исходя из вышесказанного, сформулированные требования по макро- и микронутриентному составу смесей для энтерального питания пациентов с белково-энергетической недостаточностью, представлены в таблице 7.

Таблица 7

Состав смесей для энтерального питания пациентов с белково-энергетической недостаточностью

Показатель	Содержание в 100 г сухого продукта
Белок, г	20–25
Жир, г	10–15
Углеводы, г	50–60
Энергетическая ценность, ккал	450–500
Минеральные вещества:	
Кальций, мг	485–655
Фосфор, мг	400–540
Калий, мг	480–650
Магний, мг	86–116
Железо, мг	3,15–4,25
Медь, мг	0,31–0,43
Цинк, мг	6,2–8,4
Йод, мкг	30–40
Марганец, мг	0,31–0,43
Селен, мкг	14–18
Хром, мкг	13–17
Молибден, мкг	14–20
Витамины, не менее:	
Д, мкг	0,57
А, мкг ретинол- эквивалента	400
С, мг	35
Е, мг токоферол- эквивалента	2,09
К, мг	0,015
В ₁ , мг	0,302
В ₂ , мг	0,35
В ₆ , мг	0,442
Ниацин, мг ниацин- эквивалента	3,72
Фолат, мкг	470
В ₁₂ , мкг	0,7

Примечание:

1 ретинол- эквивалент = 1 мкг ретинола или 6 мкг β-каротина;

1 токоферол- эквивалент = 1 мг – α- токоферола;

1 ниацин эквивалент = 1 мг ниацина или 60 мг триптофана.

ВЫВОДЫ

Разработка данных видов продукта питания должна предусматривать использование экологически безопасного сырья животного и растительного происхождения, биологически активных добавок, улучшающих их потребительские свойства. Существенное расширение в настоящее время спектра используемых биологически активных веществ делает возможным разработку эффективных продуктов питания, обогащённых не каким-то одним или небольшим числом полезных компонентов, а, по возможности, всем или наиболее полным набором всех незаменимых питательных веществ. Введение вкусовых и ароматических добавок обеспечит продуктам высокие органолептические свойства, что также является важным. Технология производства специализированного продукта питания для больных, нуждающихся в лечебном питании, должна предусматривать высокоэффективные технологические процессы, максимально сохраняющие пищевую ценность исходного сырья и обеспечивающие высокий санитарно-гигиенический уровень производства. Требуется комплексный анализ органолептических, физико-химических и микробиологических показателей нового продукта, а также проведение его клинических испытаний, подтверждающих функциональные свойства. В связи с вышеизложенным, актуальным является проведение исследований по разработке рецептуры и технологии обогащённого продукта для питания больных с многочисленными травмами, повреждениями и заболеваниями костной системы, ожогами.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Смирнов Станислав Олегович: концептуализация; создание модели исследования; проведение исследования; редактирование рукописи.

Фазуллина Олия Фанавиевна: концептуализация; создание модели исследования; проведение исследования; создание черновика рукописи.

Данилкин Алексей Юрьевич: проведение исследования; формальный анализ.

Бакуменко Олеся Евгеньевна: проведение исследования; администрирование данных.

Кандроков Роман Хажсетович: проведение исследования; визуализация

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Богатырев, А. И., Большаков, О. В., & Измеров, Н. Ф. (1997). Проблемы обогащения продуктов и рационов. Значение биологически активных добавок в коррекции пищевого статуса и профилактике профессиональных и других неинфекционных заболеваний. *Политика в области здорового питания*, (3), 2–10.
- Bogatyrev, A. I., Bol'shakov, O. V., & Izmerov, N. F. (1997). Problems of fortification of foods and diets. The importance of biologically active additives in the correction of nutritional status and prevention of occupational and other non-communicable diseases. *Healthy Nutrition Policy*, (3), 2–10. (In Russ.)
- Бошкоев, Ж. Б., Джузумалиева, К. С., Алтухова, И. Г., Умуралиева, М. И., & Эсенгулова, Ч. Б. (2018). Раннее энтеральное питание в комплексе интенсивной терапии. *Медицина Кыргызстана*, (5), 41–43. <https://doi.org/10.22141/2224-0586.7.102.2019.180353>
- Boshkoev, Zh. B., Dzhozumaliev, K. S., Altukhova, I. G., Umuralieva, M. I., & Esengulova, Ch. B. (2018). Early enteral nutrition in the intensive care complex. *Medicine of Kyrgyzstan*, (5), 41–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.22141/2224-0586.7.102.2019.180353>
- Букавнева, Н. С., Поздняков, А. Л., & Никитюк, Д. Б. (2007). Методические подходы к использованию комплексных антропометрических методов исследования клинической практике. *Вопросы питания*, (6), 13–16.
- Bukavneva, N. S., Pozdnyakov, A. L., & Nikityuk, D. B. (2007). Methodological approaches to the use of complex anthropometric research methods in clinical practice. *Nutrition Issues*, (6), 13–16. (In Russ.)
- Бурмистров, Г. П., Кузнецова, Н. А., Жукова, И. В., & Фазуллина, О. Ф. (2004). Продукт функционального назначения для раненых и пораженных с повреждением костной системы. В *Прогрессивные методы хранения плодов, овощей и зерна: Материалы международной научно-методической конференции* (с. 179–183). Мичуринск: Мичуринский ГАУ.
- Burmistrov, G. P., Kuznetsova, N. A., Zhukova, I. V., & Fazullina, O. F. (2004). A functional product for the wounded and affected with damage to the bone system. In *Progressive methods of storing fruits, vegetables and grains: Materials of the International scientific and methodological conference* (pp. 179–183). Michurinsk: Michurinskii GAU. (In Russ.)
- Волнин, А. А., Шералиев, Ф. Д., Шапошников, М. Н., Зайцев, С. Ю., Багиров, В. А., & Зиновьев, Н. А. (2017). Аминокислотный скор белков молока межвидовых гибридов архара и овец. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, (4), 240–247. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2017-04.31>
- Volnin, A. A., Sheraliev, F. D., Shaposhnikov, M. N., Zaitsev, S. Yu., Bagirov, V. A., & Zinov'ev, N. A. (2017). Amino acid score of milk proteins of interspecific hybrids of argali and sheep. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, (4), 240–247. (In Russ.) <https://doi.org/10.18551/rjoas.2017-04.31>
- Ганиева, Е. С., Канарейкина, С. Г., Хабирова, Ф. А., & Канарейкин, В. И. (2021). Сравнительный анализ биологической и пищевой ценности молока разных сельскохозяйственных животных. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*, 1(57), 49–55. <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2021-57-1-49-55>
- Ganieva, E. S., Kanareikina, S. G., Khabirova, F. A., & Kanareikin, V. I. (2021). Comparative analysis of biological and nutritional value of milk of different farm animals. *Bulletin of the Bashkir State Agrarian University*, 1(57), 49–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2021-57-1-49-55>
- Добровольский, В. Ф., Кожин, Н. А., Зиновьева, С. В., & Васильева, Т. А. (2015). Основы формирования двух взаимосвязанных систем показателей эффективности пищевой продукции. *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*, (4), 42–44.
- Dobrovol'skii, V. F., Kozhin, N. A., Zinov'eva, S. V., & Vasil'eva, T. A. (2015). Fundamentals of the formation of two interrelated systems of indicators of the effectiveness of food products. *Economics of Agricultural and Processing Enterprises*, (4), 42–44. (In Russ.)
- Ефремов, С. М., Талабан, В. О., Артемьева, В. В., Дерягин, М. Н., & Ломиворотов, В. В. (2016). Теория и практика определения энергетических потребностей пациентов отделений реанимации и интенсивной терапии. *Вестник анестезиологии и реаниматологии*, 13(4), 61–67.
- Efremov, S. M., Talaban, V. O., Artem'eva, V. V., Deryagin, M. N., & Lomivorotov, V. V. (2016). Theory and practice of determining the energy needs of patients in intensive care and intensive care units. *Bulletin of Anesthesiology and Resuscitation*, 13(4), 61–67. (In Russ.)
- Коденцова, В. М. Вржесинская, О. А. Коденцова, В. М., Спиричев, В. Б., & Шатнюк, Л. Н. (2010). Обоснование уровня обогащения пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами. *Вопросы питания*, 79(1), 23–33.
- Kodentsova, V. M. Vrzhesinskaya, O. A. Kodentsova, V. M., Spirichev, V. B., & Shatnyuk, L. N. (2010). Substantiation of the level of fortification of food products with vitamins and minerals. *Nutrition Issues*, 79(1), 23–33. (In Russ.)
- Костюченко, М. В. (2014). Особенности коррекции белковоэнергетической недостаточности при хирургическом эндотоксикозе. *Хирургия*, (1), 20–23.
- Kostyuchenko, M. V. (2014). Features of correction of protein-energy deficiency in surgical endotoxemia. *Surgery*, (1), 20–23. (In Russ.)
- Луфт, В. М. (2016). *Руководство по клиническому питанию*. СПб.: Арт-Экспресс.
- Luft, V. M. (2016). *Clinical Nutrition Guidelines*. S-Petersburg: Art-Ekspress. (In Russ.)
- Пасечник, И. Н. (2020). Нутритивная поддержка больных в критических состояниях. *Общая реаниматология*,

- 16(4), 40–59. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2020-4-40-59>
- Pasechnik, I. N. (2020). Nutritional support for patients in critical conditions. *General Resuscitation*, 16(4), 40–59. (In Russ.) <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2020-4-40-59>
- Поляков, И. В., Лейдерман, И. Н., & Золотухин, К. Н. (2017). Проблема белково-энергетической недостаточности в отделении реанимации и интенсивной терапии хирургического профиля. *Вестник интенсивной терапии имени А. И. Салтанова*, (1), 56–66.
- Polyakov, I. V., Leiderman, I. N., & Zolotukhin, K. N. (2017). The problem of protein-energy deficiency in the intensive care unit of surgical profile. *VBulletin of Intensive Therapy Named after A. I. Saltanov*, (1), 56–66. (In Russ.)
- Пощверия, М. М., Гольдфарб, Ю. С., Маткевич, В. А., & Рык, А. А. (2021). Современные подходы к энтеральному питанию в интенсивной терапии. *Неотложная медицинская помощь*, 10(1), 108–121. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2021-10-1-108-121>
- Potskhveriya, M. M., Gol'dfarb, Yu. S., Matkevich, V. A., & Ryk, A. A. (2021). Modern approaches to enteral nutrition in intensive care. *Emergency Medical Care*, 10(1), 108–121. (In Russ.) <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2021-10-1-108-121>
- Репин, М. В., & Николенко, А. В. (2019). Раннее начало энтерального зондового питания в лечении и профилактике послеоперационных моторноэвакуаторных нарушений желудка и кишечника. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*, (7), 34–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-167-7-34-39>
- Repin, M. V., & Nikolenko, A. V. (2019). Early initiation of enteral probe nutrition in the treatment and prevention of postoperative motor evacuation disorders of the stomach and intestines. *Experimental and Clinical Gastroenterology*, (7), 34–39. <https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-167-7-34-39>
- Самсонов, М. А. (2002). Концепция сбалансированного питания и её значение в изучении механизмов лечебного действия пищи. *Вопросы питания*, (5), 3–9.
- Samsonov, M. A. (2002). The concept of balanced nutrition and its significance in the study of the mechanisms of the therapeutic effect of food. *Nutrition Issues*, (5), 3–9. (In Russ.)
- Свиридов, С. В., Розумейко, В. П., & Алиева, Т. У. (2011). Предоперационная оценка белково-энергетической недостаточности и иммунного статуса у хирургических больных. *Трудный пациент*, 8(11), 47–51.
- Sviridov, S. V., Rozumeiko, V. P., & Alieva, T. U. (2011). Preoperative assessment of protein-energy deficiency and immune status in surgical patients. *Difficult Patient*, 8(11), 47–51. (In Russ.)
- Хорошилов, И. Е. (2016). Значение открытий А. М. Уголева для развития энтерального и парентерального питания. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*, (2), 14–17.
- Khoroshilov, I. E. (2016). Znachenie otkrytii A. M. Angles for the development of enteral and parenteral nutrition. *Experimental and Clinical Gastroenterology*, (2), 14–17. (In Russ.)
- Шакоцько, А. П., Марутян, З. Г., Кинишимова, А. Ю., Клычникова, Е. В., Тазина, Е. В., & Рык, А. А. (2017). Безопасность смешанного искусственного питания у пострадавших с тяжелой сочетанной черепно-мозговой травмой. *Неотложная медицинская помощь*, 6(3), 257–262. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2017-6-3-257-262>
- Shakot'ko, A. P., Marutyanyan, Z. G., Kinishemova, A. Yu., Klychnikova, E. V., Tazina, E. V., & Ryk, A. A. (2017). Safety of mixed artificial nutrition in patients with severe combined traumatic brain injury. *Emergency Medical Care*, 6(3), 257–262. (In Russ.) <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2017-6-3-257-262>
- Bertolini, G., Iapichino, G., Radrizzani, D., Facchini, R., Simini, B., Bruzzone, P., Zsforlin, G., & Tognoni, G. (2003). Early enteral immunonutrition in patients with severe sepsis: results of an interim analysis of a randomized multicentre clinical trial. *Intensive Care Medicine*, 29, 834–840. <https://doi.org/10.1007/s00134-003-1711-5>
- Bordejé, M. L., Montejo, J. C., Mateu, M. L., Solera, M., Acosta, J. A., Juan, M., Garcia-Cordoba, F., Garcia-Martinez, M. A., & Gastaldo, R. (2019). Intra-abdominal pressure as a marker of enteral nutrition intolerance in critically III patients. *Nutrients*, 11(11), Article 2616. <https://doi.org/10.3390/nu11112616>
- Chapple, L. A., Chapman, M. J., Lange, K., Deane, A. M., & Heyland, D. K. (2016). Nutrition support practices in critically III head-injured patients: A global perspective. *Critical Care*, 20, Article 6. <https://doi.org/10.1186/s13054-015-1177-1>
- Chibishev, A., Markoski, V., Smokovski, I., Shikole, E., & Stevcevska, A. (2016). Nutritional therapy in the treatment of acute corrosive intoxication in adults. *Materia Socio-Medica*, 28(1), 66–70. <https://doi.org/10.5455/msm.2016.28.66-70>
- Chouinard, P. Y., Corneau, L., Barbano, D. M., Metzger, L. E., & Bauman, D. E. (1999). Conjugated linoleic acids alter milk fatty acid composition and inhibit milk fat secretion in dairy cows. *Journal of Nutrition*, 129(8), 1579–1584. <https://doi.org/10.1093/jn/129.8.1579>
- Doig, G. S., Heighes, P. T., Simpson, F., & Sweetman, E. A. (2011). Early enteral nutrition reduces mortality in trauma patients requiring intensive care: A metaanalysis of randomised controlled trials. *Injury*, 42(1), 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2010.06.008>
- Heylan, D. K., Stephens, K. E., Day, A. G., & McClave, S. A. (2011). The success of enteral nutrition and ICU-acquired infections: A multicenter observational study. *Clinical Nutrition*, 30(2), 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2010.09.011>
- Lee, H. K., Lee, H., No, J. M., Jeon, Y. T., Hwang, J. W., & Lim, Y. J. (2013). Factors influencing outcome in patients with cardiac arrest in the ICU. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 57(6), 784–792. <https://doi.org/10.1111/aas.12117>
- Lee, S. W., Chouinard, Y., & Van, B. N. (2006). Conjugated linoleic acids alter milk fatty acid composition

- and inhibit milk fat secretion in dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 19(6), 799–805. <https://doi.org/10.1093/jn/129.8.1579>
- Li, W., Liu, J., Zhao, S., & Li, J. J. (2018). Safety and efficacy of total parenteral nutrition versus total enteral nutrition for patients with severe acute pancreatitis: A meta-analysis. *Journal of International Medical Research*, 46(9), 3948–3958. <https://doi.org/10.1177/0300060518782070>
- Malik, A. A., Rajandram, R., Tah, P. C., Hakumat-Rai, V. R., & Chin, K. F. (2016). Microbial cell preparation in enteral feeding in critically ill patients: A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. *Journal of Critical Care*, 32, 182–188. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2015.12.008>
- Mancl, E. E., & Muzevich, K. M. (2013). Tolerability and safety of enteral nutrition in critically ill patients receiving intravenous vasopressor therapy. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 37(5), 641–651. <https://doi.org/10.1177/0148607112470460>
- Pietrzak-Fiećko, R., & Kamelska-Sadowska, A. M. (2020). The comparison of nutritional value of human milk with other mammals' milk. *Nutrients*, 12(5), Article 1404. <https://doi.org/10.3390/nu12051404>
- Pu, H., Doig, G. S., Heighes, P. T., & Allingstrup, M. J. (2018). Early enteral nutrition reduces mortality and improves other key outcomes in patients with major burn injury: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Critical Care Medicine*, 46(12), 2036–2042. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003445>
- Qiu, C., Chen, C., Zhang, W., Kou, Q., Wu, S., Zhou, L., Liu, J., Ma, G., Chen, J., Chen, M., Luo, H., Zhang, X., Lai, J., Yu, Z., Yu, X., Liao, W., Guan, X., & Ouyang, B. (2017). Fat-modified enteral formula improves feeding tolerance in critically ill patients: A multicenter, single blind, randomized controlled trial. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 41(5), 785–795. <https://doi.org/10.1177/0148607115601858>
- Rezaei, R., Wu, Z., Hou, Y., Bazer, F. W., & Wu, G. (2016). Amino acids and mammary gland development: Nutritional implications for milk production and neonatal growth. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 7(1), Article 20. <https://doi.org/10.1186/s40104-016-0078-8>
- Teichert, J., Cais-Sokolińska, D., Bielska, P., Dankow, R., Chudy, S., Kaczynski, L. K., & Biegalski, J. (2021). Milk fermentation affects amino acid and fatty acid profile of mare milk from Polish Coldblood mares. *International Dairy Journal*, 121, Article 105137. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105137>
- Van Stehen, S. C., Rijkenberg, S., Sechterberger, M. K., DeVries, J. H., & van der Voort, P. H. J. (2018). Glycemic effects of a low-carbohydrate enteral formula compared with an enteral formula of standard composition in critically ill patients: An open-label randomized controlled clinical trial. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 42(6), 1035–1045. <https://doi.org/10.1002/jpen.1045>
- Van, W. C. W. (2019). Historical perspective on nutrition and intensive care. *Nutrition in Clinical Practice*, 34(1), 9–11. <https://doi.org/10.1002/ncp.10206>
- Wang, X., Xu, J., Li, J., Cheng, Y., Liu, L., & Du, Z. (2019). Effect of regional arterial infusion combined with early enteral nutrition on severe acute pancreatitis. *Journal of International Medical Research*, 47(12), 6235–6243. <https://doi.org/10.1177/0300060519880760>
- Yan, X. X., Zhang, X., Ai, H., Wang, D., & Song, K. Y. (2019). Changes of intestinal mucosal barrier function and effects of early enteral nutrition in patients with severe organophosphorus poisoning. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*, 99(6), 442–446. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2019.06.012>
- Zhao, X., Wang, J., Yang, Y., Bu, D., Cui, H., Sun, Y., Xu, X., & Zhou, L. (2013). Effects of different fat mixtures on milk fatty acid composition and oxidative stability of milk fat. *Animal Feed Science and Technology*, 185(1–2), 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.06.009>

УДК 664.71-11+ 664.785.6+ 664.786.6

Влияние экзогенной ГАМК на антиоксидантные свойства пророщенного зерна

¹ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Российская Федерация

² Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ Российский университет транспорта, г. Москва, Российская Федерация

Н. В. Науменко¹, Р. И. Фаткуллин¹, И. В. Калинина¹,
А. В. Радкевич², Е. Е. Науменко¹, Н. В. Попова¹, Е. К. Васильева³

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Науменко Наталья Владимировна

Адрес: 454080 г. Челябинск,

Пр. Ленина 86

E-mail: Naumenko_natalya@mail.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Науменко, Н.В., Фаткуллин, Р.И., Калинина, И.В., Радкевич, А.В., Науменко, Е.Е., Попова, Н.В., & Васильева, Е.К. (2023). Влияние экзогенной ГАМК на антиоксидантные свойства пророщенного зерна. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 133-146. <https://doi.org/10.36107/spfr.2023.423>

ПОСТУПИЛА: 14.01.2023

ПРИНЯТА: 15.09.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 23-26-00290

АННОТАЦИЯ

Введение: Одним из путей переработки зерна является использование технологии проращивания, что позволяет повышать пищевую ценность и использовать полученное сырье в технологии создания пищевых продуктов. Среди новых подходов можно рассматривать использование растворов экзогенной γ -аминомасляной кислоты (ГАМК) в сочетании с ультразвуковым воздействием как эффективного метода повышения антиоксидантных свойств в технологии проращивания.

Цель: Выявить эффективную концентрацию экзогенной ГАМК, в наибольшей степени увеличивающей антиоксидантные свойства пророщенного зерна.

Материалы и методы: В качестве объектов исследования были выбраны следующие образцы: зерно пшеницы, ячменя и овса. Перед процессом проращивания зерно обрабатывали ультразвуковым воздействием в дистиллированной воде (контроль) и растворах экзогенной ГАМК (опыт). Применялось двух факторное планирование, переменными факторами были: концентрация ГАМК (1, 3, 5 %) и длительность проращивания (12, 24, 36 часов); контролируемым – общая антиоксидантная активность. Для оптимизированных образцов пророщенного зерна были исследована следующая номенклатура показателей: энергия и способность прорастания, содержание флавоноидов и полифенольных соединений, а также общая антиоксидантная активность.

Результаты: При помощи математического моделирования оптимизирована концентрация растворов экзогенной ГАМК и длительность процесса проращивания, которая для зерна пшеницы составила 4,1 % и 29,3 часа; для ячменя – 4,2 % и 29,5 часа и для овса – 3,1 % и 49,6 часа. Прирост показателя «Энергия прорастания» составил для зерна пшеницы 5,0%; ячменя – 3,1 % и овса – 4,2 % относительно контроля, а для показателя «Способность прорастания» – 6,2%; 2,0 % и 4,0 %, соответственно. В пророщенных опытных образцах содержание флавоноидов увеличивается в среднем на 18 % (зерно пшеницы); 16 % (зерно ячменя) и 64 % (зерно овса). Прирост полифенольных соединений составил – 47%; 50 % и на 69 %, а общая антиоксидантная активность увеличилась в среднем на 20,6%; 18,3 % и 16,6 % для образцов зерна пшеницы, ячменя и овса, соответственно.

Выводы: Проведенные нами исследования подтвердили, что использование растворов экзогенной ГАМК при ультразвуковом воздействии может быть использовано в качестве перспективной технологии для повышения интенсивности процессов проращивания и повышения антиоксидантных свойств пророщенного зерна.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

зерно, технология проращивания, ультразвуковое воздействие, экзогенная ГАМК

The effect of exogenous gamma-aminobutyric acid on the antioxidant properties of sprouted grain

¹ South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russian Federation

² ITMO University, St. Petersburg, Russian Federation

³ Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Natalya V. Naumenko

Address:

E-mail: Naumenko_natalya@mail.ru

FOR CITATIONS:

Naumenko, N.V., Fatkullin, R.I., Kalinina, I.V., Radkevich, A.V., Naumenko, E.E., Popova, N.V., & Vasileva, E.K. (2023).

The effect of exogenous gamma-aminobutyric acid on the antioxidant properties of sprouted grain. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 133-146. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.423>

RECEIVED: 14.01.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FOUNDATION

The article was financially supported by the Russian Science Foundation grant 23-26-00290.



Natalya V. Naumenko¹, Rinat I. Fatkullin¹, Irina V. Kalinina¹, Anastasia V. Radkevich², Ekaterina Eu. Naumenko¹, Nataliya V. Popova¹, Elizaveta K. Vasileva³

ABSTRACT

Background: One of the ways of grain processing is the use of germination technology, which makes it possible to increase the nutritional value and use the resulting raw materials in the technology of creating food products. Among the new approaches, we can consider the use of solutions of exogenous gamma-aminobutyric acid (GABA) in combination with ultrasound exposure as an effective method of increasing antioxidant properties in germination technology.

Purpose: The aim of this study is to identify the effective concentration of exogenous GABA, which increases the antioxidant properties of sprouted grain to the greatest extent.

Materials and Methods: The following samples were selected as objects of research: wheat, barley and oats. Before the germination process, the grain was treated with ultrasonic exposure in distilled water (control) and solutions of exogenous GABA (experiment). Two-factor planning was used, variable factors were: GABA concentration (1, 3, 5 %) and germination duration (12, 24, 36 hours); controlled – total antioxidant activity. For optimized samples of sprouted grain, the following nomenclature of indicators were studied: energy and germination ability, the content of flavonoids and polyphenolic compounds, as well as the total antioxidant activity.

Results: Using mathematical modeling, the concentration of exogenous GABA solutions and the duration of the germination process were optimized, which for wheat grain was 4.1 % and 29.3 hours; for barley – 4.2 % and 29.5 hours and for oats – 3.1 % and 49.6 hours. The increase in the indicator «Germination energy» was 5.0 % for wheat grain; barley – 3.1 % and oats – 4.2 % relative to the control, and for the indicator «Germination ability» – 6.2 %; 2.0 % and 4.0 %, respectively. In the germinated experimental samples, the content of flavonoids increases by an average of 18 % (wheat grain); 16 % (barley grain) and 64 % (oat grain). The increase in polyphenolic compounds was 47 %; 50 % and 69 %, and the total antioxidant activity increased by an average of 20.6 %; 18.3 % and 16.6 % for wheat, barley and oat grain samples, respectively.

Conclusion: Our studies have confirmed that the use of exogenous GABA solutions under ultrasound exposure can be used as a promising technology to increase the intensity of germination processes and increase the antioxidant properties of sprouted grain

KEYWORDS

grain, germination technology, ultrasound exposure, exogenous GABA.

ВВЕДЕНИЕ

Снижение рисков потери продовольственного сырья и поиск новых высокоэффективных технологий получения пищевых продуктов, в особенности из зерна, как никогда актуально для перерабатывающей отрасли (Науменко и др., 2020). В 2022 году был получен рекордный урожай зерна пшеницы, ячменя, овса, что привело к избыточному обеспечению внутреннего спроса. На сегодняшний день продовольственная независимость по зерну составляет 177,8% при значении в Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации — 95%, что обуславливает актуальность разработки и внедрения современных технологий переработки данной группы сырья и получения сырья повышенной пищевой ценности.

Одним из путей переработки зерна, особенно из низкосортного сырья, является использование технологии проращивания в контролируемых условиях, что позволяет гарантированно повышать пищевую ценность и использовать полученное сырьё в технологии пищевых продуктов (Poudel et al., 2019). Однако, получение сырьевых ингредиентов путем проращивания зерна связано с определенными рисками ведения технологического процесса. Так необходимо учитывать свойства исходного сырья (как биологического объекта со значительной вариацией показателей), условия ведения технологического процесса, способы интенсификации как самого процесса, так и синтеза биологически активных веществ (Rosa-Sibakov et al., 2015).

Рядом исследователей доказана эффективность ультразвукового воздействия в качестве интенсифицирующего фактора в технологии экстракции (Khmelev et al., 2006; Калинина, 2019), стабилизации эмульсий (Ashokkumar et al., 2007; Potoroko et al., 2017; Potoroko et al., 2018), обработки мясных систем (Krasulya, 2016). Одним из наиболее результативных направлений можно выделить интенсификацию процессов проращивания зерна (Науменко et al., 2022a; Науменко et al., 2022b). Проведенный нами ранее массив исследований при последовательной вариации мощности ультразвукового воздействия 126 до 630 Вт (экспозиция от 3 до 7 минут) позволяет сказать, что использование ультразвука на этапе замачивания зерна пшеницы позволяет сократить длительность процессов на 2,5–4,5 часа. Содержание флавоноидов увеличивается в среднем

на 41%, фенольных кислот — 33% и полифенольных соединений на 35%. При этом общая антиоксидантная активность увеличивается в 1,8–2,1 раза относительно контрольных образцов зерна пшеницы, пророщенных без ультразвукового воздействия. Представленные в работе (Науменко et al., 2022b) результаты доказывают увеличение проникающей способности мембран растительных клеток, в результате у помещенного в воду или раствор зерна происходит более интенсивное расщепление запасных веществ и поступление мономеров к тканям зародыша, интенсифицируется ряд физиологических процессов. Эффекты ультразвукового воздействия могут быть использованы в технологии обработки зерна (Данильчук и др., 2008) на этапе замачивания в растворах, стимулирующих накопление биологически активных веществ. В качестве одного из таких веществ может быть использована γ -аминомасляная кислота (ГАМК) — непротеиногенная аминокислота, которая обычно синтезируется в растениях в результате реакции декарбоксилирования глутаминовой кислоты или путем деградации полиаминов (Wu et al., 2018).

ГАМК широко распространена в организмах растений, животных и микроорганизмов, при этом она выполняет различные функции. Ранее многочисленными исследованиями описывалось воздействие ГАМК на организм млекопитающих, как эффективного ингибиторного нейротрансмиттера в центральной нервной системе (Abdou et al., 2006); вещества, снижающего артериальное давление (Bai et al., 2009), улучшающего качества сна (Yu et al., 2020), обучения и памяти (Li et al., 2016) и регулирующего обменные процессы (Baranzelli et al., 2018). Исследователями (Sheteiwy et al., 2019) представлены результаты, свидетельствующие о том, что ГАМК действует в растениях как сигнальная молекула и играет решающую роль для формирования устойчивости и регуляции стресса при воздействии на растения окружающей среды. ГАМК не только регулирует внутренние процессы в ответ на биотические и абиотические стрессы растений, но и служит сигнальной молекулой для передачи информации (Abdel Razik et al., 2021). Рядом исследователей приводятся результаты использования экзогенной ГАМК как регулятора роста (Ashrafuzzaman et al., 2010; Li et al., 2016b); вещества, обладающего антимикробным действием и модулятора выработки активных форм кислорода в процессе роста растений (Seifikalhor et al., 2019).

Однако, собственные рекогносцировочные исследования показали, что использование растворов ГАМК в технологии проращивания зерна пшеницы позволяет получить минимальный положительный эффект с точки зрения интенсификации процесса (пророст показателей «Энергия прорастания» и «Способность прорастания» составил $(1,4 \pm 0,3)\%$ и $(1,3 \pm 0,4)\%$ соответственно, относительно контроля). При этом содержание флавоноидов, фенольных кислот, полифенольных соединений, а также значения общей антиоксидантной активности колеблются в минимальной вариации и не позволяют выявить устойчивой положительной динамики, что может быть связано с низкой проникающей способностью ГАМК через оболочку зерна.

Одним из новых подходов в проведении процесса проращивания зерна можно рассматривать использование сочетания ультразвукового воздействия с растворами экзогенной ГАМК как эффективного метода повышения энергии и способности прорастания и антиоксидантных свойств. Один из вариантов данного подхода предложен и успешно реализован (Wang et al., 2023a), для повышения пищевой ценности бобовой культуры (*Vigna radiata* (L.)), однако, представленные в открытой печати результаты исследований не могут быть универсальными и требуют индивидуального подхода для каждого вида сырья, что обуславливает актуальность проведенного исследования.

Целью данного исследования являлось выявление эффективной концентрации экзогенной ГАМК, в наибольшей степени увеличивающей антиоксидантные свойства пророщенного зерна.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

В данном исследовании для проведения процесса проращивания использовались следующие образцы зерна:

Образец 1 — зерно пшеницы (*Triticum aestivum* L.), сорта Эритроспериум, урожая 2022 года, выращенное в Уральском регионе, Россия. Содержание белка составило $12,3 \pm 0,8$ г/100 г в пересчете на влажность; натура — 712 ± 10 г/дм³;

Образец 2 — зерно ячменя (*Hordeum vulgare* L.), сорта Челябинец 1, урожая 2022 года, выращенное в Уральском регионе, Россия. Содержание белка составило $10,2 \pm 0,8$ г/100 г в пересчете на влажность; натура — 552 ± 12 г/дм³;

Образец 3 — зерно овса (*Avena sativa*), сорта Универсал 1, урожая 2022 года, выращенное в Уральском регионе, Россия. Содержание белка составило $6,2 \pm 0,9$ г/100 г в пересчете на влажность; натура — 522 ± 11 г/дм³.

Отбор проб зерна проводили согласно требованиям ГОСТ 13586.3–2015.

Используемое зерно перед проведением процесса замачивания проходило предварительный отбор и выравнивалось по длине и ширине с использованием программы для фенотипирования зерна SeedCounter v.1.9.5, разработанной сотрудниками Новосибирского государственного университета (Komyshev et al., 2018). Для проведения исследований и разработки технологии проращивания использовали зерно заведомо низкой классовой (пшеница — 4 класс, ячмень — 3 класс, овес — 3 класс) для соблюдения экономической эффективности разработки.

Замачивание зерна

Для удаления продуктов загрязнения и посторонних веществ зерновые культуры предварительно промывали в проточной воде при 20 ± 2 °С в пятикратной повторности.

Образцы зерна замачивали в дистиллированной воде (контроль) и в растворах экзогенной ГАМК при вариации концентраций 1, 3 и 5% (опыт).

С целью интенсификации процессов замачивания зерна и лучшего проникновения экзогенной ГАМК в центральные части зерна сразу после его помещения в дистиллированную воду/растворы проводили дополнительную обработку ультразвуковым воздействием. Система из ультразвукового генератора и резервуара для воды/раствора ГАМК с замоченным зерном из нержавеющей стали, объемом 1 литр. Обработываемое зерно постоянно перемешивалось.

Воздействие ультразвуком ($22 \pm 1,25$ кГц) осуществлялось при 245 Вт/л в течение 5 мин. Для ультразвуковой обработки использовался метод описанный (Naumenko N. et al., 2022a). Применялся ультразвук высокой интенсивности (20 Вт/см²). Для обработки применялся аппарат ультразвуковой технологический (Волна-М УЗТА-0,63/22-ОМ, г. Бийск, Россия). Условия обработки ультразвуковым воздействием изучались ранее и представлены в работах (Naumenko N. et al., 2022a). Нашими исследованиями с помощью метода электронной сканирующей микроскопии доказано, что именно данные параметры воздействия являются наиболее оптимальными при интенсификации процесса замачивания зерна и за счет кавитационных эффектов ускоряют процесс увлажнения продольного, поперечного и трубчатого слоев плодовых оболочек, пигментного и гиалинового слоев семенных оболочек, эндосперма и зародыша (Naumenko et al., 2022b). Использование данных параметров ультразвукового воздействия в процессе замачивания при последующем проращивании позволяет увеличить содержание флавоноидов, фенольных кислот и полифенольных соединений. Вышеуказанные результаты позволили выбрать данные параметры воздействия для проведения дальнейших исследований.

После ультразвуковой обработки зерно оставляли для дальнейшего замачивания в дистиллированной воде (контроль) и растворах экзогенной ГАМК с вариацией концентраций (опыт) при температуре 22 ± 2 °С в течении 8 часов (зерно пшеницы) и 12 часов (зерно ячменя и овса). Опытные образцы находились в растворах экзогенной ГАМК на протяжении всей длительности замачивания.

Проращивание зерна

Проращивание зерна проводили в камере с контролируемой температурой 22 ± 2 °С и влажностью воздуха 95 ± 3 %. Проросшее зерно удалялось из камеры по достижению величины ростка 1,5–2 мм более чем у 90 % зерен, время проращивания составило от 30 до 50 часов.

В дальнейшем образцы зерна высушивались при температуре 40–45 °, влажности 14–12 % и измельчались разовым помолотом на лабораторной мельнице ЛМТ-3м Laboratoroff до значений средне-

взвешенного размера частиц (170 ± 15) мкм с разбросом размерного ряда частиц от 52 до 296 мкм. Для определения показателей использовались все части пророщенного зерна.

Определение энергии прорастания и способности прорастания проводили согласно ГОСТ 10968–88.

Общую антиоксидантную (антирадикальную) активность (АОА) определяли по поглощению радикалов в образцах с использованием 2,2-дифенил-1-пикрилгидразида (DPPH) (Sánchez-Moreno, 1998). Экстракты получали путем помещения 0,1 г сухой измельченной навески пророщенного зерна в 20 мл этанола и последующего 4 часового выдерживания на шейкере ПЭ-6500 без нагревания. Экстракты 0,5 мл смешивали с 3,6 мл раствора реактива DPPH и выдерживали без доступа солнечных лучей в течении 30 минут. Абсорбцию образца экстракта определяли с использованием спектрофотометра при 515 нм. АОА рассчитывали по формуле:

$$AOA = \frac{1 - (D_i - D_j)}{D_c} \times 100, \quad (1)$$

где D_i — оптическая плотность исследуемого раствора; D_j — оптическая плотность контрольного раствора DPPH с этанолом; D_c — оптическая плотность раствора DPPH.

Определение общего содержания флавоноидов проводили с использованием этанольного раствора хлорида алюминия и ацетата натрия, светопоглощение измеряли с использованием спектрофотометра при 415 нм (Shafii, Z.A. 2017). В качестве стандарта использовали кверцетин ($0,01$ – $0,5$ мг L⁻¹; $R^2 = 0,997$), и результаты выражали в мг⁻¹-эквивалентах кверцетина.

Содержание полифенольных соединений определяли по методу Синглтона (Shafii, Z.A. 2017) с использованием реактива Фолина-Чокальтеу. Для этого 0,1 мл экстракта образца смешивали с 0,1 мл реактива Фолина-Чокальтеу, 1 мл 20 % (мас/об.) карбоната натрия и 8,8 мл дистиллированной воды. Через 30 мин выдерживания в темноте определяли поглощение при 700 нм с использованием спектрофотометра. В качестве стандарта использовали галловую кислоту, результаты выражали в эквивалентах галловой кислоты.

В качестве контрольных исследуемых образцов были определены следующие:

- (1) зерно пшеницы, пророщенное по вышеуказанной технологии с использованием ультразвукового воздействия и дистиллированной воды (контроль);
- (2) зерно ячменя, пророщенное по вышеуказанной технологии с использованием ультразвукового воздействия и дистиллированной воды (контроль);
- (3) зерно овса, пророщенное по вышеуказанной технологии с использованием ультразвукового воздействия и дистиллированной воды (контроль).

В качестве опытных исследуемых образцов были определены следующие:

- (1) зерно пшеницы, пророщенное по вышеуказанной технологии при сочетании ультразвукового воздействия и экзогенной ГАМК с концентрацией 1, 3 и 5 % на этапе замачивания, соответственно;
- (2) зерно ячменя, пророщенное по вышеуказанной технологии при сочетании ультразвукового воздействия и экзогенной ГАМК с концентрацией 1, 3 и 5 % на этапе замачивания, соответственно;
- (3) зерно овса, пророщенное по вышеуказанной технологии при сочетании ультразвукового воздействия и экзогенной ГАМК с концентрацией 1, 3 и 5 % на этапе замачивания, соответственно;

Анализ данных

Исследования проводились в трехкратный повторности. Проращивание зерна осуществлялось в одинаковых условиях, для обеспечения точности результатов. Экспериментальные данные были обработаны на основе методов математической статистики с использованием Microsoft Excel и MathCad 14.0. Полученные данные представлены с доверительным коэффициентом 0,95.

Для выявления наиболее эффективных режимов проращивания зерна в условиях экзогенной ГАМК применялось двух факторное планирование и обработка данных в программе MathCad 14.0. В качестве переменных факторов использовались: концентрация раствора экзогенной ГАМК (1, 3, 5%)

и длительность проращивания (12, 24, 36 часов). Контролируемым показателем была определена общая антиоксидантная (антирадикальная) активность (АОА), % (DPPH).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В обеспечении населения продуктами питания значительную роль играет зерно. Повышение эффективности использования низкосортного зерна предполагает разработку новых высокоэффективных технологий. Одним из таких приемов является технология проращивания в контролируемых условиях, что позволяет гарантированно повышать пищевую ценность сырьевых ингредиентов для использования в пищевых продуктах. При этом необходимо понимать, что исходный сырьевой материал связан с биологическими особенностями сельскохозяйственной культуры. Использование в качестве биостимулятора, регулятора и стимулятора роста в технологии получения пророщенного зерна экзогенной γ -аминомасляной кислоты (ГАМК) обосновывается доказательной базой ряда исследований (Wang et al., 2023a; Wang et al., 2023b), а выявление эффективной её концентрации позволяет минимизировать финансовые затраты на внедрение данной технологии в реальное производство.

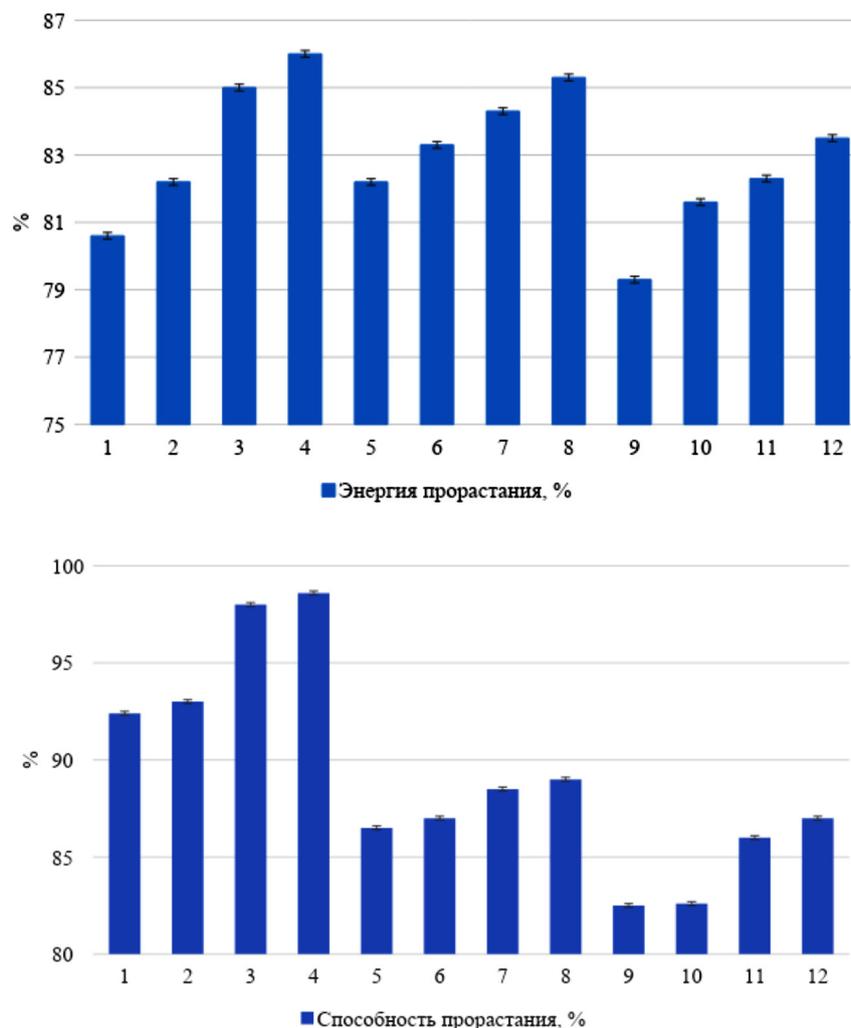
Оценка концентрации экзогенной ГАМК на интенсивность протекания процессов проращивания

На начальном этапе исследований была проведена оценка влияния экзогенной γ -аминомасляной кислоты на интенсивность протекания процессов проращивания. Данная характеристика напрямую позволяет говорить о целесообразности проведения данного процесса и охарактеризовать динамику интенсивности протекания процессов проращивания зерна. Результаты определения энергии и способности прорастания исследуемых образцов представлены на Рисунке 1.

Полученные результаты свидетельствуют о влиянии более высоких концентраций растворов экзогенной ГАМК на интенсивность процессов проращивания. Так 1 % растворы ГАМК повышают значения энергии и способности прорастания в пределах 1–3%. Тогда как применение более высоких концентраций рас-

Рисунок 1

Результаты определения энергии и способности прорастания исследуемых образцов зерна при вариации концентрации растворов экзогенной ГАМК



творов ГАМК (5%) позволяет получить положительную динамику и увеличить значения для энергии прорастания в среднем на 5,4; 3,1 и 4,2% для зерна пшеницы, ячменя и овса, соответственно.

Необходимо отметить, что данный эффект обусловлен концентрацией используемых растворов экзогенной ГАМК, так как контрольные образцы зерна также как и опытные на этапе замачивания подвергались ультразвуковому воздействию. Ранее в ходе рекогносцировочных исследований было установлено, что ультразвуковое воздействие оказывает положительный эффект на увеличение данных показателей, однако, данная динамика фиксировалась в меньшей степени, что согласуется с ранее опубликованными результатами (На-

уменко и др., 2019). Так для зерна пшеницы после ультразвукового воздействия прирост показателя «Энергия прорастания» в среднем составил 3,8%; ячменя — 1,8% и овса — 3,6% относительно контрольных (не обработанных) образцов зерна. Данная динамика также сохранялась и для показателя «Способность прорастания».

Выявление наиболее эффективной концентрации экзогенной ГАМК в технологии проращивания

Использование методов математической обработки экспериментальных данных позволяет оптимизировать параметры технологического про-

цесса и выявить наиболее эффективные условия системы, в данном случае концентрацию растворов экзогенной ГАМК, используемой в технологии проращивания зерна. По полученным данным определения антиоксидантной активности пророщенного зерна в условиях экзогенной ГАМК (с экспозицией концентрации 1, 3 и 5 %) и вариации длительности проращивания (12, 24, 36 часов), для каждого образца были построены многофакторные поверхности, что позволило выявить наиболее эффективные режимы проращивания. Результаты проведения двух факторного планирования для каждого исследуемого образца зерна представлены на Рисунке 2.

Полученные в ходе математической обработки данных на основе двух факторного планирования результаты позволили определить оптимальную концентрацию растворов экзогенной ГАМК и длительность проращивания для каждого исследуемого образца зерна. Так для зерна пшеницы оптимальная концентрация ГАМК составила 4,1 %; для ячменя — 4,2 % и для овса — 3,1 %.

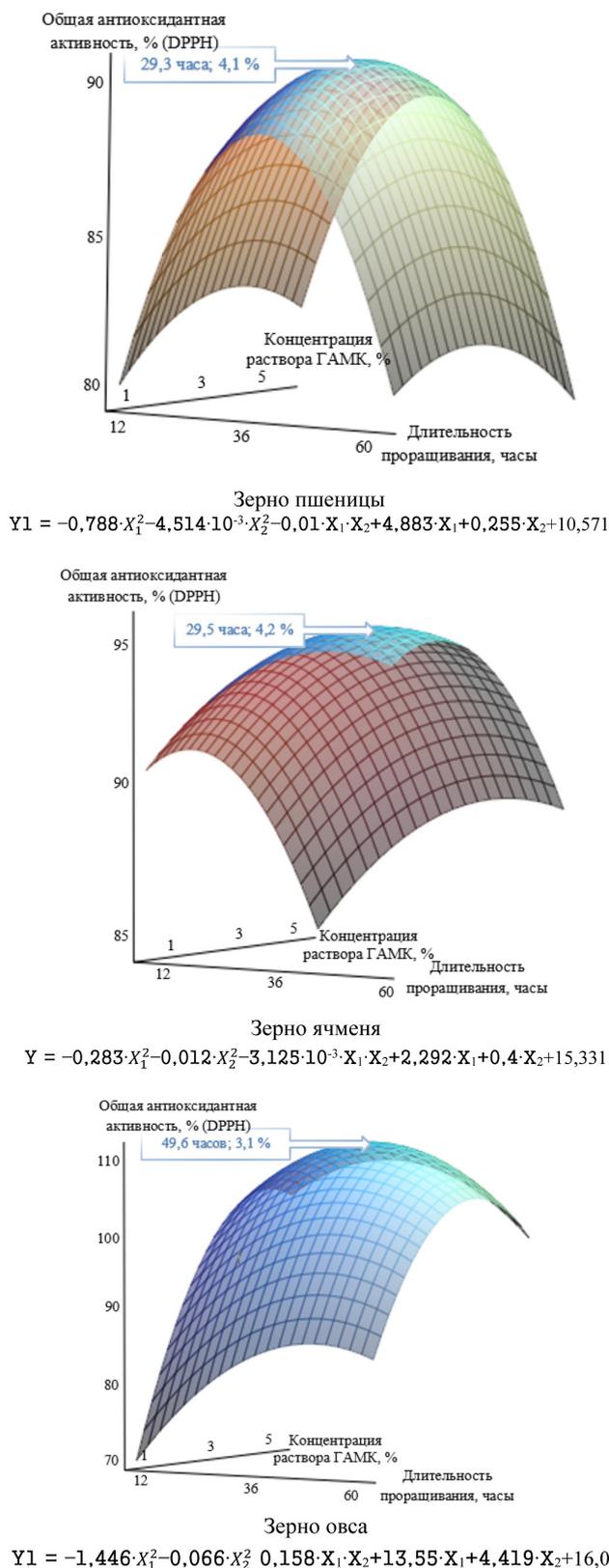
Весомый вклад в повышение общей антиоксидантной активности внес временной фактор процесса проращивания, что подтверждается опубликованными в открытой печати исследованиями (Nelson et al., 2013; Калинина и др., 2019а). Наблюдается положительная зависимость роста общей антиоксидантной активности от продолжительности ведения процесса. Необходимо отметить, что оптимальная длительность проращивания составляет $29,3 \pm 0,5$ часа; $29,5 \pm 0,4$ часа и $49,6 \pm 0,4$ часа для образцов зерна пшеницы, ячменя и овса, соответственно. Данный параметр также был скорректирован в дальнейших исследованиях.

Результаты исследования оптимизированных по концентрации экзогенной ГАМК в технологии проращивания образцов зерна

Экспериментальное подтверждение полученных математически результатов наиболее важно для формирования доказательной базы проведенных исследований и грамотного внедрения разработок в условия реального производства.

Рисунок 2

Результаты математического моделирования общей антиоксидантной активности от концентрации раствора экзогенной ГАМК и длительности проращивания



На данном этапе исследований были определены следующие образцы:

ЗПопт — зерно пшеницы, пророщенное по вышеуказанной технологии при сочетании ультразвукового воздействия и экзогенной ГАМК оптимизированной концентрации (4,1%) и длительности проращивания ($29,3 \pm 0,5$ часа);

ЗЯопт — зерно ячменя, пророщенное по вышеуказанной технологии при сочетании ультразвукового воздействия и экзогенной ГАМК оптимизированной концентрации (4,2%) и длительности проращивания ($29,5 \pm 0,4$ часа);

ЗООпт — зерно овса, пророщенное по вышеуказанной технологии при сочетании ультразвукового воздействия и экзогенной ГАМК оптимизированной концентрации (3,1%) и длительности проращивания ($49,6 \pm 0,4$ часа).

Результаты определения энергии и способности прорастания исследуемых образцов зерна при оптимизированной концентрации раствора экзогенной ГАМК и длительности процесса в сравнении с контролем представлены на Рисунке 3.

Полученные результаты исследований позволяют отметить средний прирост показателя «Энергия прорастания» для опытных оптимизирован-

ных по концентрации экзогенной ГАМК образцов у зерна пшеницы 5,0%; ячменя — 3,1% и овса — 4,2% относительно контроля. Указанная динамика сохранялась также для показателя «Способность прорастания» и в среднем составила — 6,2%; 2,0% и 4,0%, для опытных образцов зерна пшеницы, ячменя и овса, соответственно.

Использование раствора экзогенной ГАМК оптимизированной концентрации на этапе замачивания оказало положительное влияние на содержание флавоноидов и полифенольных соединений в пророщенном зерне. Полученные результаты представлены на Рисунке 4.

Полученные результаты позволяют отметить увеличение содержания флавоноидов и полифенольных соединений при получении пророщенного зерна с использованием раствора экзогенной ГАМК. Так содержание флавоноидов увеличивается в среднем на 18% (зерно пшеницы); на 16% (зерно ячменя) и на 64% (зерно овса) относительно контрольных образцов зерна. Подобная динамика также отмечается для полифенольных соединений, содержание которых увеличивается в среднем на 47% (зерно пшеницы); на 50% (зерно ячменя) и на 69% (зерно овса) относительно контрольных образцов.

Результаты определения общей антиоксидантной активности контрольных и опытных образцов зер-

Рисунок 3

Результаты определения энергии и способности прорастания контрольных и опытных образцов зерна, полученных при оптимизированной концентрации раствора экзогенной ГАМК

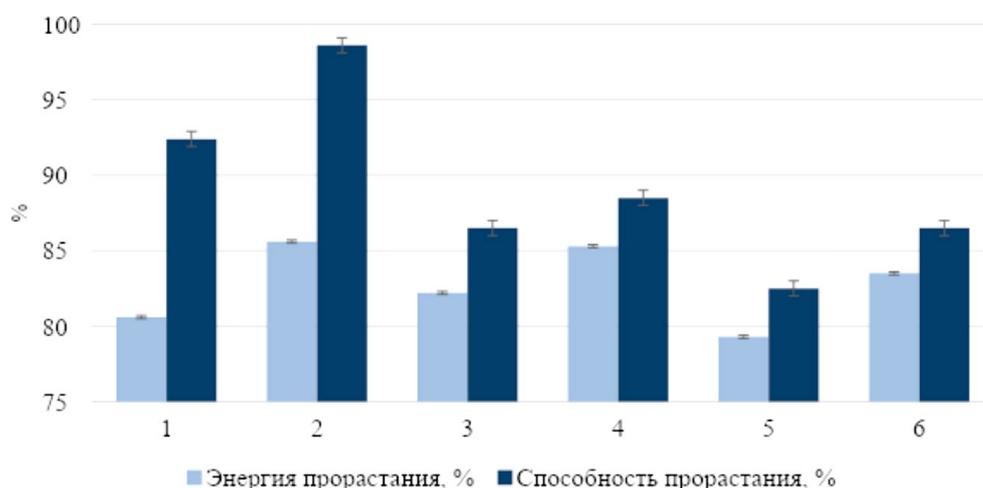


Рисунок 4

Результаты определения содержания флавоноидов и полифенольных соединений контрольных и опытных образцов пророщенного зерна

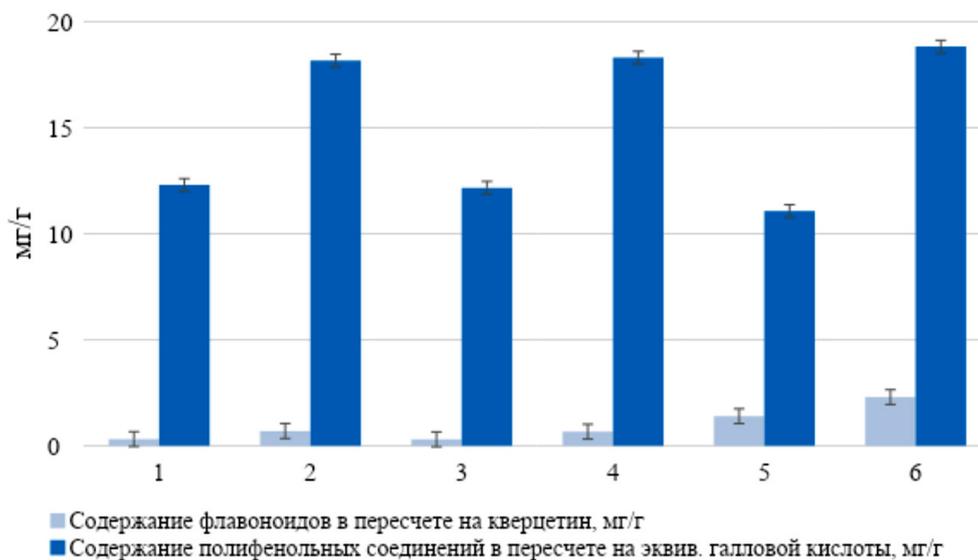
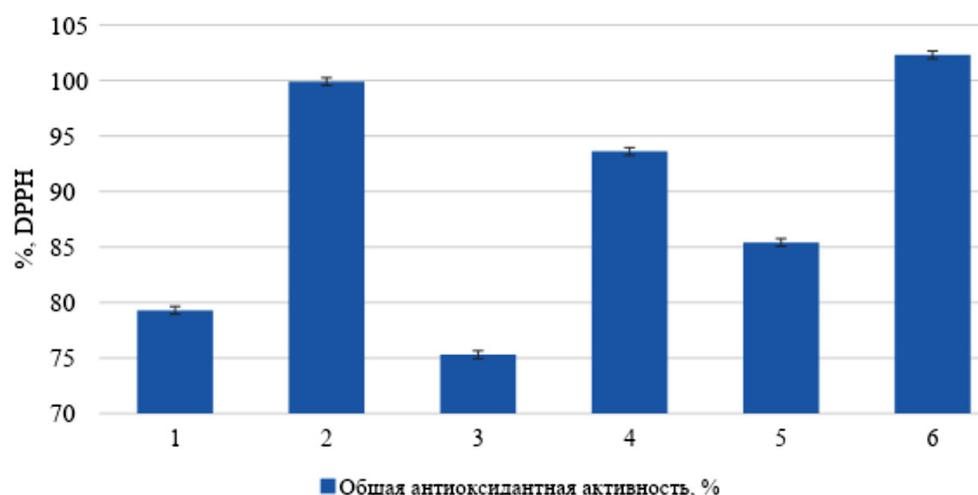


Рисунок 5

Результаты определения общей антиоксидантной активности контрольных и опытных образцов пророщенного зерна



на, полученных по оптимизированным параметрам, представлены на Рисунке 5.

Проведенные исследования показали, что процесс проращивания зерна в растворах экзогенной ГАМК заданной концентрации позволяют увеличить значения общей антиоксидантной активности в среднем на 20,6%; 18,3% и 16,6% для образцов зерна пшеницы, ячменя и овса, соответственно.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют о значительном влиянии растворов с экзогенной ГАМК, используемых на этапе замачивания зерна, и ультразвукового воздействия на интенсивность протекания процессов проращивания и на антиоксидантные его свойства.

Наиболее высокие значения показателей «Энергия прорастания» и «Способность прорастания» отмечены для образца зерна пшеницы. Прирост показателей составил в среднем 6,0% и 6,2%, соответственно. Возможно предположить, что оболочка зерна пшеницы наиболее подвержена ультразвуковому воздействию, что способствует более полному проникновению раствора экзогенной ГАМК к зародышу (Yang et al., 2015). Прирост показателей «Энергия прорастания» и «Способность прорастания» для составил в среднем 3,1% и 2,0% для зерна ячменя и 4,2% и 4,0% для зерна овса, соответственно. Активацию данных процессов можно объяснить в первую очередь ультразвуковым воздействием, которое вызывает образование микротрещин оболочки зерна и ускоряет процесс гидратации раствора экзогенной ГАМК (Estivi et al., 2022; Kalita et al., 2021), что приводит к изменениям молекулярной структуры ферментов, и повышает их активность, запуская систему защитных реакций и усиливая выработку вторичных метаболитов, таких как флавоноиды и полифенолы (Miano et al., 2016). Как отмечают Nobuki и его коллеги, кавитация и механическое воздействие ультразвука повышают проницаемость клеточных мембран зерна пшеницы, способствуя диффузии и трансмембранному транспорту ионов и метаболитов (Nobuki et al., 2009), которым в нашем случае, выступает раствор ГАМК. Нашими исследованиями подтверждено, что подобные эффекты могут быть достигнуты при проращивании зерна ячменя и овса. Доказано (Gu et al., 2022), что экзогенная ГАМК может проникать через клеточные мембраны и попадать в клетки, стимулировать выработку гормонов, регулировать рост и развитие и дополнительно вызывать внутриклеточные физиологические и биохимические изменения, тем самым регулируя экспрессию генов пути метаболизма полифенолов. Рядом исследователи подчеркивается, что эффект использования экзогенной ГАМК заключается в увеличении синтеза белка и активности ферментов, что приводит к повышению содержания полифенолов (Zhao et al., 2021). Estivi et al. (2022) и Kalita et al. (2021).

Представленные нами результаты исследований по сочетанию ультразвукового воздействия с раствором экзогенной ГАМК, доказывают, что данный подход позволяет получить более высокое содержание флавоноидов и полифенольных соединений, чем при одиночном воздействии вышеуказанных факторов. Так прирост флавоноидов находится

в диапазоне 16–64%, а полифенолов 47–69%, что увеличило общую антиоксидантную активность на 16,6–20,6%, относительно контрольных образцов, полученных с использованием исключительно ультразвукового воздействия.

ВЫВОДЫ

Проведенные нами исследования подтвердили возможность и эффективность использования растворов экзогенной ГАМК заданной концентрации в сочетании с ультразвуковым воздействием в технологии получения пророщенного зерна пшеницы, ячменя и овса.

При помощи математического моделирования оптимизирована концентрация растворов экзогенной ГАМК и длительность процесса проращивания, которая для зерна пшеницы составила 4,1% и 29,3 часа; для ячменя — 4,2% и 29,5 часа и для овса — 3,1% и 49,6 часа. Средний прирост показателя «Энергия прорастания» составил для зерна пшеницы 5,0%; ячменя — 3,1% и овса — 4,2% относительно контроля, а для показателя «Способность прорастания» — 6,2%; 2,0% и 4,0%, соответственно. В пророщенных опытных образцах содержание флавоноидов увеличивается в среднем на 18% (зерно пшеницы); 16% (зерно ячменя) и 64% (зерно овса). Прирост полифенольных соединений составил — 47%; 50% и на 69%, а общая антиоксидантная активность увеличилась в среднем на 20,6%; 18,3% и 16,6% для образцов зерна пшеницы, ячменя и овса, соответственно.

Полученные результаты позволяют предположить, что использование растворов экзогенной ГАМК при ультразвуковом воздействии может быть использовано в качестве перспективной технологии для повышения содержания биологически активных соединений в растительном сырье. В данном направлении необходимы дальнейшие исследования, повреждающие потенциальную пользу для здоровья человека полученных пищевых продуктов на их основе пророщенного зерна.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Науменко Наталья Владимировна: концептуализация; создание модели исследования; редактирование рукописи.

Фаткуллин Ринат Ильгидарович: концептуализация; создание модели исследования; проведение исследования; создание и редактирование рукописи.

Калинина Ирина Валерьевна: проведение исследования; верификация данных; формальный анализ.

Радкевич Анастасия Владимировна: проведение исследования; формальный анализ; валидация данных

Науменко Екатерина Евгеньевна: проведение исследования; администрирование данных;

Попова Наталия Викторовна: проведение исследования; программное обеспечение;

Васильева Елизавета Константиновна: проведение исследования; визуализация.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Данильчук, Т. Н., Юрьев, Д. Н., & Ратников, А. Ю. (2008). Стимуляция биохимических процессов в прорастающем зерне акустическими и электрофизическими методами воздействия. *Пиво и напитки*, (6), 11–14.
- Danil'chuk T. N., Yur'ev D. N., & Ratnikov A. Yu. (2008). Stimulation of biochemical processes in germinating grain by acoustic and electrophysical methods of exposure. *Beer and Drinks*, (6), 11–14. (In Russ.)
- Калинина, И. В. (2019). Исследование стабильности наноэмульсий с дигидрокверцетином, полученных на основе ультразвукового воздействия. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Пищевые и биотехнологии*, 7(3), 52–58. <https://doi.org/10.14529/food190306>
- Kalinina, I. V. (2019). Investigation of the stability of nanoemulsions with dihydroquercetin obtained on the basis of ultrasound exposure. *Bulletin of the South Ural State University. Food and Biotechnology*, 7(3), 52–58. (In Russ.) <https://doi.org/10.14529/food190306>
- Калинина, И. В., Потороко, И. Ю., Фаткуллин, Р. И., Иванова, Д., Канева-Киселова, Й., & Сонавэйн, Ш. (2019). Повышение биоактивности дигидрокверцетина на основе ультразвуковой микронизации. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, (1), 27–33.
- Kalinina, I. V., Potoroko, I. Yu., Fatkullin, R. I., Ivanova, D., Kaneva-Kiselova, I., & Sonavein, Sh. (2019). Increasing the bioactivity of dihydroquercetin based on ultrasonic micronization. *Technology and Commodity Science of Innovative Food Products*, (1), 27–33. (In Russ.)
- Науменко, Н. В., Ботвинникова, В. В., Нилова, Л. П., Сергеев, А. А., Науменко, Е. Е., & Степанова, Д. С. (2020). Возможности использования экотехнологий для минимизации продовольственных потерь. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Пищевые и биотехнологии*, 8(4), 69–76. <https://doi.org/10.14529/food200409>
- Naumenko, N. V., Botvinnikova, V. V., Nilova, L. P., Sergeev, A. A., Naumenko, E. E., & Stepanova, D. S. (2020). Possibilities of using eco-technologies to minimize food losses. *Bulletin of the South Ural State University. Food and Biotechnology*, 8(4), 69–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.14529/food200409>
- Науменко, Н. В., Потороко, И. Ю., Малинин, А. В., & Цатуров, А. В. (2019). Оптимизация условий процесса проращивания зерна пшеницы. *Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 151(07), Статья 17. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-151-017>
- Naumenko, N. V., Potoroko, I. Yu., Malinin, A. V., & Tsaturov, A. V. (2019). Optimization of the conditions of the wheat grain germination process. *Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University*, 151(07), Article 17. (In Russ.) <https://doi.org/10.21515/1990-4665-151-017>
- Abdel Razik, E. S., Alharbi, B. M., Pirzadah, T. B., Alnusairi, G. S. H., Soliman, M. H., & Hakeem, K. R. (2021). γ -Aminobutyric acid (GABA) mitigates drought and heat stress in sunflower (*Helianthus annuus L.*) by regulating its physiological, biochemical and molecular pathways. *Physiologia Plantarum*, 172(2), 505–527. <https://doi.org/10.1111/ppl.13216>
- Abdou, A. M., Higashiguchi, S., Horie, K., Kim, M., Hatta, H., & Yokogoshi, H. (2006). Relaxation and immunity enhancement effects of γ -aminobutyric acid (GABA) administration in humans. *BioFactors*, 26(3), 201–208. <https://doi.org/10.1002/biof.5520260305>
- Ashokkumar, M., Lee, J., Kentish, S., & Grieser, F. (2007). Bubbles in an acoustic field: An overview. *Ultrasonics Sonochemistry*, 14(4), 470–475. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2006.09.016>
- Ashrafuzzaman, M., Ismail, M., Fazal, K. M., Uddin, M., & Prodhan, A. K. M. A. (2010). Effect of GABA application on the growth and yield of bitter melon (*Momordica charantia*). *International Journal of Agriculture and Biology*, 12(1), 129–132.

- Bai, Q. Y., Chai, M. Q., Gu, Z. X., Cao, X. H., Li, Y., & Liu, K. L. (2009). Effects of components in culture medium on glutamate decarboxylase activity and γ -aminobutyric acid accumulation in foxtail millet (*Setaria italica* L.) during germination. *Food Chemistry*, 116(1), 152–157. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.022>
- Baranzelli, J., Kringel, D. H., Colussi, R., Paiva, F. F., Aranha, B. C., Zavariz de Miranda, M., Zavareze, E. R., & Guerra Dias, A. R. (2018). Changes in enzymatic activity, technological quality and gamma-aminobutyric acid (GABA) content of wheat flour as affected by germination. *LWT. Food Science and Technology*, 90, 483–490. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.070>
- Estivi, L., Brandolini, A., Condezo-Hoyos, L., & Hidalgo, A. (2022). Impact of low-frequency ultrasound technology on physical, chemical and technological properties of cereals and pseudocereals. *Ultrasonics Sonochemistry*, 86, Article 106044. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106044>
- Gu, M., Yang, J., Tian, X., Fang, W., Xu, J., & Yin, Y. (2022). Enhanced total flavonoid accumulation and alleviated growth inhibition of germinating soybeans by GABA under UV-B stress. *RSC Advances*, 11, 6619–6630. <https://doi.org/10.1039/D2RA00523A>
- Kalita, D., Jain, S., Srivastava, B., & Goud, V. V. (2021). Sono-hydro priming process (ultrasound modulated hydration): Modelling hydration kinetic during paddy germination. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, Article 105321. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105321>
- Khmelev, V. N., Lebedev, A. N., & Khmelev, M. V. (2006). Ultrasonic drying and pre sowing treatment of seeds. In *International workshop and tutorials on electron devices and materials: Proceedings 7th annual inter-national workshop and tutorials on electron devices and materials* (pp. 251–253). Novosibirsk: EDM.
- Komyshv, E., Genaev, M., & Afonnikov, D. (2017). Evaluation of the SeedCounter, a mobile application for grain phenotyping. *Frontiers in Plant Science*, 7, Article 1990. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01990>
- Krasulya, O., Bogush, V., Trishina, V., Potoroko, I., Khmelev, S., Sivashanmugamd, P., & Anandane, S. (2016). Impact of acoustic cavitation on food emulsions. *Ultrasonics Sonochemistry*, 30, 98–102. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.11.013>
- Li, G., Lv, J., Wang, J., Wan, P., Li, Y., Jiang, H., & Jin, Q. (2016). GABAB receptors in the hippocampal dentate gyrus are involved in spatial learning and memory impairment in a rat model of vascular dementia. *Brain Research Bulletin*, 124, 190–197. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2016.05.006>
- Li, W., Liu, J., Ashraf, U., Li, G., Li, Y., Lu, W., & Hu, J. (2016). Exogenous γ -aminobutyric acid (GABA) application improved early growth, net photosynthesis, and associated physio-biochemical events in maize. *Frontiers in Plant Science*, 7, Article 919. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00919>
- Miano, A. C., Pereira, J. D., Costa, C. N., & Augusto, P. E. D. (2016). Enhancing mung bean hydration using the ultrasound technology: description of mechanisms and impact on its germination and main components. *Scientific Reports*, 6, Article 38996. <https://doi.org/10.1038/srep38996>
- Naumenko, N., Potoroko, I., & Kalinina, I. (2022a). Stimulation of antioxidant activity and γ -aminobutyric acid synthesis in germinated wheat grain *Triticum aestivum* L. by ultrasound: Increasing the nutritional value of the product. *Ultrasonics Sonochemistry*, 86, Article 106000. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106000>
- Naumenko, N., Potoroko, I., Kalinina, I., Naumenko, E., & Ivanisova, E. (2022b). The effect of ultrasonic water treatment on the change in the microstructure of wheat grain, dough, and wheat flour bread. *International Journal of Food Science*, 2022, Article 1986438. <https://doi.org/10.1155/2022/1986438>
- Nelson, K., Stojanovska, L., Vasiljevic, T., & Mathai, M. (2013). Germinated grains: A superior whole grain functional food. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 91(6), 429–441. <https://doi.org/10.1139/cjpp-2012-0351>
- Nobuki, K., Kengo, O., & Katsuyuki, Y. (2009). Sonoporation by single-shot pulsed ultrasound with microbubbles adjacent to cells. *Biophysical Journal*, 96(12), 4866–4876. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2009.02.072>
- Potoroko, I. U., Kalinina, I. V., Naumenko, N. V., Fatkullin, R. I., Shaik, S., Sonawane, S. H., Ivanova, D., Kiselova-Kaneva, Y., Tolstykh, O., & Paymulina, A. V. (2017). Possibilities of regulating antioxidant activity of medicinal plant extracts. *Human. Sport. Medicine*, 17(4), 77–90. <https://doi.org/10.14529/hsm170409>
- Potoroko, I. Y., Kalinina, I. V., Naumenko, N. V., Fatkullin, R. I., Nenashva, A. V., Uskova, D. G., Sonawane, S. H., Ivanova, D. G., & Velyamov, M. T. (2018). Sonochemical micronization of taxifolin aimed at improving its bioavailability in drinks for athletes. *Human. Sport. Medicine*, 18(3), 90–100. <https://doi.org/10.14529/hsm180309>
- Poudel, R., Finnie, S., & Rose, D. J. (2019). Effects of wheat kernel germination time and drying temperature on compositional and end use properties of the resulting whole wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 86, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.01.004>
- Rosa-Sibakov, N., Poutanen, K., & Micard, V. (2015) How does wheat grain, bran and aleurone structure impact their nutritional and technological properties. *Trends in Food Science & Technology*, 41(2), 118–134. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.10.003>
- Seifkhalhor, M., Aliniaiefard, S., Hassani, B., Niknam, V., & Lastochkina, O. (2019). Diverse role of γ -aminobutyric acid in dynamic plant cell responses. *Plant Cell Reports*, 38, 847–867. <https://doi.org/10.1007/s00299-019-02396-z>
- Shafii, Z. A., Basri, M., Malek, E. A., & Ismail, M. (2017). Phytochemical and antioxidant properties of Manilkara zapota (L.) P Royen fruit extracts and its formulations for cosmceuetical application. *Asian Journal of Plant Science & Research*, 7(3), 29–41.
- Wang Y., Cao H., Wang S., Guo J., Dou H., Qiao J., Yang Q., Shao R., & Wang H. (2023b). Exogenous γ -aminobutyric acid (GABA) improves salt-inhibited nitrogen metabolism and the anaplerotic reaction of the tricarboxylic acid cycle by regulating GABA-shunt metabolism in maize seedlings. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 254, Article 114756. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114756>

- Wang, L., Li, X., Gao, F., Liu, Y., Lang, S., Wang, C., & Zhang, D. (2023a). Effect of ultrasound combined with exogenous GABA treatment on polyphenolic metabolites and antioxidant activity of mung bean during germination. *Ultrasonics Sonochemistry*, *94*, Article 106311. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106311>
- Wu, Q. Y., Ma, S. Z., Zhang, W. W., Yao, K. B., Chen, L. U., Zhao, F., & Zhuang, Y. Q. (2018). Accumulating pathways of γ -aminobutyric acid during anaerobic and aerobic sequential incubations in fresh tea leaves. *Food Chemistry*, *240*, 1081–1086. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.004>
- Yang, H., Gao, J., Yang, A., & Chen, H. (2015). The ultrasound-treated soybean seeds improve edibility and nutritional quality of soybean sprouts. *Food Research International*, *77*(4), 704–710. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.011>.
- Yu, L., Han, X., Cen, S., Duan, H., Feng, S., Xue, Y., & Chen, W. (2020). Beneficial effect of GABA-rich fermented milk on insomnia involving regulation of gut microbiota. *Microbiological Research*, *233*, Article 126409. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126409>
- Zhao, Y. Y., Xie, C., Wang, P., Gu, Z. X., & Yang, R. Q. (2021). GABA regulates phenolics accumulation in soybean sprouts under NaCl stress. *Antioxidants*, *10*(6), Article 990. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX10060990>

УДК 663.42

Исследование сорбционных свойств целлюлозно-лигнинного комплекса обработанной дробины

Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, г. Москва, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Грибкова Ирина Николаевна
E-mail: institut-beer@mail.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Грибкова, И.Н., & Лазарева, И.В. (2023). Исследование сорбционных свойств целлюлозно-лигнинного комплекса обработанной дробины. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 147-155. <https://doi.org/10.36107/spfr.2023.466>

ПОСТУПИЛА: 02.06.2023

ПРИНЯТА: 15.09.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



И. Н. Грибкова, И. В. Лазарева

АННОТАЦИЯ

Введение: Разработка малоотходных технологий в любой отрасли производства, в том числе пищевого, является актуальной задачей для исследователей. Исследование состава сырья позволяет разработать направления для его глубокой переработки направленного действия. Пивная дробина составляет 80 % от всех вторичных сырьевых ресурсов пивоварения. Лигноцеллюлозные структуры дробины представляют собой ценность с точки зрения сорбционной способности при ее переработке для создания свободных карбоксильных –COOH групп, спиртовых и фенольных гидроксидов –OH, силанольных групп –Si–OH, выступающих в роли активных центров на сорбционной поверхности. Сорбционные способности дробины могут быть исследованы на основе спиртовых хмелевых экстрактов, представляющих комплекс фенольных, эфирных соединений и горьких смол, представляющих интерес в технологии пивоварения.

Цель: исследование сорбционных свойств целлюлозно-лигнинного комплекса обработанной дробины для оценки возможности создания носителя вкуса-ароматических компонентов на растительной основе.

Материалы и методы: В работе использовали 2 вида обработанной дробины разными физико-химическими способами. Сорбционную способность определяли по разнице в содержании соединений хмеля 2 видов (горького и ароматного) в спиртовых экстрактах. Оцениваемыми соединениями хмеля являлись горькие смолы (α -кислота), полифенольные соединения, определяемые по ГОСТ.

Результаты: Исследуемые образцы целлюлозно-лигнинного комплекса дробины проявляли сорбционную способность в отношении горьких смол, фенольных соединений и эфирных масел с разной долей эффективности, что говорит о достижении поставленной цели исследования.

Выводы: Проведенные исследования свидетельствуют о том, что физические методы обработки дробины (избыточное атмосферное давление, ультразвук) в присутствии ЭЖА-активированной воды способствуют возникновению свободных связей внутри целлюлозно-лигнинного комплекса, которые и являются местами обратимого связывания соединений хмеля. В результате исследования сорбционно-десорбционных процессов двух образцов обработанной дробины установлено, что вне зависимости от способов переработки структуры дробины (избыточного давления или ультразвука), происходит сорбция полифенолов на 22,6–28,0 % обработанной дробиной № 1, и 13,6–21,4 % обработанной дробиной № 2; горькие α -кислоты сорбируются на 14,9–20,2 % дробиной № 1 и на 9,6–15,1 % дробиной № 2; эфирные масла сорбируются на 11,1–12,0 % и 6,7–8,9 % дробиной № 1 и № 2 соответственно от начального содержания в экстракте. Десорбция полифенольных соединений происходит на 2/3, а горьких и эфирных соединений – на 1/2 от количества сорбируемых не зависимо ни от типа хмеля, ни от вида дробины. Исследования относительно условия проведения процессов сорбции и десорбции будут продолжены.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

пивная дробина, физико-химическая обработка, горькие смолы хмеля, общие полифенолы, сорбционная способность

The brewer's spent grain cellulose lignin complex sorption capacity study

All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry – Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russian Federation

Irina N. Gribkova, Irina V. Lazareva

CORRESPONDENCE:

Irina N. Gribkova

E-mail: institut-beer@mail.ru

FOR CITATIONS:

Gribkova, I.N., & Lazareva, I.V. (2023). The brewer's spent grain cellulose lignin complex sorption capacity study. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 148-156. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.466>

RECEIVED: 02.06.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction: The development of low-waste technologies in any industry, including food, is an urgent task for researchers. Studying the raw material composition allows us to develop directions for its deep processing with targeted action. Brewer's spent grain make up 80% of all secondary raw materials for brewing. The grain lignocellulosic structures are valuable in terms of sorption capacity during its processing to create free carboxyl –COOH groups, alcohol and phenolic hydroxyls –OH, silanol groups –Si–OH, which act as active centers on the sorption surface. The brewer's spent grain sorption abilities can be studied on the basis of alcoholic hop extracts, which are a complex of phenolic, etheric compounds and bitter resins that are of interest in brewing technology.

Purpose: The sorption properties study of the brewer's spent grain cellulose-lignin complex to assess the possibility of creating a carrier of flavoring components on a plant basis.

Materials and Methods: 2 types of processed brewer's spent grain were used by different physicochemical methods. The sorption capacity was determined by the difference in the content of 2 types hop compounds (bitter and aromatic) in alcohol extracts. The evaluated hop compounds were bitter resins (α -acid), polyphenolic and aromatic compounds determined according to GOST.

Results: The studied samples of the brewer's spent grain cellulose-lignin complex showed sorption capacity for bitter resins, phenolic compounds and essential oils with different degrees of efficiency, which indicates the achievement of the goal of the study.

Conclusion: The conducted studies indicate that the physical methods of brewer's spent grain processing (excessive atmospheric pressure, ultrasound) in the presence of ECA-activated water contribute to the formation of free bonds within the cellulose-lignin complex, which are the sites of reversible binding of hop compounds. As a result of sorption-desorption processes of brewer's spent grain two samples study, it was found that, regardless of the processing methods the structure of the brewer's spent grain (excessive pressure or ultrasound), polyphenols are sorbed by 22.6–28.0% of the treated pellet No. 1, and 13.6–21.4% processed shot No. 2; bitter α -acids are sorbed by 14.9–20.2% with pellet No. 1 and by 9.6–15.1% with pellet No. 2; essential oils are sorbed by 11.1–12.0% and 6.7–8.9% of pellets No. 1 and No. 2, respectively, from the initial content in the extract. The polyphenolic compounds desorption occurs by $\frac{2}{3}$, and bitter and ester compounds – by $\frac{1}{2}$ of the amount of sorbed ones, regardless of either the type of hop or the brewer's spent grain type. Research on the conditions for carrying out the processes of sorption and desorption will be continued.

KEYWORDS

brewer's spent grain, physic-chemical treatment, hop's bitter resins, total polyphenols, sorption capacity.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальной проблемой любого производства, в том числе пищевого, является его оптимизация с учетом применения малоотходных технологий. Допустимым решением использования вторичных сырьевых ресурсов является идея полного, комплексного использования сырья при модернизации имеющегося производства (Элакунова & Сатылганова, 2017).

Пивная дробина составляет до 80% общего объема отходов пивоваренной отрасли (Пономарев с соавт., 2016), она является скоропортящимся сырьевым ресурсом и требует утилизации или переработки в течение первых двух суток хранения. Причинами непродолжительных сроков хранения служит состав дробины — она состоит на 75–85% из воды, около 6,6% из азотистых соединений, на 1,7% липидных и 9,7% безазотистых соединений (Данильченко с соавт., 2020). В состав безазотистых соединений входят в основном лигноцеллюлозные структуры, на 28% представляющие арабиноксилан, на 17% целлюлозу и на 28% лигнин (Reis et al., 2015). Углеводные структуры представляют собой ценность с точки зрения сорбционной способности при соответствующей переработке.

Известно, что сорбционные свойства различных материалов осуществляются посредством пор, слабых Ван-дер-Ваальсовых взаимодействий, химического связывания (водородными или ковалентными связями) (Морозова с соавт., 2019). В сорбентах, произведенных на основе растительных отходов отмечена роль карбоксильных —COOH групп, спиртовых и фенольных гидроксидов —OH, силанольных групп —Si—OH, которые выступают в роли активных центров сорбции на сорбционной поверхности (Мерентин, 2019). Исследователями установлено, что структура пивной дробины, кондиционированное с применением раствора соляной кислоты, повышает сорбцию металлов на 40% (Izinyon et al., 2016). Изучением сорбции металлов посвящено много работ (Izinyon et al., 2016; Smyatskaya et al., 2019; Adelagun et al., 2014), в результате чего установлен механизм сорбции тяжелых металлов структурами дробины — ионный обмен.

Цель данной статьи: описание исследования сорбционных свойств целлюлозно-лигнинного комплекса обработанной дробины для оценки возможности

создания носителя вкусо-ароматических компонентов на растительной основе. Для осуществления цели необходимо: (1) выделить вкусо-ароматические соединения хмеля из растительной матрицы хмелепродуктов; (2) оценить с помощью валидированных методик количественные характеристики основных групп соединений хмеля; (3) провести исследования по сорбции и десорбции структурами обработанной дробины основных групп соединений хмеля.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования

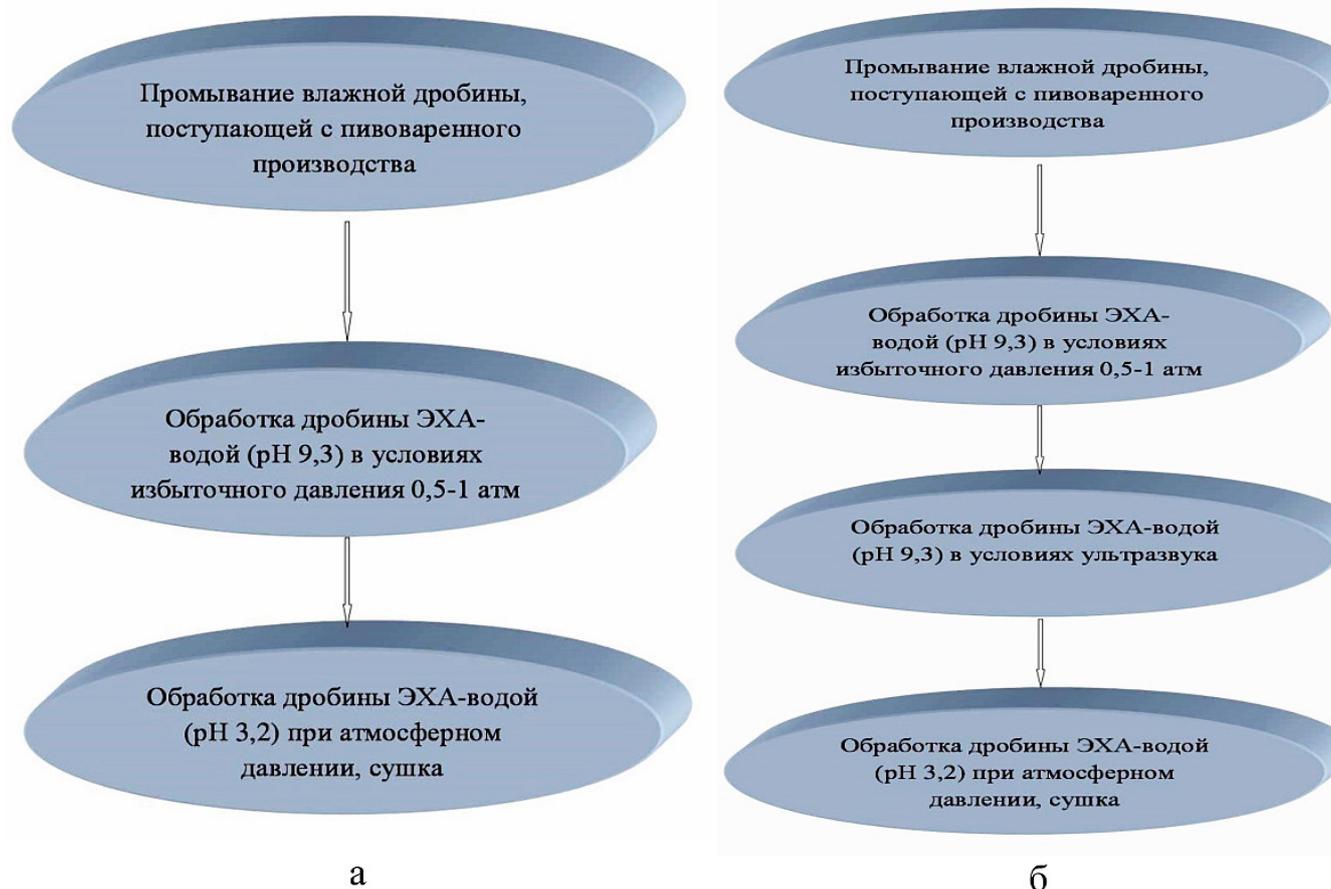
В работе в качестве материалов для исследования использовали солодовую дробину, полученную после приготовления солодового суслу на пилотной пивоварне (Германия) со степенью помола 85% : 15% (мелкий помол : крупка). Дробину с фильтрационных сит подвергали промыванию в проточной воде для удаления остатков растворимых соединений (редуцирующих сахаров, декстринов, растворимых азотистых и прочих веществ), после чего ее обсушивали фильтровальной бумагой от остаточной влаги, упаковывали в полиэтиленовые пакеты с Zip-застежкой и хранили в морозильной камере при $(-4 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение периода исследования.

В качестве способа обработки дробины применяли комбинированные физико-химические способы, схема обработки представлена на Рисунок 1 (а, б).

Сорбционную способность полученного целлюлозно-лигнинного комплекса двух образцов дробины исследовали с помощью хмелевых спиртовых экстрактов, получаемых с применением горького сорта Магнум (Германия) и ароматного сорта Тетнангер (Германия) урожая 2022г. Хмелевые экстракты получали путем настаивания навески хмеля в 96% этиловом спирте при $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 1 ч (контрольные растворы — К). Далее навеску дробину заливали экстрактом хмеля, выдерживали 1 ч при $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$, далее отделяли целлюлозно-лигнинный комплекс от экстракта, просушивали его от лишнего экстракта фильтровальной бумагой, высушивали на открытом воздухе 10–15 мин до сухого состояния и помещали для контроля сорбируемых соединений в чистый 96% раствор

Рисунок 1

Схема обработки дробины по типу 1 (а) и типу 2 (б)



этилового спирта и выдерживали 30 мин, после чего отделяли целлюлозно лигнинный комплекс фильтрованием, а полученные растворы использовали для исследования (опытные растворы — О).

Методы

Сорбционную способность оценивали по определению кондуктометрического показателя горечи (содержание α-горькой кислоты) — по ГОСТ 32912–2014¹, определению содержания общих полифенолов — по ГОСТ 34798–2021², определению

содержания эфирного масла (летучие соединения) — по ГОСТ 14618.11–78³.

Процедура исследования

Исследовали содержание основных контролируемых показателей в контрольных и опытных образцах и сравнивали их между собой. Эффективность сорбционной способности оценивали по количеству сорбируемых соединений на 1 г целлюлозно-лигнинного комплекса дробины.

¹ ГОСТ 32912–2014. (2019). *Хмелепродукты. Общие технические условия*. М.: Стандартиформ.

² ГОСТ 34798–2021. (2023). *Производство пивоваренная. Идентификация. Фотоэлектроколориметрический метод определения массовой концентрации полифенолов*. М.: Стандартиформ

³ ГОСТ 14618.11–78. (2023). *Масла эфирные, вещества душистые и полупродукты их синтеза. Методы определения растворимости, летучих веществ и примесей*. М.: Стандартиформ

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для решения поставленной цели исследования необходимо было решить поэтапные задачи: первая — определить с группами соединений, идентифицируемых в исследовании, которые могут характеризовать аромат и вкус хмеля; вторая — количественная оценка идентифицируемых групп соединений при их контакте с обработанной дробинной (сорбция); третья — количественная оценка идентифицируемых групп соединений при спиртовой экстракции адсорбированных соединений на дробине чистым органическим растворителем (96% этиловым спиртом) (десорбция). Поставленные задачи помогли определить эффективность сорбции/десорбции органических соединений хмеля структурами дробины и решить поставленную цель исследования.

Определение вкусо-ароматических групп соединений хмеля, ответственных за органолептический профиль пива

Группами соединений хмеля, на наш взгляд, отвечающими за вкус и аромат, являются горькие смолы, ответственные за хмелевую горечь, полифенольные соединения (моно- и мономерные молекулы), ответственные за горечь, терпкость, остроту восприятия как хмелевой, так и нехмелевой горечи (Gribkova et al., 2022), а также эфирные масла, под-

разумевающие дополнительные оттенки аромата и вкуса (от травяных до цветочных) (Lafontaine et al., 2019).

Количественная оценка идентифицируемых групп соединений при их контакте с обработанной дробинной (сорбция)

В результате проведенной оценки основных групп соединений, вызывающих интерес с точки зрения возможной сорбции соединениями обработанной дробины (по типу *a* и *b*, Рисунок 1), с помощью валидированных стандартизированных методик были оценены количественные характеристики в начальных хмелевых экстрактах (K_M и K_T), а также в экстрактах после выдержки с дробинной (тип *a* соответствовал 1 индексу, по тип *b* — 2) (\mathcal{E}_{1M} , \mathcal{E}_{1T} , \mathcal{E}_{2M} , \mathcal{E}_{2T}), и по разнице был определен процент сорбированных соединений. Результаты представлены в Таблице 1.

Приведенные в Таблице 1 данные относительно содержания основных групп соединений в контрольных экстрактах для объективной оценки необходимо сравнить с данными прочих исследований. Так, заявляется о содержании общих полифенолов в этанольных экстрактах хмеля сорта Магнум на уровне 4903,5 мг/дм³ (Kobus-Cisowska et al., 2019) и 9300 мг/дм³ в сорте Тетнангер (Palmioli et al., 2022). Полученные нами результаты занижены по сравнению с литературными данными, что может объясняться иным методом определения фе-

Таблица 1

Содержание основных групп соединений спиртовых экстрактов хмеля до и после сорбции

Перечень показателей	Содержание в объектах					
	Магнум			Тетнангер		
	K_M	\mathcal{E}_{1M}	\mathcal{E}_{2M}	K_T	\mathcal{E}_{1T}	\mathcal{E}_{2T}
Общие полифенолы, мг/дм ³ :						
– всего	1312,0	1015,2	1133,5	2706,0	1947,5	2290,0
– сорбировано	–	296,8	178,5	–	758,5	416,0
α -кислота, %:						
– всего	4,90	3,91	4,16	2,08	1,77	1,88
– сорбировано	–	0,99	0,74	–	0,31	0,20
Эфирное масло, %:						
– всего	0,90	0,78	0,82	1,80	1,60	1,68
– сорбировано	–	0,12	0,08	–	0,20	0,12

нольных соединений — в исследованиях заявлен метод Фолина-Чокальтеу, нами был применен метод Еруманиса. Отметим, что тенденция большего содержания полифенолов в хмеле сорта Тетнангер сохранена. Содержание α -кислоты в хмеле сорта Магнум колеблется от 11,5 до 12,7%, а β -кислоты — от 5,9 до 7,0% (Sawicka et al., 2021). В хмеле сорта Тетнангер заявляется содержание α -кислоты около 3,2%, а β -кислоты — около 4,6% (Krofta, 2003). Полученные данные Таблицы 1 также снижены по отношению к литературным данным, что может говорить о влиянии колебаний климатических условий на физико-химические параметры хмеля (Sun et al., 2022). Эфирные масла представлены вне зависимости от сорта хмеля мирценом, гумуленом, фарнезеном и кариофилленом, причем мирцен превалирует по количественному признаку среди всех эфирных масел (Sawicka et al., 2021). Общее содержание эфирных масел для Магнума составляет 0,9–1,2%, из них на долю мирцена приходится 42,3–44,5%, гумулена — 18,6–22,3%, фарнезена — 14,0–14,7%, кариофилена — 4,2–4,9% (Sawicka et al., 2021). Общее содержание эфирных масел для Тетнангера составляет 0,4–0,9%, из них на долю мирцена приходится 42,0%, фарнезена — 14,0–24,0%, кариофилена — 4,0–4,5% (Sun et al., 2022). Полученные результаты коррелируют с заявленными значениями общего содержания эфирных масел в экстрактах.

Данные о содержании основных показателей в экстрактах после применения целлюлозно-лигнинного комплекса двух образцов дробины свидетельствуют о том, что процесс сорбции происходил при контакте обработанной дробины и соединениями экстрактов. Оценивая сорбцию фенольных соединений, получили разницу в содержании начального и конечного содержания полифенолов хмеля Магнум 296,8 мг/дм³ при применении образца дробины № 1 (обработка избыточным давлением) и 178,5 мг/дм³ при применении дробины № 2 (обработка избыточным давлением и ультразвуком). Очевидно, что сорбция структурами дробины № 1 в 1,7 раза происходит интенсивнее по сравнению с интенсивностью сорбции структур дробины № 2. В отношении фенольных соединений экстракта ароматного сорта Тетнангер отмечена та же тенденция — разница в случае применения обработанной дробины № 1 составляет 758,5 мг/дм³, а дробины № 2 — 416,0 мг/дм³, что подтверждает интенсификацию сорбции структурами дробины № 1

в 1,8 раза по сравнению с сорбцией структурами дробины № 2.

По данным Таблицы 1 относительно горькой α -кислоты наблюдается также сорбция структурами дробины. При исследовании сорбционных процессов в отношении смол экстрактов горького сорта Магнум показано, что структурами дробины № 1 сорбируется 0,99% α -кислот, а структурами дробины № 2 — 0,74%, что свидетельствует о большей сорбционной емкости в 1,3 раза структур дробины № 1 в отношении горьких кислот хмеля. Подобная тенденция наблюдается в отношении сорбции горьких смол экстрактов хмеля сорта Тетнангер — дробина № 1 сорбирует в 1,6 раза больше горьких смол по сравнению с дробинкой № 2.

Сорбция эфирных масел из экстракта хмеля Магнум дробинкой № 1 эффективнее в 1,5 раза, а из экстрактов хмеля Тетнангер — в 1,7 раза по сравнению с сорбционной способностью дробины № 2 в обоих случаях. Предположительно, связывание молекул фенольных соединений происходит за счет водородных связей либо за счет хелатирования (Морозова с соавт., 2019; Smyatskaya et al., 2019), горьких смол также за счет присутствия в них -ОН групп (Przybyś & Skomra, 2020). В отношении эфирных масел сорбция обуславливается перечнем классов соединений, входящих в их состав — это терпены, спирты, сложные эфиры, альдегиды и кетоны, в том числе соединения, содержащие серу в составе (Dietz et al., 2020). Таким образом, в отношении эфирных масел имеет значение также водородные, ковалентные и хелатные типы связи при взаимодействии со структурами обработанной дробины.

Количественная оценка идентифицируемых групп соединений при спиртовой экстракции адсорбированных соединений на дробине чистым органическим растворителем (десорбция)

Полученные данные таблицы 1 позволили подтвердить эффект сорбции обработанной нами дробины по типу а и б, что впервые продемонстрировало возможность сорбирования хмелевых органических соединений. Предстояло достичь понимания, насколько эффективно при контакте с насыщенными соединениями хмеля матрицы целлюлозно-лигнинного комплекса дробины будет происходить десорбция соединений при контакте с полярным растворителем (этиловым спиртом).

В Таблице 2 представлены данные по десорбции соединений хмеля из структуры двух образцов дробины спиртом (O_{1M} , O_{1T} , O_{2M} , O_{2T}).

Исходя из полученных результатов десорбции различных групп соединений впервые показано, что в случае как горького (Магнум), так и ароматного (Тетнангер) сортов хмеля десорбция эффективнее проходит в случае целлюлозно-лигнинного комплекса дробины № 1. В большей степени десорбируются фенольные соединения, поскольку доля десорбции достигает 11,4–23,6% от первоначального количества полифенолов в экстракте. Горькие α -кислоты или смолы в целом десорбируются на 4,3–9,2%, а эфирные масла — на 3,9–8,9% от первоначального содержания в экстрактах. В отношении горьких смол и эфирных соединений также сохраняется преимущественная активность дробины № 1 в отношении десорбции.

Для проведения полноценного анализа сорбционно-десорбционной емкости дробины были рассчитаны удельные величины данных емкостей, то есть на 1 г целлюлозно-лигнинного комплекса дробины. Данные представлены в Таблице 3.

Анализируя результаты Таблицы 3 показано, что величина сорбируемых соединений всегда больше величины выделяемых (десорбируемых) соединений вне зависимости от сорта хмеля (соединений, входящих в состав экстрактов), и определяется свободными связями (типом обработки) структуры дробины.

Структура целлюлозно-лигнинного комплекса дробины № 1 оставляет в своем составе 15,7–32% полифенольных соединений, 54,5–54,8% горьких смол и 33–45,0% эфирных масел. Структура обработанной дробины № 2 оставляет в своем составе

Таблица 2

Показатели содержания соединений хмеля в процессе десорбции

Перечень показателей	Содержание в спиртовых экстрактах при применении хмеля			
	Магнум		Тетнангер	
	O_{1M}	O_{2M}	O_{1T}	O_{2T}
Общие полифенолы, мг/дм ³	202,54	149,24	639,6	344,4
Доля от содержания в экстракте, %	15,4	11,4	23,6	12,7
α -кислота, %	0,45	0,38	0,14	0,09
Доля от содержания в экстракте, %	9,2	7,6	6,7	4,3
Эфирное масло, %	0,08	0,04	0,11	0,07
Доля от содержания в экстракте, %	8,9	4,4	6,1	3,9

Таблица 3

Удельная характеристика процессов сорбции-десорбции соединений при применении двух образцов дробины

Соединения	Количество сорбируемого соединения на 1 г дробины							
	Магнум				Тетнангер			
	Дробина 1		Дробина 2		Дробина 1		Дробина 2	
	c^*	d^{**}	c	d	c	d	c	d
Полифенолы, мг	4,947	3,375	2,975	1,9154	12,642	10,660	6,933	5,740
α -кислота, %	0,660	0,300	0,493	0,253	0,207	0,093	0,133	0,060
Эфирного масла	0,200	0,13	0,133	0,07	0,333	0,18	0,200	0,12

c^* – сорбция; d^{**} – десорбция

16,4–17,2% фенольных соединений, 48,6–55,0% горьких смол и 41,7–50,0% эфирных масел исходя из количества адсорбированных соединений.

Однако, исследования в этой области будут продолжены, поскольку не исследованы прочие условия десорбции органических соединений хмелевых экстрактов (влияние температуры, pH и пр.).

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили решить поставленные задачи и впервые удостовериться в способности структур обработанной пивной дробины сорбировать органические соединения хмеля, ответственные за вкусо-ароматический профиль пива. Результаты, полученные в ходе проведения исследования, были неожиданными, поскольку впервые была показана способность сложных соединений сорбироваться структурами целлюлозно-лигнинного комплекса, то есть показана перспективность применения дробины для этих целей. Было доказано, что физические методы обработки дробины (избыточное атмосферное давление, ультразвук) в присутствии ЭХА-активированной воды,

то есть экологичная обработка, способствуют возникновению свободных связей внутри целлюлозно-лигнинного комплекса, которые и являются местами обратимого связывания соединений хмеля. В свете впервые полученных результатов было доказано применение дробины в качестве нерастворимого носителя для ароматов, что может быть применимо как в пищевой отрасли (технологии напитков), так и в смежных областях, где технология не подразумевает применения ароматизаторов на органических растворителях. свидетельствуют о том, что Исследования относительно условия проведения процессов сорбции и десорбции будут продолжены.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Грибкова Ирина Николаевна: концептуализация, методология, верификация, формальный анализ, визуализация исследования, создание рукописи и ее редактирование.

Лазарева Ирина Валерьевна: формальный анализ, проведение исследования, создание черновика рукописи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Данильченко, А. С., Сиюхов, Х. Р., Короткова, Т. Г., & Сиюхова, Б. Б. (2020). Определение содержания свободной и связанной влаги в пивной дробине. *Новые технологии*, (4), 41–52. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2020-15-4-41-52>
- Daniil'chenko, A. S., Siyukhov, Kh. R., Korotkova, T. G., & Siyukhova, B. B. (2020). Determination of the content of free and bound moisture in the beer pellet. *NNew Technologies*, (4), 41–52. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2020-15-4-41-52>
- Меретин, Р. Н. (2019). Сорбционные свойства угольно-минерального сорбента на основе рисовой лузги по отношению к ионам тяжелых металлов. *Сорбционные и хроматографические процессы*, 19(6), 703–710. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2019.19/2232>
- Meretin, R. N. (2019). Sorption properties of a coal-mineral sorbent based on rice husk in relation to heavy metal ions. *Sorption and Chromatographic Processes*, 19(6), 703–710. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2019.19/2232>
- Морозова, Е. О., Кулик, Е. А., Сапурина, И. Ю., Николаева, Т. Н., Бурцева, Е. И., Пронин, А. В., & Иванова, В. Т. (2019). Регенерируемые сорбенты на основе полипиррола для очистки водных сред от микропатогенов. *Сорбционные и хроматографические процессы*, 19(4), 390–398. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2019.19/777>
- Morozova, E. O., Kulik, E. A., Sapurina, I. Yu., Nikolaeva, T. N., Burtseva, E. I., Pronin, A. V., & Ivanova, V. T. (2019). Regenerated sorbents based on polypyrrol for the purification of aqueous media from micropathogens. *Sorption and chromatographic processes*, 19(4), 390–398. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2019.19/777>
- Пономарев, В. Я., Юнусов, Э. Ш., Ахметшин, Р. Р., & Самигулина, Л. Р. (2016). Сравнительный анализ способов гидролиза пивной дробины. *Вестник технологического университета*, (23), 136–138.
- Ponomarev, V. Ya., Yunusov, E. Sh., Akhmetshin, R. R. & Samigulina, L. R. (2016). Comparative analysis of methods of hydrolysis of beer pellets. *Bulletin of the Technological University*, (23), 136–138.
- Элакунова, Ж. И., & Сатылганова, Э. Ш. (2017). Обоснования выбора варианта ресурсосберегающих технологий пивоваренного производства. *Известия Иссек-Кульского форума бухгалтеров и аудиторов стран Центральной Азии*, (1–1), 113–118.
- Elakunova, Zh. I., & Satylganova, E. Sh. (2017). Substantiation of the choice of resource-saving

- technologies of brewing production. *Proceedings of the Issyk-Kul Forum of Accountants and Auditors of Central Asian Countries*, (1–1), 113–118.
- Adelagun, R. O. A., Itodo, A. U., Berezi, E. P., Oko, O. J., Kamba, E. A., Andrew, C., & Bello, H. A. (2014). Adsorptive removal of Cd²⁺ and Zn²⁺ from aqueous system by BSG. *Chemistry and Materials Research*, 6(2), 104–112.
- Dietz, C., Cook, D., Huismann, M., Wilson, C., & Ford, R. (2020). The multisensory perception of hop essential oil: A review. *Journal of the Institute of Brewing*, 126(4), 320–342. <https://doi.org/10.1002/jib.622>
- Gribkova, I. N., Kharlamova, L. N., Lazareva, I. V., Zakharov, M. A., Zakharova, V. A., & Kozlov, V. I. (2022). The influence of hop phenolic compounds on dry hopping beer quality. *Molecules*, (27), 740. <https://doi.org/10.3390/molecules27030740>
- Izinyon, O. C., Nwosu, O. E., Akhigbe, L. O. & Ilaboya, I. R. (2016). Performance evaluation of Fe (III) adsorption onto brewers' spent grain. *Nigerian Journal of Technology*, 35(4), 970–978. <https://doi.org/10.4314/njt.v35i4.36>
- Kobus-Cisowska, J., Szymanowska-Powalowska, D., Szczepaniak, O., Kmiecik, D., Przeor, M., Gramza Michalowska, A., Cielecka-Piontek, J., Smuga-Kogut, M., & Szulc, P. (2019). Composition and in vitro effects of cultivars of humulus lupulus l. hops on cholinesterase activity and microbial growth. *Nutrients*, (11), Article 1377. <https://doi.org/10.3390/nu11061377>
- Krofta, K. (2003). Comparison of quality parameters of Czech and foreign hop varieties. *Plant, Soil and Environment*, 49(6), 261–268.
- Lafontaine, S., Pereira, C., Vollmer, D., Shellhammer, T. H., Lafontaine, S., & Shellhammer, T. (2019). The effectiveness of hop volatile markers for forecasting dry-hop aroma intensity and quality of cascade and centennial hops. *BrewingScience*, (71), 116–140. <https://doi.org/10.23763/BrSc18-19lafontaine>
- Palmioli, A., Mazzoni, V., De Luigi, A., Bruzzone, C., Sala, G., Colombo, L., Bazzini, C., Paola Zoia, C, Inserra, M., Salmona, M., de Noni, I., Ferrarese, C., Diomede, L., & Airoidi, C. (2022). Alzheimer's disease prevention through natural compounds: Cell-Free. In Vitro, and. *ACS Chemical Neuroscience*, 22(13), 3152–3167. <https://doi.org/10.1021/acscemneuro.2c00444>
- Przybyś, M., & Skomra, U. (2020). Hops as a source of biologically active compounds. *Polish Journal of Agronomy*, (43), 83–102. <https://doi.org/10.26114/pja.iung.438.2020.43.09>
- Reis, S.F., Coelho, E., & Coimbra, M. (2015). Improved efficiency of brewer's spent grain arabinoxylans by ultrasound-assisted extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, (24), 155–164. <http://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.10.01>
- Sawicka, B., Śpiewak, M., Kiełtyka-Dadasiewicz, A., Skiba, D., Bienia, B., Krochmal-Marczak, B., & Pszczółkowski, P. (2021). Assessment of the suitability of aromatic and high-bitter hop varieties (*Humulus lupulus* L.) for beer production in the conditions of the małopolska vistula gorge region. *Fermentation*, (7), Article 104. <https://doi.org/10.3390/fermentation7030104>
- Smyatskaya, Yu. A., Fazullina, A. A., Politaeva, N. A., Chusov, A. N., & Bezborodov, A. A. (2019). Wastewater treatment of Iron (III) ions with residual biomass of microalgae *Chlorella sorokiniana*. *Ecology and Industry of Russia*, 23(6), 22–27. <http://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-6-22-27>
- Sun, S., Wang, X., Yuan, A., Liu, J., Li, Z., Xie, D., Zhang, H., Luo, W., Xu, H., Liu, J., Nie, C., & Zhang, H. (2022). Chemical constituents and bioactivities of hops (*Humulus lupulus* L.) and their effects on beer-related microorganisms. *Food and Energy Security*, (11), Article e367. <https://doi.org/10.1002/fes3.367>

УДК 664.6 : 664.7

Смесительная способность муки из различных сортов твердой и мягкой пшеницы для производства Саратовского калача

¹ Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, г. Саратов, Российская Федерация

² Музей «Саратовский калач», г. Саратов, Российская Федерация

³ Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, г. Саратов, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Садыгова Мадина Карипуловна

E-mail: sadigova.madina@yandex.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Садыгова, М.К., Догадин, А.Ю., Андреева, Л.В., Сибикеев, С.Н., & Шутарева, Г.И. (2023). Смесительная способность сортов твердой и мягкой пшеницы для производства саратовского калача. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 156-170. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.409>

ПОСТУПИЛА: 01.06.20223

ПРИНЯТА: 15.09.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках научно-практического договора ФГБОУ ВО «Вавиловский университет» и «ФАНЦ Юго-Востока» по теме: «Научно-практическое обоснование производства Саратовского калача на основе смесительной способности регионального ресурсного потенциала» от 20.10.2022 г.

М. К. Садыгова¹, А. Ю. Догадин², Л. В. Андреева³,
С. Н. Сибикеев³, Г. И. Шутарева³

АННОТАЦИЯ

Введение: Проблема качества зерна пшеницы остается актуальной в аспекте возрождения традиций Саратовского хлебопечения. Введение в рецептуру Саратовского калача муки из твердой пшеницы обусловлено тем, что содержит больше белка глина, который отвечает за растяжимость теста и совсем немного глютеина, отвечающего за упругость и эластичность, что очень важно для улучшения его упругих свойств.

Целью исследований является определение смесительной способности различных сортов твердой и мягкой пшеницы на основе реологического профиля полуфабрикатов для производства Саратовского калача.

Материалы и методы: В качестве объектов исследования использовали сорта яровой твердой пшеницы Елизаветинская, Луч 25, Гордеиформе 432 лаборатории селекции и семеноводства яровой твердой пшеницы; сорта мягкой пшеницы Александрит и Фаворит лаборатории генетики и цитологии ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока»; сорт мягкой пшеницы Агро СП, выведенный ФГБОУ ВО «Вавиловский университет». Содержание белка определяли на инфракрасном анализаторе зерна и муки «Инфратек 1241». Водопоглощательную способность мучных смесей и такие показатели реологических свойств тестовых полуфабрикатов определяли с использованием фаринографа и альвеографа.

Результаты: Установлено, что составление мучной смеси для производства Саратовского калача из муки, полученной из зерна мягкой пшеницы сорта Александрит и зерна твердой пшеницы сорта Елизаветинская, полученной из зерна мягкой пшеницы сорта Александрит и зерна твердой пшеницы сорта Луч 25, из зерна мягкой пшеницы сорта Александрит и зерна твердой пшеницы сорта Гордеиформе 432 в соотношениях 85:15, а также мука, полученная из зерна мягкой пшеницы сорта Агро СП в смеси с мукой из сортов зерна твердой пшеницы Елизаветинская, из зерна мягкой пшеницы сорта Агро СП и зерна твердой пшеницы сорта Луч 25 в соотношениях 85:15, являются наиболее выгодными как с технологической, так и с экономической стороны.

Выводы: Показатели реологических свойств сформированных образцов хлебопекарной муки, полученных на альвеографе и фаринографе, позволяют получить оптимальное соотношение помольной смеси зерна мягкой и твердой пшеницы для производства Саратовского калача.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

мягкая пшеница, твердая пшеница, смесительная способность, альвеограф, фаринограф, устойчивость, разжижение



Mixing ability flour of various varieties of durum and soft wheat for the production of Saratov kalach

¹ Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov, Russian Federation

² Museum «Saratov Kalach», Saratov, Russian Federation

³ Federal Agrarian Research Center of the South-East, Saratov, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Madina K. Sadigova

E-mail: sadigova.madina@yandex.ru

FOR CITATIONS:

Sadigova, M.K., Dogadin, A.Yu., Andreeva, L.V., Sibikeev, S.N., & Shutareva, G.I. (2023). Mixing capacity of durum and soft wheat varieties for the production of Saratov kalach. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 156-170.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2023.409>

RECEIVED: 01.06.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FINANCING

The work was carried out within the framework of the scientific and practical agreement of the Vavilovsky University and the Federal Agrarian Research Center of the South-East on the topic: «Scientific and practical justification of the production of Saratov kalach based on the mixing capacity of the regional resource potential» dated 10/20/2022.

Madina K. Sadigova¹, Anatoly Yu. Dogadin², Lyubov V. Andreeva³, Sergey N. Sibikeev³, Galina I. Shutareva³

ABSTRACT

Introduction: The problem of wheat grain quality remains relevant in the aspect of reviving the traditions of Saratov bakery. The introduction of durum wheat flour into the recipe of the Saratov roll is due to the fact that it contains more gliadin protein, which is responsible for the extensibility of the dough and quite a bit of gluten, which is responsible for elasticity and elasticity, which is very important for improving its elastic properties.

The purpose of the research is to determine the mixing ability of various varieties of durum and soft wheat based on the rheological profile of semi-finished products for the production of Saratov kalach.

Materials and Methods: As objects of research, varieties of spring durum wheat Elizavetinskaya, Luch 25, Gordeiform 432 of the laboratory of breeding and seed production of spring durum wheat were used; varieties of soft wheat Alexandrite and Favorit of the Laboratory of Genetics and Cytology of the FSBI «FANC of the South-East»; soft wheat variety Agro SP, bred by the Vavilov University. The protein content was determined on an infrared grain and flour analyzer «Infratek 1241». The water absorption capacity of flour mixtures and such indicators of rheological properties of test semi-finished products were determined using a pharynograph and an alveograph.

Results: It is established that the preparation of a flour mixture for the production of Saratov kalach from flour obtained from soft wheat grains of the Alexandrite variety and durum wheat grains of the Elizavetinskaya variety, obtained from soft wheat grains of the Alexandrite variety and durum wheat grains of the Luch 25 variety, from soft wheat grains of the Alexandrite variety and durum wheat grains of the Gordeiform 432 variety in ratios of 85:15, as well as flour obtained from soft wheat grains of the Agro SP variety mixed with flour from durum wheat varieties Elizavetinskaya, from soft wheat grains of the Agro SP variety and durum wheat grains of the Luch 25 variety in ratios of 85:15, are the most profitable both from the technological and economic side.

Conclusion: The rheological properties of the formed samples of baking flour obtained on an alveograph and a farinograph allow us to obtain the optimal ratio of the grinding mixture of soft and durum wheat grains for the production of Saratov kalach.

KEYWORDS

white turkey, soft wheat, durum wheat, alveograph, farinograph, dough stability, dough dilution, valorimetric evaluation, mixing ability.



ВВЕДЕНИЕ

Решение проблемы качества зерна призвано обеспечить продовольственную безопасность страны, должно реализовываться на государственном уровне с созданием целевой комплексной системы управления. Вследствие дефицита качественного зерна пшеницы мукомольно-крупяные предприятия страны вынуждены почти две трети своей продукции производить не в соответствии с нормативной документацией (Мелешкина, 2009; Прянишников, 2010; Алтухов, 2017).

Как считают ученые из институт сельского хозяйства — филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН, основная задача сельскохозяйственного производства заключается не только в получении высоких урожаев зерна, но и в обеспечении наилучших его технологических свойств (Peró et al, 2005; Horwat et al, 2006; Dojczew et al, 2007). Учитывая возросшие потребности населения в высококачественных хлебобулочных изделиях, а также развитие хлебного экспорта страны определяют необходимость производства зерна «сильных» и «ценных» сортов пшеницы (Малкандуев с соавт., 2022).

Проблема качества зерна остается актуальной и в аспекте возрождения традиций Саратовского хлебопечения. Саратовский калач по праву считается символом Саратова. В старину для настоящего Саратовского калача подходил только особый сорт твердой пшеницы — знаменитая Саратовская белотурка (Шамшитова с соавт., 2021). Однако, селекция твердой пшеницы ориентирована на решение проблем макаронной отрасли. Мясникова с соавт. (2019) полагают, что концентрация каротиноидных пигментов в зерне твердой пшеницы определяет до 30,0% качества конечной продукции (Fu, 2014) В результате, селекционеры, увеличивая количество каротиноидных пигментов в зерне твердой пшеницы, вытеснили белотурку. Поэтому, для возрождения традиций Саратовского хлебопечения необходимо подобрать сорт зерна твердой пшеницы.

В старину в рецептуре калача использовали смесь муки из сортов твердой пшеницы с мукой из сортов мягких в соотношении 25:75, что обеспечивало особые свойства изделию, качество которого оценивали сжатием калача при высоте 40 см до толщины лепешки, по восстановлению пер-

воначальной формы (Гапонов & Шутарева, 2017; Трекина с соавт., 2022). Белково-крахмальный матрикс влияет на структурно-механические свойства готовых хлебобулочных изделий (Пащенко, 2000). Поэтому необходимо определить реологические свойства полуфабриката при добавлении муки из зерна твердой пшеницы. Оценку перспективности селекции твердой пшеницы хлебопекарного назначения изучали и ученые Самарского НИИСХ (Шаболкина с соавт., 2015). Отмечается, что использование в помольных смесях сортов зерна твердой пшеницы положительно повлияло на структуру мякиша: эластичная и хорошо восстанавливающаяся. При этом высокие хлебопекарные качества были отмечены в варианте, где в качестве улучшителя использовался сорт твердой пшеницы Безенчукская 182, и по результатам исследований установлено оптимальное соотношение муки из мягкой и твердой пшеницы 1:2 (Шаболкина с соавт., 2015).

Реологические характеристики тестовых полуфабрикатов зависят от свойств клейковины, в частности, соотношением и взаимодействием глютенина и глиаина, имеющих важное значение при формировании вязкоупругих свойств полуфабрикатов (например, удержание углекислого газа, выделяющегося при брожении теста) и качества конечного продукта. Глиадины влияют на вязкость и растяжимость теста, а глютенины обладают когезионными свойствами и способствуют приданию тесту прочности и эластичности (Biesiekierski, 2017; Shewry et al., 2007). Твердая пшеница содержит больше белка глиаина, который отвечает за растяжимость теста и совсем немного глютенина, отвечающего за упругость и эластичность, что очень важно для улучшения упругих свойств Саратовского калача.

Цель данного исследования — определение смесительной способности различных сортов твердой и мягкой пшеницы на основе реологического профиля полуфабрикатов для производства Саратовского калача. В задачу исследований входило: (1) оценить реологические свойства полуфабрикатов из муки твердой и мягкой пшеницы на фаринографе и альвеографе; (2) выявить смесительную ценность сортов твердой пшеницы и обосновать количественные соотношения компонентов (твердая пшеница — мягкая пшеница) в помольных смесях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в лабораториях качества зерна и селекции и семеноводства яровой твердой пшеницы ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока».

Объект

В качестве объектов исследования использовали сорта яровой твердой пшеницы лаборатории селекции и семеноводства яровой твердой пшеницы ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока»: Елизаветинская, Луч 25, Гордеиформе 432; сорта мягкой пшеницы Александрит и Фаворит лаборатории генетики и цитологии ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока»; сорт мягкой пшеницы Агро СП, выведенный селекционерами ФГБОУ ВО «Вавиловский университет».

Процедура, методы и инструменты

Содержание белка определяли на анализаторе зерна Инфратек 1241. Водопоглотительную способность мучных смесей и такие показатели рео-

логических свойств тестовых полуфабрикатов, как время образования теста, консистенция, устойчивость, степень разжижения через 10 мин после старта и через 12 мин после максимума, показатели качества определяли с использованием фаринографа по ГОСТ ISO 5530-1-2013¹. Определение реологических свойств с применением альвеографа по ГОСТ Р 51415-99². Показатели качества зерна мягкой и твердой пшеницы оценивали по ГОСТ 9353-2016³ и представлены в Таблица 1.

Согласно Таблице 1, натура зерна высокая у всех сортов пшеницы, кроме сорта мягкой пшеницы Агро СП, у которого этот показатель соответствует 4 классу. По стекловидности зерно сортов яровой мягкой пшеницы можно отнести к 1 классу, тогда как сорта яровой твердой пшеницы Елизаветинская и Гордеиформе 432 относятся к 3 классу, а сорт Луч 25 по этому показателю относится к 4 классу. Видимо погодные условия вегетационного периода не позволили сформировать зерно с высокой стекловидностью.

Варианты различного соотношения муки из сортов мягкой и твердой пшеницы представлены в Таблице 2.

Таблица 1

Показатели качества зерна мягкой и твердой пшеницы

Название материала	Натура, г/л	Стекловидность, %	Содержание белка в зерне, %	Количество клейковины в зерне, %	Качество клейковины, ед. пр. ИДК-3М	Число падения, сек
<i>Яровая мягкая пшеница</i>						
Александрит (ур. 2022 г.)	814	82	15,7	34,0	95,6	365
Агро СП (ур. 2021 г.)	717	71	16,3	34,0	100	664
Фаворит (ур. 2022 г.)	815	64	14,6	31,6	93,1	343
<i>Яровая твердая пшеница</i>						
Елизаветинская (ур. 2022 г.)	777	73	14,0	20,0	110,9	480
Луч 25 (ур. 2022 г.)	811	64	12,0	21,6	109,1	460
Гордеиформе 432 (ур. 2022 г.)	800	71	13,5	22,0	104,8	596

¹ ГОСТ ISO 5530-1-2013. (2013). *Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Часть 1. Определение водопоглощения и реологических свойств с применением фаринографа*. М.: Стандартинформ.

² ГОСТ Р 51415-99. (2001). *Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Определение реологических свойств с применением альвеографа*. М.: Стандартинформ.

³ ГОСТ 9353-2016. (2016). *Пшеница. технические условия*. М.: Стандартинформ.

Таблица 2

Варианты опыта

№ п/п	Сорта мягкой пшеницы	Сорта твердой пшеницы		
		Елизаветинская	Луч 25	Гордеиформе 432
1	Александрит	75:25		
2	Александрит	85:15		
3	Александрит		75:25	
4	Александрит		85:15	
5	Александрит			75:25
6	Александрит			85:15
7	Агро СП	75:25		
8	Агро СП	85:15		
9	Агро СП		75:25	
10	Агро СП		85:15	
11	Агро СП			75:25
12	Агро СП			85:15
13	Фаворит	75:25		
14	Фаворит	85:15		
15	Фаворит		75:25	
16	Фаворит		85:15	
17	Фаворит			75:25
18	Фаворит			85:15

В качестве контрольного образца использовали смесь муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта торговой марки «Макфа» с мукой из зерна твердой пшеницы торговой марки «С. Пудовъ» в соотношении 75:25. Размол помольных смесей представленных сортов зерна мягкой и твердой пшеницы различного соотношения проводили на лабораторной мельнице «Квадрумат Сениор», где для высеивания муки установлено сито с номинальным размером отверстий ячеек в 160 мкм.

Анализ данных

⁴ ГОСТ 31463–2012. (2012). *Мука из твердой пшеницы для макаронных изделий. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

⁵ ТУ 14–4–1374–86. (1992). *Сетка тканая для мукомольной промышленности*. <https://td-mc.ru/gost/tu-14-4-1374-86>

Статическая обработка данных проводилась с помощью программ Excel и STATISTICA 10.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Учеными ФГБНУ «Федерального аграрного научного центра Юго-Востока» установлены критерии отбора сортов зерна твердой пшеницы «для производства спагетти с повышенной прочностью», с оптимальным значением стекловидности не менее 80 %, содержанием сырой клейковины 41–43 %, и содержанием белка в диапазоне 15–17 %. Для показателя усилие перекуса спагетти оптимальное качество сырой клейковины в пределах 74–82 ед. пр. ИДК-1» (Садыгова с соавт., 2021). Поэтому необходимо установить критерии отбора сортов твердой пшеницы для производства Саратовского калача. После размола зерна и отлежки муки определили в них содержание клейковины и ее качество.

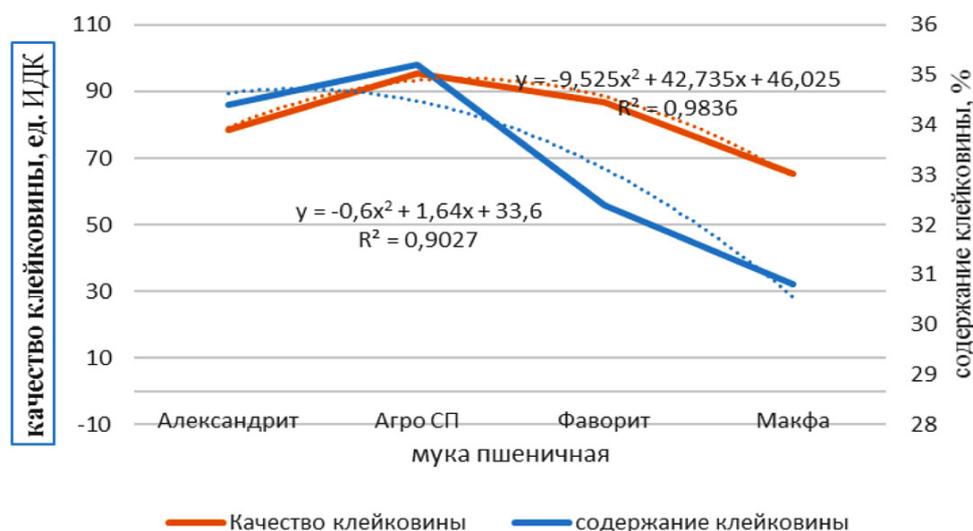
На первом этапе исследований провели лабораторные помолы представленных образцов зерна мягкой и твердой пшеницы на лабораторной мельнице Quadrumat Junior и Senior. В качестве обязательной гидротермической обработки зерна применяли холодное кондиционирование со следующими параметрами: расчетная влажность для зерна мягкой пшеницы – 14 %, твердой пшеницы – 15 %, время отволаживания – 12 ч для мягкой пшеницы, 16 ч для твердой пшеницы. Выход муки стандартный для данных видов мельниц 66–70 % для мягкой пшеницы, 42–45 % для твердой пшеницы. Мука из твердой пшеницы (дурум) высшего сорта соответствует ГОСТ 31463–2012⁴, получена на мельнице лабораторной Quadrumat Junior путем прохода через сито лабораторное из сетки проволочной стальной тканой по ТУ 14–4–1374⁵ размер стороны ячейки 0,25.

Результаты определения содержания клейковины в муке, полученной из различных сортов зерна мягкой пшеницы, представлены на Рисунке 1.

Как видно, из данных графика, высокое содержание клейковины в муке из зерна яровой мягкой пше-

Рисунок 1

Содержание и качество клейковины в муке пшеничной



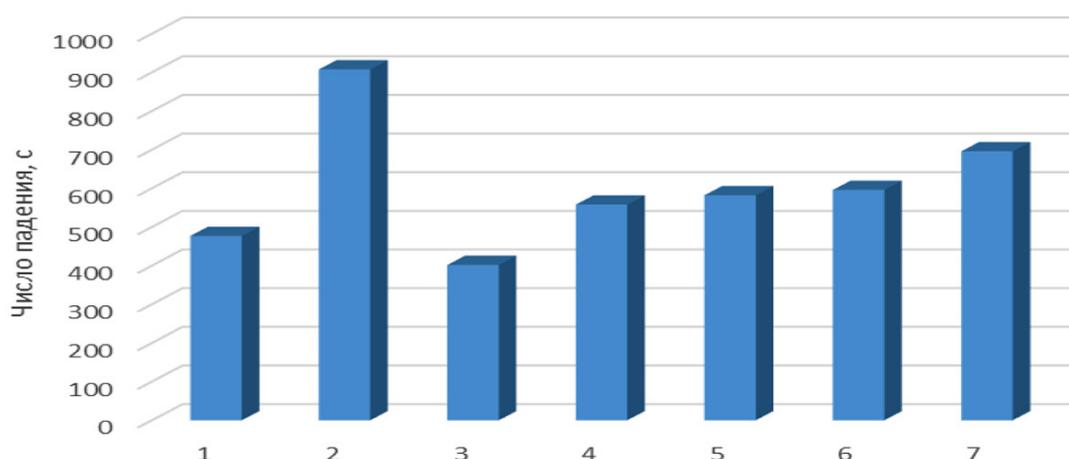
ницы сорта Агро СП-35,2%, выше на 1,6% по сравнению с мукой из зерна сорта Фаворит, на 3,6% по сравнению с мукой из зерна сорта Александрит, на 4,4% по сравнению с мукой пшеничной торговой марки «Макфа». Однако, качество клейковины муки пшеничной торговой марки оценивается, как хорошая, тогда как качество клейковины остальных образцов — удовлетворительная слабая, особенно у муки из зерна сорта Агро СП — 95,3 ед. пр. ИДК.

Для более полного изучения хлебопекарных свойств муки из различных сортов мягкой и твердой пшеницы и муки торговой марки Макфа исследовали их амилитическую активность, результаты которых представлены на Рисунке 2.

Особенно резкое увеличение вязкости наблюдалось у муки с высоким содержанием клейковины (из зерна сорта пшеницы Агро СП). Ямашев с соавт. (2020) предполагают, что «большое количество белка оставляет меньше свободной влаги в суспензии,

Рисунок 2

Показатель число падения муки



Примечание. 1 – Александрит; 2 – Агро СП; 3 – Фаворит; 4 – Елизаветинская; 5 – Луч 25; 6 – Гордеи-форме 432; 7 – Макфа

и она, свою очередь, связывается оклейстеризованным крахмалом, что отражается в увеличении вязкости».

Оценку смесительной способности муки из сортов яровой твердой пшеницы провели на основе результатов фаринографической и альвеографической оценок сформированных мучных смесей из зерна мягкой и твердой пшеницей. Как известно, одним из основных характеристик хлебопекарных свойств пшеничной муки, является сила муки, определяемая не только содержанием в ней клейковины, но и ее качеством, от которого в значительной степени зависит водопоглотительная способность муки при замесе, формирование теста, газодерживающая способность (Мелешкина, 2011; Мелешкина с соавт.,

2013; Мелешкина, 2016; Мелешкина с соавт., 2016; Болдина с соавт., 2016; Маслов с соавт., 2022).

Дисперсность муки влияет на ВПС муки и впоследствии определяет консистенцию теста. В предыдущих исследованиях была использована мука торговой марки Белес (Казахстан), соответствующая высшему сорту, соответственно, ВПС муки была ниже: при добавлении муки из зерна твердой пшеницы сорта Елизаветинская в количестве 10% составляла 65,8%, а при 20% – 65,4%, тогда как в данном случае при смеси муки из мягкой пшеницы сорта Александрит и муки из твердой пшеницы сорта Елизаветинская в количестве 25% ВПС муки выше на 9%, что подтверждает влияние дисперсности муки на этот показатель (Трекина с соавт., 2022).

Таблица 3

Результаты исследования реологических свойств теста из различных вариантов соотношений муки из зерна мягкой и твердой пшеницы на фаринографе

№ п/п	Соотношение сортов зерна мягкой и твердой пшеницы	Показатели качества теста				
		ВПС, %	Время образования теста, мин	Устойчивость, мин	Разжижение, ед.ф.	Число вальориметра, е.в.
1	Александрит 75 % + Елизаветинская 25 %	71,6	7,5	1,5	80	72
2	Александрит 85 % + Елизаветинская 15 %	70,6	6,5	2,5	75	72
3	Александрит 75 % + Луч 25 – 25 %	69,4	5,5	1,5	80	65
4	Александрит 85 % + Луч 25 – 15 %	69,8	5,5	1,5	75	65
5	Александрит – 75 % + Гордеиформе 432 – 25 %	68,8	5,0	1,5	70	63
6	Александрит – 85 % + Гордеиформе 432 – 15 %	69,6	6,0	2,0	65	70
7	Агро СП – 75 % + Елизаветинская 25 %	66,0	9,5	2,5	70	82
8	Агро СП – 85 % + Елизаветинская 15 %	66,0	10,5	2,5	70	84
9	Агро СП – 75 % + Луч 25 – 25 %	65,4	7,5	2,5	80	76
10	Агро СП – 85 % + Луч 25 – 15 %	65,2	9,5	3,0	70	83
11	Агро СП – 75 % + Гордеиформе 432 + 25 %	61,6	8,0	2,5	65	72
12	Агро СП – 85 % + Гордеиформе 432 + 15 %	67,6	11,0	2,0	75	84
13	Фаворит 75 % + Елизаветинская 25 %	68,6	3,5	2,0	100	57
14	Фаворит 85 % + Елизаветинская 15 %	68,0	4,5	1,5	85	60
15	Фаворит 75 % + Луч 25 – 25 %	67,8	4,0	1,0	100	55
16	Фаворит 85 % + Луч 15 – 15 %	67,6	4,0	1,5	90	57
17	Фаворит 75 % + Гордеиформе 25 %	68,8	4,5	1,5	95	59
18	Фаворит 85 % + Гордеиформе 15 %	69,0	4,5	1,0	90	57
19	Мука пш «Макфа»	67,4	10,5	5,0	85	89
20	Мука из тв.пшеницы (дурум) «С.Пудовъ»	66,0	5,0	1,0	105	59
21	«Макфа» 75 %+ «С.Пудовъ» 25 %	68,2	7,5	2,5	85	76
22	«Макфа» 85 %+ «С.Пудовъ» 15 %	67,6	8,5	2,0	75	77

На следующем этапе исследований определяли реологические свойства сформированных мучных смесей из различных сортов зерна мягкой и твердой пшеницы. Результаты исследования реологических свойств теста из различных вариантов соотношений муки из зерна мягкой и твердой пшеницы на фаринографе представлены в Таблице 3.

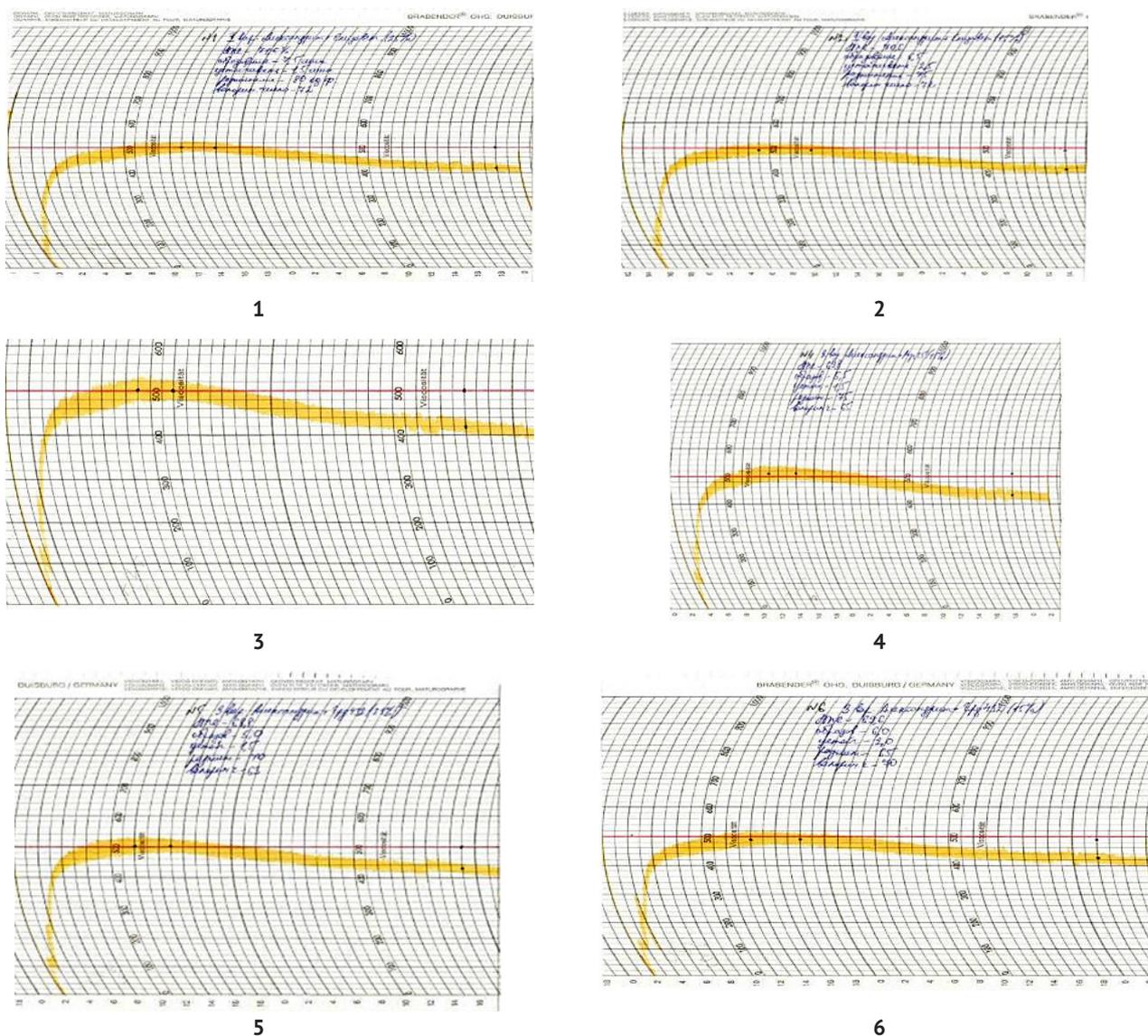
Высокое содержание белка в муке из зерна яровой мягкой пшеницы Агро СП обуславливает продолжительность образования теста с 7,5 до 11 мин, то есть более длительный процесс формования

белково-крахмального матрикса. Показатель водопоглощения определяет количество воды, которое необходимо для получения теста требуемой консистенции. Высокий показатель влагопоглощения особенно у образцов 1 и 2, при смешивании сорта яровой мягкой пшеницы Александрит и сорта яровой твердой пшеницы Елизаветинская.

Устойчивость теста (стабильность) — это продолжительность времени от максимальной точки образования теста до начала падения кривой, т.е. до начала

Рисунок 3

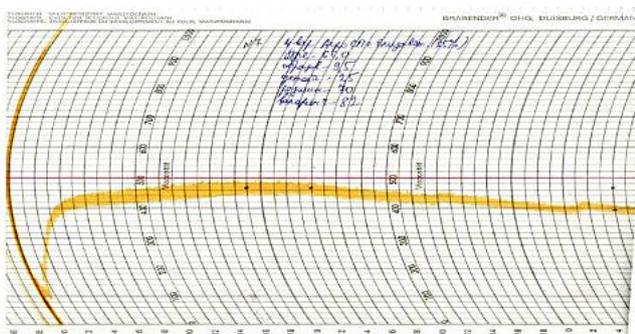
Фаринограммы муки из сорта мягкой пшеницы Александрит с добавлением муки из сорта твердой пшеницы Елизаветинская



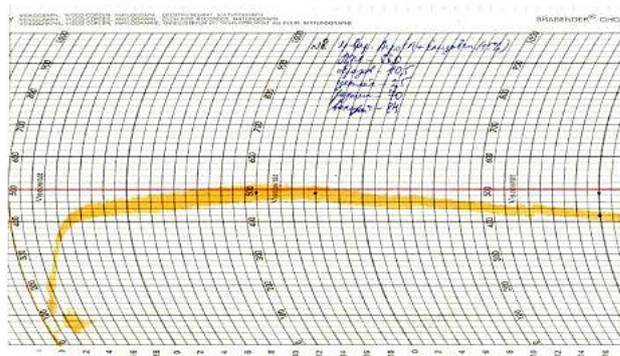
Примечание. 1 – 25%; 2 – 15% : Луч 25; 3 – 25%, 4 – 15%: Гордеиформе 432; 5 – 25%, 6 – 15%

Рисунок 4

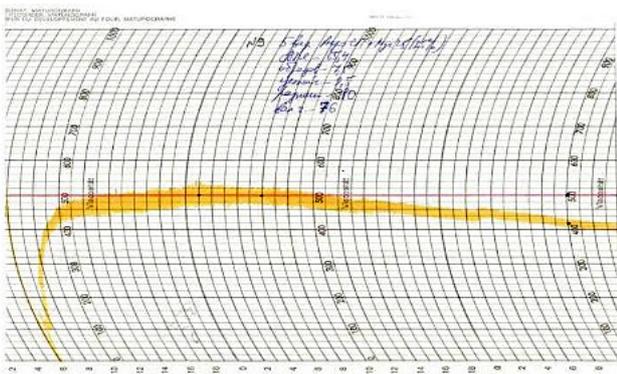
Фаринограммы муки из сорта мягкой пшеницы Агро СП с добавлением муки из сорта твердой пшеницы Елизаветинская



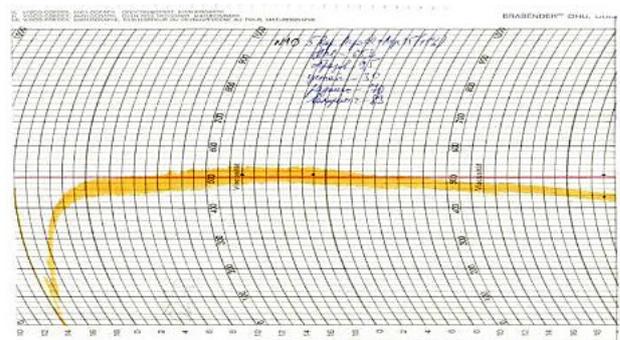
7



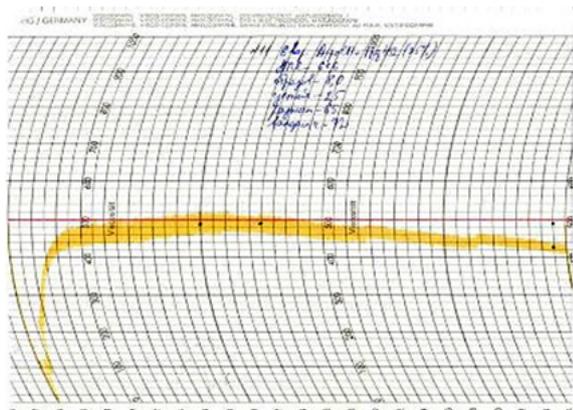
8



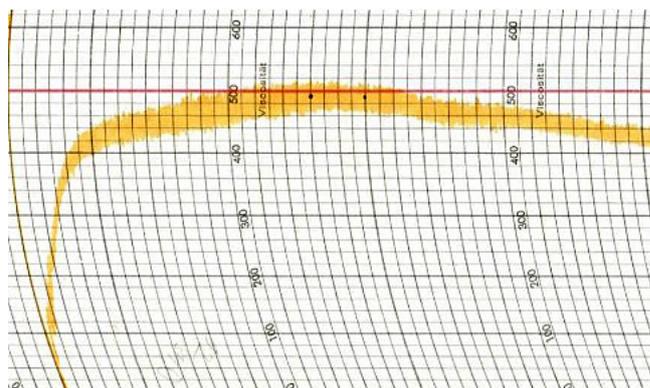
9



10



11

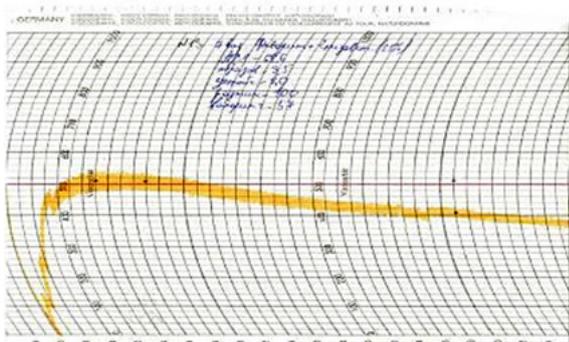


12

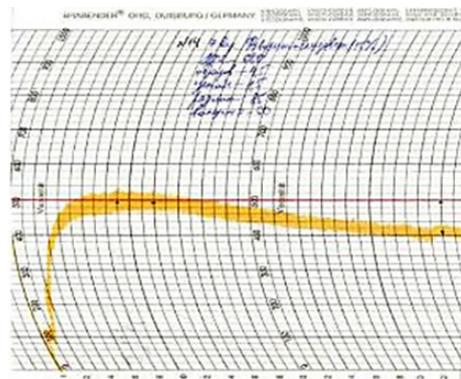
Примечание. 7 – 25%; 8 – 15%; Луч 25: 9 – 25%, 10 – 15%; Гордеиформе 432: 11 – 25%, 12 – 15%

Рисунок 5

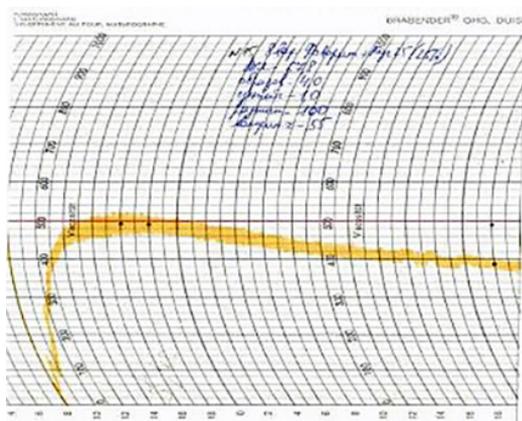
Фаринограммы муки из сорта мягкой пшеницы Агро СП с добавлением муки из сорта твердой пшеницы Елизаветинская



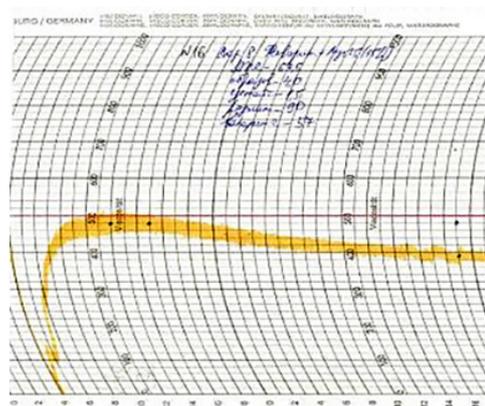
13



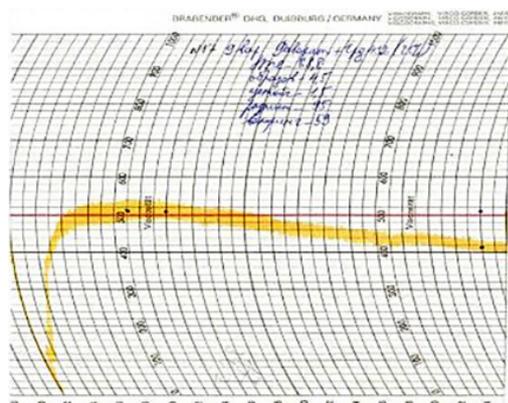
14



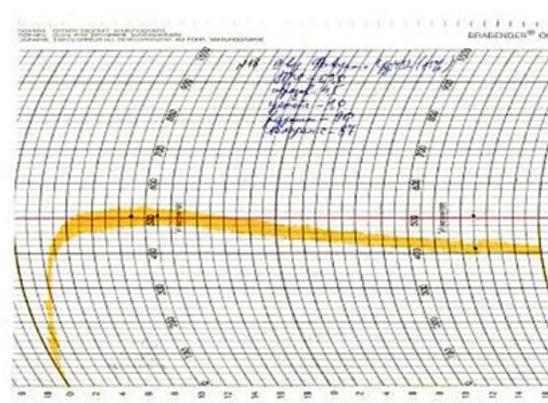
15



16



17



18

Примечание. 13 – 25%; 14 – 15% : Луч 25; 15 – 25%, 16 – 15%: Гордеиформе 432; 17 – 25%, 18 – 15%

разжижения (Анисимова & Солтан, 2016; Туляков, 2017; Туляков с соавт., 2017; Никонорова, 2021).

Из данных Таблицы 3, этот показатель соответствует сильной пшенице у вариантов муки пшеничной торговой марки Макфа и при смешивании муки из зерна мягкой пшеницы Агро СП с мукой из зерна твердой пшеницы Луч 25 в соотношении 85:15 (Рисунки 3–5). Следовательно, для других вариантов можно рекомендовать более сокращённый процесс брожения теста. Однако, показатель «разжижение теста» для сильной муки должен быть не более 80 ед. ф. По этому показателю уступают всем вариантам мучные смеси из зерна мягкой пшеницы Фаворит с мукой из зерна твердой пшеницы сортов Елизаветинская, Луч 25 и Гордеиформе 432 при различных соотношениях и пшеничная мука торговой марки Макфа.

Единым обобщающим показателем для характеристики физических свойств теста является величина площади, занимаемой фаринограммой. По этому показателю вышеуказанные варианты характеризуются, как средние по качеству.

Результаты исследования реологических свойств теста на альвеографе представлены в Таблице 4.

Мука из твердой пшеницы положительно влияет на растяжимость и упругость полуфабриката, что наглядно представлено на Рисунке 6.

Отличительной особенностью определения реологических свойств теста на альвеографе по сравнению с фаринографом является то, что в данном методе тесто растягивается во всех направлениях, а не только вдоль одной оси. Растяжение во всех

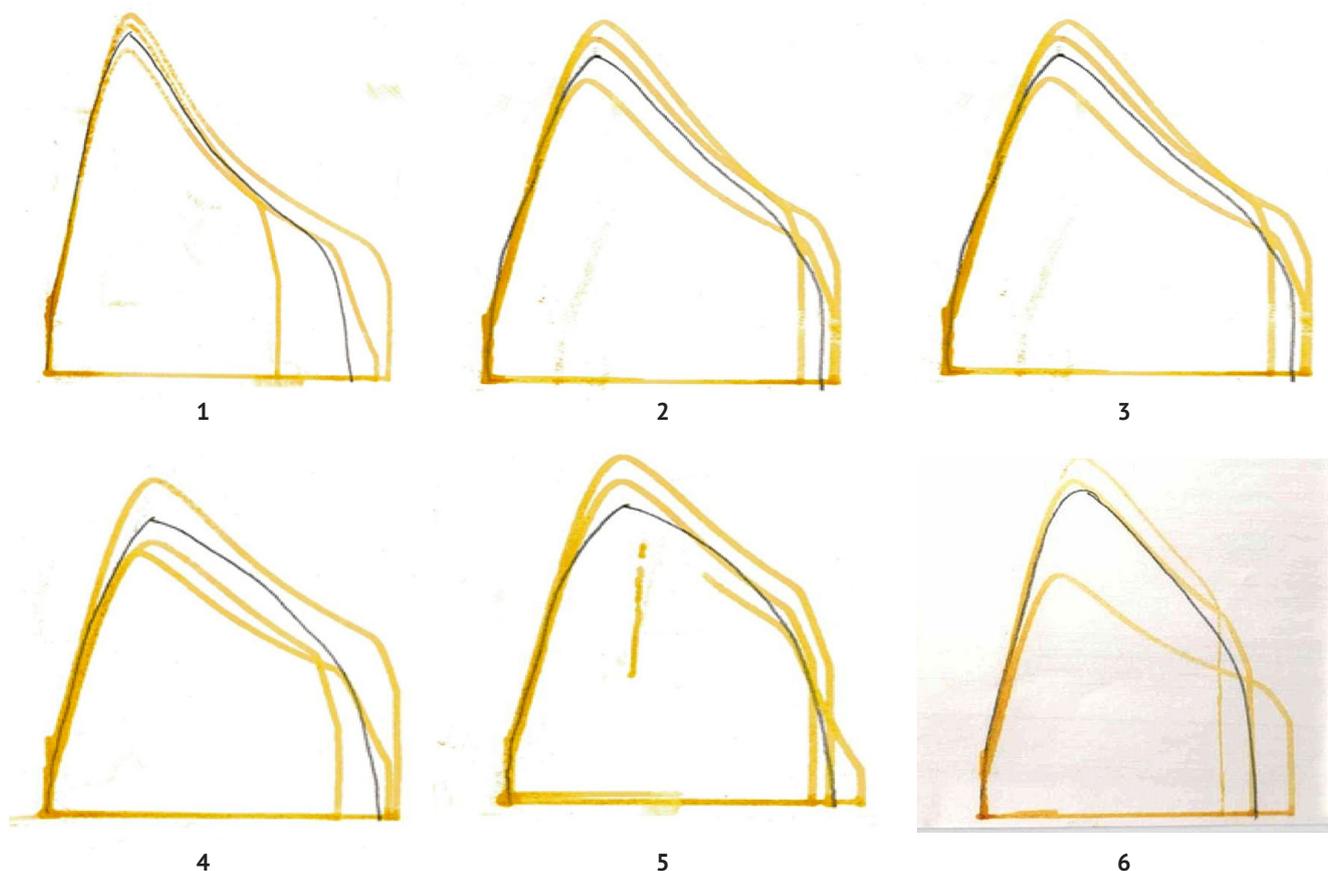
Таблица 4

Результаты исследования реологических свойств теста из мучных смесей различного соотношения на альвеографе

№ п/п	Название материала	Показатели альвеографа		
		P, мм	P/L	W, е.а.
1	Александрит 75 % + Елизаветинская 25 %	77,0	1,17	190
2	Александрит 85 % + Елизаветинская 15 %	85,8	1,23	229
3	Александрит 75 % + Луч 25 – 25 %	78,1	1,32	190
4	Александрит 85 % + Луч 25 – 15 %	104,5	1,90	242
5	Александрит – 75 % + Гордеиформе 432 – 25 %	88,0	1,54	203
6	Александрит – 85 % + Гордеиформе 432 – 15 %	83,6	1,52	196
7	Агро СП 75 % + Елизаветинская 25 %	60,5	0,98	150
8	Агро СП 85 % + Елизаветинская 15 %	66,0	1,20	150
9	Агро СП 75 % + Луч 25 – 25 %	62,7	1,31	131
10	Агро СП 85 % + Луч 25 – 15 %	64,9	1,35	144
11	Агро СП 75 % + Гордеиформе 432 + 25 %	70,4	1,60	131
12	Агро СП 85 % + Гордеиформе 432 + 15 %	64,9	1,55	124
13	Фаворит 75 % + Елизаветинская 25 %	47,3	0,74	105
14	Фаворит 85 % + Елизаветинская 15 %	56,1	0,95	131
15	Фаворит 75 % + Луч 25 – 25 %	53,9	1,20	98
16	Фаворит 85 % + Луч 15 – 15 %	56,1	0,97	137
17	Фаворит 75 % + Гордеиформе 25 %	48,0	1,02	118
18	Фаворит 85 % + Гордеиформе 15 %	62,7	1,25	131
19	Мука пш. «Макфа»	82,5	1,38	229
20	Мука из тв. пшеницы (дурум) «С.Пудовъ»	45,1	1,0	85
21.	«Макфа» 75 %+ «С.Пудовъ» 25 %	84,7	1,63	196
22.	«Макфа» 85 %+ «С.Пудовъ» 15 %	84,7	1,73	177

Рисунок 6

Альвеограммы муки из сорта мягкой пшеницы Александрит с добавлением муки из сорта твердой пшеницы Елизаветинская



Примечание. 2 – 15 % : 4 – Луч 15: 4 – Гордеиформе 15 %: муки из сорта Агро СП с Елизаветинской 15 % – 8; Луч 25 – 15 % 10, Макфа+Пудов 25 % – 21

направлениях характерно для теста и в процессе брожения (Туляков, 2017). Полученные результаты на альвеографе коррелировали с показателями реологических свойств теста на фаринографе. Определена статистически достоверная отрицательная зависимость между показателями альвеографа и показателями качества фаринографа которая составила $R = -0,96$.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что они могут быть использованы в процессе производства Саратовского калача на основе смесительной способности муки из зерна яровой мягкой и твердой пшеницы различного соотношения, при расчете количества воды на замес тестовых полуфабрикатов и определении продолжительности замеса. Рекомендуются следующие

мучные смеси для производства Саратовского калача: на основе муки из зерна мягкой пшеницы Александрит с мукой из зерна твердой пшеницы Александрит-Елизаветинская, Александрит-Луч 25 и Александрит-Гордеиформе 432 в соотношениях 85:15; на основе муки из зерна мягкой пшеницы Агро СП с добавлением муки из зерна твердой пшеницы Агро СП – Елизаветинская и Агро СП-Луч 25 в соотношениях 85:15. Рекомендуемые мучные смеси из различных сортов зерна мягкой и твердой пшеницы отличаются не только оптимальными технологическими параметрами, но и экономической эффективностью, т.к. мука из зерна твердой пшеницы дороже в 1,5–2 раза, чем мука из зерна мягкой пшеницы.

ВЫВОДЫ

Результаты экспериментальных данных реологических показателей сформированных мучных смесей, полученных на альвеографе и фаринографе, позволяют подобрать оптимальные соотношения различных саратовских районированных сортов зерна мягкой и твердой пшеницы для составления композитных мучных смесей и производства Саратовского калача. При этом удастся прогнозировать повышение формоустойчивости и удельного объема Саратовского калача, что приведет к улучшению его упругих свойств.

Установлено, что составление мучной смеси для производства Саратовского калача на основе муки, полученной из зерна мягкой пшеницы сорта Александрит и зерна твердой пшеницы сорта Елизаветинская, из зерна мягкой пшеницы сорта Александрит и зерна твердой пшеницы сорта Луч 25, из зерна мягкой пшеницы сорта Александрит и зерна твердой пшеницы сорта Гордеиформе 432 в соотношениях 85:15, а также мука, полученная из зерна мягкой пшеницы сорта Агро СП в смеси с мукой из сортов зерна твердой пшеницы Елизаветинская, из зерна мягкой пшеницы сорта Агро СП и зерна твердой пшеницы сорта Луч 25 в соотношениях 85:15, являются наиболее выгодными как с технологической, так и с экономической стороны. Выявлено, что показатели реологических свойств сформированных образцов хлебопекарной муки, полученных на альвеографе и фаринографе, позво-

ляют получить оптимальное соотношение помольной смеси зерна мягкой и твердой пшеницы для производства Саратовского калача.

Целесообразно продолжить дальнейшие исследования в направлении изучения смесительной способности муки из зерна мягкой и твердой пшеницы для определения газообразующей и газодерживающей способностей, а также исследования влияния структурно-механических свойств тестовых полуфабрикатов в процессе брожения и расстойки на показатели качества готовой продукции. Будет продолжена работа с целью изучения индивидуальных электрофоретических спектров белковых фракций пшеницы, что позволит выработать критерии к эталонному электрофоретическому спектру для исследуемых сортов и видов пшеницы.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Садыгова Мадина Карипулловна: аналитический обзор литературных источников, анализ экспериментальных данных, корректировка рукописи.

Сибикеев Сергей Николаевич, Шутарева Галина Ивановна: администрирование и разработка концепции исследования, корректировка рукописи.

Андреева Любовь Владимировна, Догадин Анатолий Юрьевич: проведение экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Алтухов А. И. (2017). Производству высококачественной пшеницы необходима государственная поддержка. *Зернобобовые и крупяные культуры*, (3), 15–23.
- Altukhov A. I. (2017). The production of high-quality wheat requires government support. *Leguminous and cereal crops*, (3), 15–23. (In Russ.)
- Анисимова, Л. В., & Солтан, О. И. А. (2016). Реологические свойства теста из смеси пшеничной и цельнозерновой овсяной муки. *Ползуновский вестник*, (3), 9–13.
- Anisimova, L. V., & Soltan, O. I. A. (2016). Rheological properties of dough made from a mixture of wheat and whole-ground oat flour. *Polzunovsky Bulletin*, (3), 9–13. (In Russ.)
- Болдина, А. А., Сокол, Н. В., & Санжаровская, Н. С. (2016). Влияние рисовой мучки на хлебопекарные свойства пшеничной муки. *Техника и технология пищевых производств*, 40(1), 5–10.
- Boldina, A. A., Sokol, N. V., & Sanzharovskaya, N. S. (2016). The influence of rice flour on the baking properties of wheat flour. *Equipment and Technology of Food Production*, 40(1), 5–10. (In Russ.)
- Гапонов, С. Н., & Шутарева, Г. И. (2017). Основные достижения и направления селекции яровой твердой пшеницы. *Зерновое хозяйство России*, (4), 17–21.
- Gaponov, S. N., & Shutareva, G. I. (2017). Main achievements and directions of selection of spring durum wheat. *Grain Farming in Russia*, (4), 17–21. (In Russ.)
- Кравченко, Н.С., Самофалов, А.П., Игнатьева, Н.Г., & Васюшкина, Н.Е. (2016). Физические и мукомольные свойства зерна сортов озимой мягкой пшеницы. *Аграрный вестник Урала*, 5(147), 11–17.
- Kravchenko, N.S., Samofalov, A.P., Ignatieva, N.G., & Vasyushkina, N.E. (2016). Physical and milling properties

- of grain of winter soft wheat varieties. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 5(147), 11–17. (In Russ.)
- Малкандуев, Х. А., Шамурзаев, Р. И., & Малкандуева, А. Х. (2022). Понятие и требования к качеству зерна пшеницы. *Известия Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук*, (6), 203–216. <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2022-6-110-203-216>
- Malkanduev, H. A., Shamurzaev, R. I., & Malkandueva, A. H. (2022). The concept and requirements for the quality of wheat grain. *Proceedings of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, (6), 203–216. (In Russ.) <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2022-6-110-203-216>
- Маслов, А. В., Мингалеева, З. Ш., Ямашев, Т. А., & Шибаева, Н. Ф. (2022). Изучение влияния комплексной растительной добавки на свойства мучных смесей и пшеничного теста. *Техника и технология пищевых производств*, 52(3), 511–525. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2385>.
- Maslov, A. V., Mingaleeva, Z. Sh., Yamashev, T. A., & Shibaeva, N. F. (2022). Studying the influence of a complex plant additive on the properties of flour mixtures and wheat dough. *Equipment and technology of food production*, 52(3), 511–525. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2385>.
- Мелешкина, Е. П. (2009). Современные аспекты качества зерна пшеницы. *Аграрный вестник Юго-Востока*, (3), 4–7.
- Meleshkina, E. P. (2009). Modern aspects of wheat grain quality. *Agrarian Bulletin of the South-East*, (3), 4–7. (In Russ.)
- Мелешкина, Е. П. (2011). Нужно ли нам качество зерна. *Хлебопродукты*, (6), 12–16.
- Meleshkina, E. P. (2011). Do we need grain quality? *Bakery Products*, (6), 12–16. (In Russ.)
- Мелешкина, Е. П. (2016). О новых подходах к качеству пшеничной муки. *Контроль качества продукции*, (11), 13–18.
- Meleshkina, E. P. (2016). On new approaches to the quality of wheat flour. *Product Quality Control*, (11), 13–18. (In Russ.)
- Мелешкина, Е. П., & Ветёлкин, Г. В. (2016). Современные методы, средства и нормативы в области оценки качества зерна и зернопродуктов. *Хлебопродукты*, (7), 16–17.
- Meleshkina, E. P., & Vetyolkin, G. V. (2016). Modern methods, tools and standards in the field of assessing the quality of grain and grain products. *Bakery Products*, (7), 16–17. (In Russ.)
- Мелешкина, Е. П., Коломиец, С. Н., Шеленкова, Л. В., & Коваль, А. И. (2013). Целевое использование зерна и муки — требование времени. *Пищевая промышленность*, (9), 64–66.
- Meleshkina, E. P., Kolomiets, S. N., Shelenkova, L. V., & Koval, A. I. (2013). The targeted use of grain and flour is a requirement of the time. *Food Industry*, (9), 64–66. (In Russ.)
- Милащенко, Н. З., & Тусикин, С. В. (2018). Резервы производства высококачественного зерна пшеницы в российском земледелии. *Земледелие*, (7), 30–33.
- Milashhenko, N. Z., & Tusikin, S. V. (2018). Reserves for the production of high-quality wheat grain in Russian agriculture. *Agriculture*, (7), 30–33. (In Russ.)
- Мясникова, М. Г., Мальчиков, П. Н., Шаболкина, Е. Н., Анисимкина, Н. В., Розова, М. А., & Чaxeева, Т. В. (2019). Результаты селекции твердой пшеницы в России на содержание каротиноидных пигментов в зерне. *Зерновое хозяйство России*, (6), 37–40. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-37-40>.
- Myasnikova, M. G., Malchikov, P. N., Shabolkina, E. N., Anisimkina, N. V., Rozova, M. A., & Chakheeva, T. V. (2019). Results of durum wheat selection in Russia for the content of carotenoid pigments in grain. *Grain Farming in Russia*, (6), 37–40. (In Russ.) <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-37-40>
- Никонорова, Ю. Ю. (2021). Исследование реологических свойств теста и хлеба из смеси муки пшеничной высшего сорта и сорговой муки. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (4), 155–160. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-4-155-160>.
- Nikonorova, Y. Y. (2021). Study of the rheological properties of dough and bread from a mixture of premium wheat flour and sorghum flour. *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*, (4), 155–160. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-4-155-160>.
- Пашченко, Л. П. (2000) *Интенсификация технологических процессов в производстве хлеба*. Воронеж: ВГТА.
- Pashchenko, L. P. (2000) *Intensification of technological processes in bread production*. Voronezh: VGTA. (In Russ.)
- Прянишников, А. И. (2010). Качество зерна — источник здоровья нации. *Достижения науки и техники АПК*, (11), 16–17.
- Pryanishnikov, A. I. (2010). The quality of grain is the source of the health of the nation. *Achievements of Science and Technology of Agro-Industrial Complex*, (11), 16–17. (In Russ.)
- Садыгова, М. К., Гапонов, С. Н., Шутарева, Г. И., & Филина, Д. К. (2021). Технологический потенциал зерна яровой твердой пшеницы Саратовской селекции. *Техника и технология пищевых производств*, 51(4), 759–767. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-759-767>
- Sadigova, M. K., Gaponov, S. N., Shutareva, G. I., & Filina, D. K. (2021). Technological potential of spring durum wheat grain of Saratov selection. *Equipment and Technology of Food Production*, 51(4), 759–767. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-759-767>
- Трекина, Н. П., Садыгова, М. К., Шамшитова, Д. С., Андреева, Л. В., & Осыка, И. А. (2022). Влияние муки из зерна твердой пшеницы на реологические свойства полуфабриката хлебопекарного производства. *Известия вузов. Пищевая технология*, (4), 77–80.
- Trekina, N. P., Sadigova, M. K., Shamshitova, D. S., Andreeva, L. V., & Osyka, I. A. (2022). The influence of durum wheat flour on the rheological properties of semi-finished bakery

- products. News from universities. *Food Technology*, (4), 77–80. (In Russ.)
- Туляков, Д. Г. (2017). Биохимические и реологические свойства в оценке разных видов муки. *Хлебопродукты*, (6), 30–34.
- Tulyakov, D. G. (2017). Biochemical and rheological properties in the evaluation of different types of flour. *Bakery Products*, (6), 30–34. (In Russ.)
- Туляков, Д. Г., Мелешкина, Е. П., Витол, И. С., Панкратов, Г. Н., & Кандроков, Р. Х. (2017). Оценка муки из зерна тритикале на основе реологических свойств с использованием системы Миксолаб. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 20–23.
- Tulyakov, D. G., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Pankratov, G. N., & Kandrov, R. Kh. (2017). Evaluation of triticale grain flour based on rheological properties using the Mixolab system. *Storage and Processing of Agricultural Raw Materials*, (1), 20–23. (In Russ.)
- Шаболкина, Е. Н., Мальчиков, П. Н., & Мясникова, М. Г. (2015). Возможность использования зерна твёрдой пшеницы для хлебопечения. *Молодой ученый*, (22), 27–29.
- Shabolkina, E. N., Malchikov, P. N., & Myasnikova, M. G. (2015). Possibility of using durum wheat grain for baking. *Young Scientist*, (22), 27–29. (In Russ.)
- Шамшитова, Д. С., Садыгова, М. К., & Трекина, Н. П. (2021). Сравнительная оценка качества пшеничной муки для производства Саратовского калача. *Сурский вестник*, (4), 74–79.
- Shamshitova, D. S., Sadigova, M. K., & Trekina, N. P. (2021). Comparative assessment of the quality of wheat flour for the production of Saratov kalach. *Sursky Bulletin*, (4), 74–79. (In Russ.)
- Ямашев, Т. А. (2012). Исследование структурно-механических свойств теста из смеси пшеничной и гороховой муки с применением альвеографа. *Вестник Казанского технологического университета*, 15(24), 112–114.
- Yamashev, T. A. (2012). Study of the structural and mechanical properties of dough from a mixture of wheat and pea flour using an alveograph. *Bulletin of Kazan Technological University*, 15(24), 112–114. (In Russ.)
- Biesiekierski, J. R. (2017). What is gluten. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 32(S1), 78–81. <https://doi.org/10.1111/jgh.13703>
- Dojczew, D., & Sobczyk, M. (2007). The effect of proteolytic activity on the technological value of wheat flour from preharvest sprouted grain. *Acta Scientiarum Polonorum. Technologia Alimentaria*, 6(4), 45–53.
- Fu, B. X., Hatcher, D. W., Schlichting, L. (2014). Effects of sprout damage on durum wheat milling and pasta processing quality. *Canadian Journal of Plant Science*, 94, 545–553. <https://doi.org/10.4141/cjps2013-094>
- Horwat, D., Jurković, Z., Drezner, G., Šimić, G., Novoselović, D., Dvojković, K. (2006). Influence of gluten proteins on technological properties of Croatian wheat cultivars. *Cereal Research Communications*, 34(2–3), 1177–1184. <https://doi.org/10.1556/CRC.34.2006.2-3.258>
- Pepó, P., Sipos, P., & Győri, Z. (2005). Effects of fertilizer application on the baking quality of winter wheat varieties in a long term experiment under continental climatic conditions in Hungary. *Cereal Research Communications*, 33(4), 825–832. <https://doi.org/10.1556/CRC.33.2005.2-3.154>
- Shewry, P. R., Halford, N. G., Belton, P. S., & Tatham, A. S. (2002). The structure and properties of gluten: An elastic protein from. *Philosophical Transactions of The Royal Society Biological Sciences*, 357(1418), 133–142. <https://doi.org/10.1098/rstb.2001.1024>

УДК 663.81: 664.857:633.932

Влияние сортовых особенностей на качество вишневых соков

Е. С. Салина¹, Е. В. Алексеенко², Н. С. Левгерова¹

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, п/о Жилина, Российская Федерация

² Российский биотехнологический университет, г. Москва, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Алексеенко Елена Викторовна
E-mail: AlekseenkoEV@mgupp.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Салина, Е.С., Алексеенко, Е.В., & Левгерова, Н.С. (2023). Влияние сортовых особенностей на качество вишневых соков. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 171-180. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.389>

ПОСТУПИЛА: 17.06.2023**ПРИНЯТА:** 15.09.2023**ОПУБЛИКОВАНА:** 30.09.2023**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:**

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

**АННОТАЦИЯ**

Введение: Сортовые особенности плодов вишни оказывают значительное влияние на пищевую ценность, а также сенсорные свойства производимых из них соков, для оценки которых важно подобрать список описательных дескрипторов, позволяющих наиболее полно раскрыть сенсорный профиль моносортных вишневых соков и вклад отдельных представителей природных компонентов в его формирование.

Цель: Установить влияние сортовых особенностей плодов на качество вишневых соков.

Материалы и методы: Проведена оценка органолептических свойств вишневых соков из четырех сортообразцов селекции ВНИИСПК: Гречанка, ЭЛС 5-7-60, 49667, 84735. Сок экстрагировали по методике, описанной в Программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур (1999). Сенсорный анализ проводили профильно-дескрипторным методом. Содержание сухих веществ, сахаров, титруемых кислот, витамина С, катехинов, антоцианов. определяли с использованием титриметрического, рефрактометрического и спектрофотометрического методов анализа.

Результаты: Сформированы визуальные, обонятельные и вкусовые дескрипторы для описания сенсорного профиля моносортных вишневых соков. Установлено, что такие показатели как ощущение кислотности и сладости, мягкость вкуса, прозрачность и густота зависят от особенностей сорта. Соки имели типичный для вишни яркий насыщенный цвет от темно-рубинового до красно-рубинового. Исключение — сок из плодов ЭЛС 5-7-60, в окраске которого присутствовали буроватые тона. По вкусовым качествам выделились соки, имеющие насыщенный вкус, — ЭЛС 5-7-60 (сладкий), Гречанка и ЭЛС 84735 (кислый). Соки имели приятный, типичный вишневый аромат с миндальной нотой. Содержание сухих веществ варьировало от 17,1 до 19,6 %. Наиболее низкой кислотностью и высоким соотношением сахар-кислота характеризовался сортообразец ЭЛС5-7-60. Выявлена корреляция сенсорного профиля соков с их биохимическими показателями и сортовыми особенностями вишни. Установлена выраженная обратная зависимость кислого вкуса от количества сухих веществ и сахаров; насыщенности вкуса - от содержания титруемых кислот; горьковато-вяжущего вкуса — от количества сахаров. В исследованных образцах содержание полифенольных веществ положительно коррелировало с горечью и отрицательно — с мягкостью вкуса. Установлено влияние сортовых особенностей на сохранение в соке катехинов и антоцианов. По совокупным характеристикам наибольший интерес для сокового производства представляет сортообразец ЭЛС 5-7-60.

Выводы: Полученные результаты послужат исходным ориентиром для использования различных сортов вишни в технологиях соков с позиции сенсорной и биохимической характеристик.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

вишня, сортообразцы, соки, сенсорная оценка, дескрипторы, биохимические параметры

Influence of Varietal Characteristics on the Quality of Cherry Juices

Elena S. Salina¹, Elena V. Alekseenko², Nadezhda S. Levgerova¹

¹ All-Russian Scientific Research Institute of Fruit Crop Breeding, p/o Zhilina, Russian Federation

² Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Elena V. Alekseenko

E-mail: AlekseenkoEV@mgupp.ru

FOR CITATIONS:

Salina E.S., Alekseenko E.V., Levgerova N.S. (2023). Influence of varietal characteristics on the quality of cherry juices. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 171-180. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.389>

RECEIVED: 17.06.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background: The varietal characteristics of cherry fruits have a significant impact on the nutritional value, as well as the sensory properties of the juices produced from them, for the assessment of which it is important to select a list of descriptive descriptors that make it possible to most fully reveal the sensory profile of single-varietal cherry juices and the contribution of individual representatives of natural components to its formation.

Purpose: The purpose of the research is to establish the influence of varietal characteristics of fruits on the quality of cherry juices.

Materials and Methods: The organoleptic properties of cherry juices from four varieties selected by VNIISKK have been assessed: Grechanka, ELS 5-7-60, 49667, 84735. The juice was extracted according to the method described in the Program and Methods for Varietal Study of Fruit, Berry and Nut Crops (1999). Sensory analysis was carried out using the profile-descriptive method. Content of dry matter, sugars, titratable acids, vitamin C, catechins, anthocyanins were determined using titrimetric, refractometric and spectrophotometric methods of analysis.

Results: Visual, olfactory and gustatory descriptors were formed to describe the sensory profile of single-varietal cherry juices. It has been established that indicators such as the feeling of acid and sweetness, the softness of taste (the absence of sharp acid in the taste), transparency and density depend on the characteristics of the variety. The juices had a bright, saturated color typical of cherries, from dark ruby to red ruby. The exception is the juice from the fruits of ELS 5-7-60, the color of which had brownish tones. According to the taste qualities, juices with a rich taste were distinguished – ELS 5-7-60 (sweet), Greek and ELS 84735 (sour). The juices had a pleasant, typical cherry flavor with an almond note. The dry matter content varied from 17.1 to 19.6%. The ELS5-7-60 variety was characterized by the lowest acidity and high sugar-acid ratio. A correlation between the sensory profile of juices and their biochemical parameters and varietal characteristics of cherries has been revealed. A pronounced inverse relationship between sour taste and the amount of dry matter and sugars has been established; richness of taste - from the content of titratable acids; bitter-astringent taste – due to the amount of sugars. In the studied samples, the content of polyphenolic substances correlated positively with bitterness and negatively with mildness of taste. The influence of varietal characteristics on the preservation of catechins and anthocyanins in juice has been established. In terms of overall characteristics, the ELS 5-7-60 variety is of greatest interest for juice production.

Conclusion: The results obtained will serve as a starting point for the use of different varieties of cherries in juice technologies from the perspective of sensory and biochemical characteristics.

KEYWORDS

cherry, varietal samples, juices, sensory evaluation, descriptors, biochemical parameters

ВВЕДЕНИЕ

Вишня (*Prunus cerasus* L.) — одна из самых распространенных в мире промышленных косточковых культур, плоды которой преимущественно идут на переработку, в том числе для производства продуктов здорового питания (Савельев, 2004; Седов, 2008; Причко & Чалай, 2015; Blando & Oomah, 2019). Высокое содержание сока и нежная структура мякоти, а также ограниченный период сбора урожая делает производство сока приоритетным направлением переработки вишни (Arjeh et al., 2015; Sabanci & Icier, 2017; Norouzi et al., 2021). Изготовление сока — один из наиболее популярных способов переработки плодов и ягод. Общие требования к качеству сока определены техническим регламентом ТР ТС 023/2011 «Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей»¹. Вишневый сок прямого отжима, как конечный продукт, попадающий на рынок, должен иметь цвет, вкус и запах, характерные для плодов, из которых он был произведен.

Переработка вишни на сок включает в себя несколько этапов: дробление, нагревание мезги, ферментативная обработка, прессование, пастеризация, осветление и фильтрация. Все стадии могут оказывать влияние на химический состав сока, тем самым влияя на его сенсорные качества (Schobinger, 2001; Varming et al., 2005; Laaksonen et al., 2013; Evrendilek et al., 2016; Yıldız et al., 2022)

Сортовые особенности плодового и ягодного сырья оказывают значительное влияние на сенсорные свойства производимых из них соков (Clausen et al., 2011; Repajić et al., 2019). Соковая индустрия в настоящее время стремится к сокращению добавок сахарозы при переработке плодов, ягод и фруктов на соки, поэтому поиск генотипов с более подходящими сенсорными качествами будет иметь большое значение (Laaksonen et al., 2013). Для сенсорного анализа важно подобрать список дескрипторов, описывающих продукт и его свойства. Большинство исследований соков связаны с изучением влияния различных факторов (генотип, погодные условия, условия хранения сока, способ его получения, т.д.) на сенсорные качества и их стабильность (Clausen et al., 2011; Evrendilek, 2016; Zorić et al., 2016; Warmund et al., 2016; Repajić et al., 2019; Norouzi et al., 2021). При этом публикаций по сенсорным профилям мо-

носортовых вишневых соков крайне недостаточно. Отсутствуют данные по словарям дескрипторов, описывающих вишневые соки. Во Всероссийском НИИ селекции плодовых культур (ВНИИСПК) накоплен большой экспериментальный материал по балльному органолептическому (сенсорному) анализу соков различных сортов вишни и их биохимическому составу, что позволяет определить влияние сорта на качество соков.

Цель данных исследований — установить влияние сортовых особенностей плодов на качество вишневых соков.

Для достижения поставленной цели необходимо (1) сформировать сенсорный профиль по визуальным, обонятельным и вкусовым дескрипторам и провести на его основе анализ соков из плодов различных сортообразцов вишни; (2) дать характеристику сокам из плодов вишни разных сортообразцов по содержанию сухих веществ, сахаров, титруемых кислот, аскорбиновой кислоты и флавоноидных соединений — катехинов и антоцианов; (3) выявить корреляционные зависимости между сортовыми особенностями вишни и сенсорными характеристиками полученного из нее сока, а также его биохимическими параметрами.

Реализация поставленной цели позволит выявить наиболее важные описательные дескрипторы для характеристики вишневых соков, расширить современную базу данных органолептического анализа и словарь дескрипторов, описывающих соки различных сортообразцов вишни, а также аргументированно подойти к выработке рекомендаций по использованию различных сортообразцов вишни в технологиях соков с позиции сенсорной и биохимической характеристик

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты

Четыре сортообразца вишни селекции ВНИИСПК (Орловский район, Орловская область): сорт Гречанка, элитные сеянцы (ЭЛС) 5-7-60, 49667, 84735. В течение трех лет собирали оптимально спелые плоды для переработки на сок.

¹ ТР ТС 023/2011. (2011). *Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей*. М.: Ось-89.

Методы и процедура исследования

Экстракция сока

Сок экстрагировали по методике, описанной в Программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур (Седов & Огольцова, 1999) в соответствии с Методическими указаниями по химико-технологическому сортоиспытанию овощных, плодовых и ягодных культур для консервной промышленности² и действующими стандартами (ТР ТС 023/2011; ГОСТ 32101–2013³). Плоды вишни тщательно промывали и измельчали деревянным пестиком. Полученную мезгу нагревали до 50°C, массу прессовали и фильтровали через тканевый фильтр, пастеризовали и укупоривали в стеклянные бутылки. Ферменты не применяли, т.к. по некоторым данным их использование при переработке сока приводит к повышению терпкости и потере свежего аромата (Laaksonen et al., 2013). Укупоренные соки хранились в течение 4 месяцев до сенсорного и химического анализов.

Сенсорный анализ

В нашем исследовании сенсорный анализ включал визуальную и вкусовую оценку. Оценка проводилась экспертами, которые приняли участие в закрытых дегустациях. Эксперты — члены дегустационной группы ($n = 16$, 3 мужчин, 13 женщин, в возрасте 27–60 лет) были отобраны среди сотрудников института по уровню вкусовой чувствительности (ГОСТ ISO 8586–2015⁴; ISO 3972:2011/COR 1:2012⁵). Члены дегустационной группы были предварительно обучены для оценки вишневого сока в соответствии со стандартами (ГОСТ ISO 8586–2015, ГОСТ ISO 5492–2014⁶, ГОСТ ISO 6658–2016⁷, ISO 6658:2017⁸, ISO 8586:2012⁹). Были проведены 2 специфические

сессии для базового обучения распознавания вкуса и аромата и 2 — для формирования и согласования словаря сенсорных дескрипторов. Экспертам было предложено описать сенсорное восприятие во время обоняния и дегустации сока своими словами. Были исключены неточные и повторяющиеся, а также редко встречающиеся термины. Некоторые литературные источники и нормативные документы послужили основой для выбора части дескрипторов (ТР ТС 023/2011; Culetu et al., 2013; Nowicka & Woidylo, 2015; Zorić et al., 2016; Repajić et al., 2019). После обобщения результатов были сформированы визуальные, обонятельные и вкусовые группы терминов и выбран список терминов-дескрипторов для дальнейшей работы (Таблица 1).

Таблица 1

Группы дескрипторов для сенсорного анализа сока из вишни

Дескрипторы		
Визуальные	Обонятельные	Вкусовые
Рубиновый	Вишневый	Сладкий
Красный	Миндальный	Кислый
Бурый	Травянистый	Терпкий
Темный	Приятный	Горький
Яркий	Посторонний запах	Мягкий
Густой	Типичный	Пустой
Мутный		Посторонний привкус
Типичный		Типичный

Для оценки интенсивности проявления качеств, описываемых дескрипторами, была выбрана 5-балльная непрерывная шкала (1 — признак не обнаружен, 5 — признак выражен интенсивно) (ГОСТ ISO 6658–2016; ISO 4121:2003¹⁰; Warmund et al., 2016).

² Методические указания по химико-технологическому сортоиспытанию овощных, плодовых и ягодных культур для консервной промышленности. М., 1993. 108 с.

³ ГОСТ 32101–2013 Консервы. Продукция соковая. Соки фруктовые прямого отжима. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с

⁴ ГОСТ ISO 8586–2015. Органолептический анализ. Общие руководящие указания по отбору, обучению и контролю за работой отобранных испытателей и экспертов-испытателей. М.: Изд-во стандартов, 2015. 25 с.

⁵ ISO 3972:2011/COR 1:2012. Sensory analysis. Methodology. Method of investigating sensitivity of taste. Technical Corrigendum 1. 2012.

⁶ ГОСТ ISO 5492–2014. Органолептический анализ. Словарь. М.: Изд-во стандартов, 2015, 10 с.

⁷ ГОСТ ISO 6658–2016. Органолептический анализ. Методология. Общие руководство. М.: Стандартинформ, 2016, 20 с.

⁸ ISO 6658:2017. Sensory analysis. Methodology. General guidance: 2017–07.

⁹ ISO 8586:2012. Sensory analysis. General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors: 2014–06

¹⁰ ISO 4121:2003. Sensory analysis. Guidelines for the use of quantitative response scales: 2004–08.

Для проведения анализа четыре образца сока были распределены на четыре блока случайным образом. Образцы представлены в трех повторностях. В сессию анализировался один блок, промежуток между ними составлял 2...3 дня. Каждый образец сока (50 мл) был зашифрован трехзначным числом и представлен в прозрачном стаканчике. На основе полученных оценок были построены профилограммы соков.

Биохимические параметры

Соки из плодов четырех сортообразцов вишни проанализированы по содержанию растворимых сухих веществ (РСВ, °Brix), сахаров, титруемых кислот, аскорбиновой кислоты (АК), катехинов и антоцианов. Анализ образцов проводили в двух повторных определениях согласно действующим стандартам (Седов & Огольцова, 1999; МУ, 1993; ГОСТ 8756.0–70¹¹). РСВ измеряли с помощью цифрового рефрактометра (Atago, мод. PAL-1) и выражали в процентах, титруемую кислотность — титрованием 0,1 N NaOH в присутствии индикатора фенолфталеина и выражали в пересчете на лимонную кислоту. Содержание сахаров определяли согласно ГОСТ 8756.13–87¹². Было рассчитано соотношение сахаров и кислот (СКИ). Аскорбиновую кислоту (мг/100 г) определяли йодометрическим методом. Определение содержания катехинов и антоцианов осуществляли колориметрическим методом в модификации Л.И. Вигорова на фотоэлектроколориметре КФК-2 (Вигоров, 1964).

Анализ данных

Все измерения проводили на трех параллельных выборках для каждой переменной, и данные были выражены в таблицах как среднее значение \pm стандартная ошибка (SE). Статистическую обработку проводили общепринятыми методами с помощью стандартных компьютерных программ Microsoft Excel. Достоверность результатов оценивали по *t*-критерию Стьюдента при $p \leq 0,05$. Значимость различий между сортами оценивали с помощью дисперсионного и апостериорного (тест Тьюка (Tukey post hoc test) анализов (Tukey, 1949).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для достижения поставленной цели и исходя из сформулированных задач на первом этапе исследований был сформирован сенсорный профиль вишневого сока по визуальным, обонятельным и вкусовым дескрипторам и осуществлен сенсорный анализ образцов, на втором — проведен биохимический анализ вишневых соков и выявлены некоторые корреляционные связи между сенсорными характеристиками сока и его биохимическими параметрами.

Сенсорный анализ

Работа по созданию дескрипторного словаря для изучения сенсорных качеств продуктов переработки из плодов и ягод ведется нами с 2020 года (Сидорова с соавт., 2020). К настоящему времени нами разработаны панели дескрипторов для оценки органолептических качеств яблочных и черносмородиновых соков (Салина, 2021; Salina et al., 2021). Для органолептической характеристики вишневых соков была также разработана дескрипторная панель, характеризующая продукт по внешнему виду, вкусовым и ароматическим особенностям.

По внешнему виду почти все образцы характеризовались типичной для вишневого сока рубиновой или рубиново-красной окраской. Отличная от остальных окраска сока была отмечена только у ЭЛС 5-7-60, который по данному признаку достоверно отличался от других сортов, что подтверждается тестом Тьюка (Рисунок 1). Особенно выделился по внешнему виду сок ЭЛС 84735: яркий, интенсивного рубинового цвета, прозрачный. Близко к нему по характеристике внешнего вида был сок из плодов сорта Гречанка (Рисунок 1).

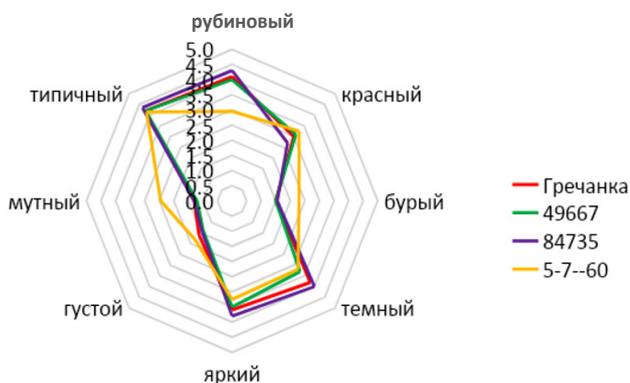
Сок из плодов ЭЛС 5-7-60 был наиболее мутным, что объясняется, очевидно, более высоким содержанием в нем растворимого пектина. К тому же это единственный образец, характеризовавшийся бурными тонами в окраске сока. Тем не менее, сок из плодов ЭЛС 5-7-60 был одним из наиболее свет-

¹¹ ГОСТ 8756.0–70. *Продукты пищевые консервированные. Отбор проб и подготовка их к испытанию*. М.: Стандартинформ, 2010. 7 с.

¹² ГОСТ 8756.13–87. *Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров*. М.: Стандартинформ, 2010. 10 с.

Рисунок 1

Характеристика внешнего вида вишневых соков. Статистически значимая разница между сортами подтверждается данными дисперсионного анализа и теста Тьюка

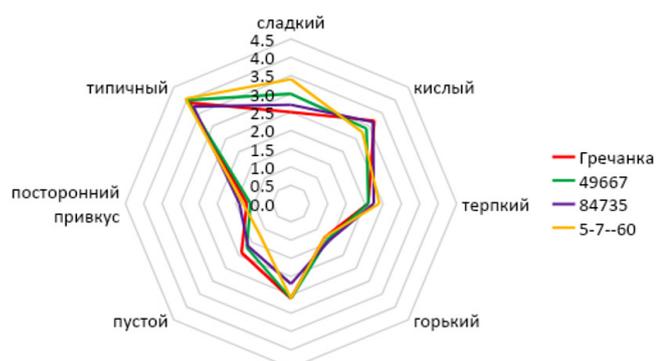


лых (3,2 балла), а сок из плодов ЭЛС 84735 — наиболее темным (4,0 балла) (Рисунок 1).

Важным сенсорным показателем сока, характеризующим его качество и подлинность, является вкус. Натуральный вишневый сок должен обладать типичным для вишни кисло-сладким вкусом, без посторонних привкусов, которые свидетельствуют о ненадлежащем качестве сырья или нарушении технологии производства сока. Профиллограмма (Рисунок 2) показала, что большинство опытных образцов характеризовались мягким типичным вишневым вкусом без посторонних привкусов. Соки плодов вишни сорта Гречанка и ЭЛС 84735 отличались более кислым вкусом (3,2 балла), а ЭЛС 5-7-60 — более сладким (3,4 балла). По насыщенности, как и по сладости вкуса, сок

Рисунок 2

Характеристика вкуса вишневых соков. Статистически значимая разница между сортами подтверждается данными дисперсионного анализа и теста Тьюка



из плодов ЭЛС 5-7-60 достоверно превышал сорт Гречанку и ЭЛС 84735.

Самые низкие вкусовые качества отмечены у сока из плодов вишни сорта Гречанка. Он отличался более кислым, но при этом «пустым» вкусом и меньшей по сравнению с остальными соками типичностью (Рисунок 2). Остальные сорта практически не различались как по терпкости, так и по горчинке сока и статистически были на одном уровне. Вкусовые показатели зачастую зависят друг от друга. Так, сладкий вкус может маскировать кислоту и горчинку. При этом насыщенность вкуса положительно коррелирует с кислым вкусом и отрицательно — с горьким, что отмечают и другие исследователи (Laaksonen et al., 2013).

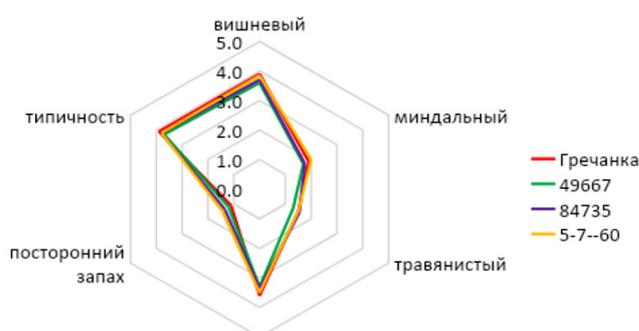
Для соков из плодов вишни характерен сильный аромат. Соки всех изучаемых сортообразцов обладали типичным для вишни ароматом, который оценивался на 3,6...4,0 балла (выше среднего...ярко выражен) (Рисунок 3). Миндальный аромат был менее выражен: от 1,7 балла (ЭЛС 49667) до 2,0 балла (ЭЛС 5-7-60). Все соки обладали высокими ароматическими качествами: имели приятный, типичный вишневый аромат с миндальной нотой без примеси травянистых или посторонних запахов.

Биохимические параметры

Поскольку биохимические параметры продукта оказывают существенное влияние на его сенсорные качества, был проведен анализ вишневых соков

Рисунок 3

Характеристика аромата вишневых соков. Статистически значимая разница между сортами подтверждается данными дисперсионного анализа и теста Тьюка



по содержанию РСВ, сахаров, титруемых кислот, АК, катехинов и антоцианов. Результаты биохимического анализа соков представлены в Таблице 2.

Согласно ТР ТС 023/2011 минимальное содержание РСВ в вишневых соках прямого отжима должно быть не ниже 12,4%. Среднее содержание РСВ в соках исследуемых сортообразцов вишни составило 18,4% при варьировании 17,1...19,6%. При этом изучаемые образцы разделились на две группы: Гречанка и ЭЛС 84735 и достоверно превосходящие их ЭЛС 49667 и ЭЛС 5-7-60 (Таблица 2). Таким образом, все сортообразцы соответствовали требованиям по данному показателю. Соки из плодов ЭЛС 49667 и ЭЛС 5-7-60 также характеризовались высоким содержанием сахаров. Минимальное содержание сахаров в соке отмечено у сортообразца ЭЛС 84735, а средним характеризовался сорт Гречанка. Натуральные вишневые соки, как правило, обладают высокой кислотностью. Более низкой кислотностью характеризовался сок из плодов ЭЛС 5-7-60. Соотношение сахаров и кислот определяет баланс сладкого и кислого во вкусе соков: чем выше СКИ, тем более сладким воспринимается вкус. Максимальное соотношение (СКИ = 8,9) также характерно для сока из плодов сортообразца ЭЛС 5-7-60. По содержанию в соке катехинов, участвующих в формировании вкуса, образцы разделились следующим образом: >120 мг/100 г (5-7-60, 49667, 84735) и <100 мг/100 г (Гречанка). Различное содержание катехинов в соках изученных сортообразцов свидетельствует о сортовых особенностях сохранения данных веществ. Антоцианы формируют цвет плодов и, соответственно, сока. Со временем количество экстрагированных мономерных антоциа-

нов уменьшается, что визуально распознается как пониженная интенсивность окраски сока (Mäkilä et al., 2017). Наибольшее количество антоцианов отмечено в соке из плодов ЭЛС 84735, который характеризуется ярко-рубиновым цветом (Таблица 2, Рисунок 1). Минимальное содержание антоцианов в соке ЭЛС 5-7-60 подтверждается тестом Тьюка. По общему количеству полифенольных веществ в соках выделился ЭЛС 84735, у которого данный показатель превышал 500 мг/100 г. Остальные сортообразцы также отличались довольно высоким уровнем полифенолов (приближаясь или превышая 200 мг/100 г) (Таблица 2).

Влияние некоторых биохимических параметров на вкусовые качества соков подтверждается коэффициентами корреляции (Таблица 3).

Выраженная обратная связь характеризует зависимость кислого вкуса от количества РСВ и сахаров и насыщенности вкуса от содержания титруемых кислот. Такая зависимость отмечалась в черносмородиновых соках (Laaksonen et al., 2013; Laaksonen et al., 2012) и в модельной системе (Troszyńska et al., 2010). Сахара, содержащиеся в соке, могут маскировать горьковато-вяжущий вкус, что объясняет отрицательную зависимость между этими показателями. В исследованных образцах содержание органических кислот отрицательно коррелировало с терпкостью (Таблица 3), хотя некоторая положительная корреляция между терпким вкусом продукта и органическими кислотами отмечается многими исследователями (Peleg & Noble, 1999; Troszyńska et al., 2010; Laaksonen et al., 2013; Laaksonen et al., 2012). Видимо, это связано

Таблица 2

Биохимические показатели вишневых соков

Сорто-образец	РСВ, %	Сумма сахаров, %	Общая кислотность, %	СКИ	АК, мг/100 г	Катехины, мг/100 г	Антоцианы, мг/100 г	Сумма полифенолов
Гречанка	17,2 ± 1,1	11,6 ± 1,6	1,75 ± 0,14	6,7 ± 1,4	12,4 ± 1,8	80,5 ± 42,6	179,5 ± 42,0	259,9 ± 45,4
49667	19,6 ± 0,4	13,1 ± 0,6	1,70 ± 0,01	7,7 ± 0,3	6,2 ± 0,0	140 ± 12,8	143,9 ± 10,9	283,9 ± 1,9
84735	17,1 ± 0,95	9,7 ± 0,8	1,66 ± 0,18	6,0 ± 1,1	9,2 ± 3,1	196,3 ± 13,7	305,7 ± 33,2	502,0 ± 19,5
5-7-60	19,3 ± 1,6	13,2 ± 0,7	1,48 ± 0,08	8,9 ± 0,02	7,0 ± 0,9	122,7 ± 49,5	73,9 ± 16,1	196,6 ± 65,6
χ	18,3 ± 0,7	11,9 ± 0,8	1,65 ± 0,06	7,3 ± 0,6	8,7 ± 1,4	134,9 ± 24,0	175,7 ± 48,6	310,6 ± 66,4
v%	7,4	13,9	7,1	17,4	31,5	35,6	55,3	42,8
НСР	0,7	1,1	0,21	1,1	2,1	9,3	16,5	16,9

Таблица 3

Связь (r) между вкусовыми и биохимическими показателями вишневых соков

Вкус сока	PCB, %	Сумма сахаров, %	Общая кислотность, %	СКИ	Катехины, мг/100 г	Антоцианы, мг/100 г	Сумма полифенольных веществ
Сладкий	0,83	0,69	-0,88*	0,89*	0,07	-0,72	-0,50
Кислый	-0,96*	-0,87*	0,69	-0,95*	0,11	0,84	0,65
Терпкий	0,09	-0,07	-0,91*	0,36	0,40	-0,10	0,07
Горький	-0,30	-0,68	0,21	-0,65	0,93*	0,82	0,93*
Мягкий	0,61	0,90*	-0,05	0,72	-0,85*	-0,89*	-0,96*
Насыщенный	-0,60	-0,48	0,99*	-0,80	-0,11	0,59	0,39

Примечание. * – значимо при уровне вероятности $P = 0,95$.

с довольно высоким содержанием PCB в соках, поскольку различные полисахариды оказывают влияние на снижение вяжущих ощущений фенольных соединений (Troszyńska et al., 2010), что отражается на вкусе сока. По некоторым литературным данным низкое соотношение сахаров и кислот способствует восприятию кислого вкуса (Troszyńska et al., 2010; Laaksonen et al., 2013). Нами также отмечена эта тенденция. В исследованных образцах содержание полифенольных веществ положительно коррелировало с горечью (Таблица 3) и отрицательно — с мягкостью вкуса, что подтверждается данными других исследователей (Vidal et al., 2004; Troszyńska et al., 2010). Сок из плодов ЭЛС 84735, наиболее богатый полифенольными соединениями, воспринимался как более мягкий по сравнению с соками других сортообразцов.

ВЫВОДЫ

Изучение сенсорных качеств монсортовых вишневых соков показало, что они в значительной степени зависят от сортовых особенностей. Прежде всего это касается таких показателей, как ощущение кислоты и сладости, мягкость вкуса (отсутствие во вкусе резкой кислоты), прозрачность.

Данные биохимического и дескрипторного анализов согласуются: сок с наибольшей кислотностью отличался наиболее кислым вкусом (Гречанка), а сок с наибольшим содержанием сахаров самым высоким СКИ — сладким (ЭЛС 5-7-60). Установле-

но влияние сортовых особенностей на сохранение в соке катехинов и антоцианов.

Подтверждены данные других исследователей о положительной корреляции содержания полифенольных веществ с терпкостью.

Среди изученных сортов и форм большой интерес для сокового производства, прежде всего сока прямого отжима, представляет гибридная форма ЭЛС 5-7-60. Сок из ее плодов характеризуется насыщенным сладким вкусом и типичным для вишни цветом и ароматом.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Салина Елена Сергеевна: концептуализация; разработка модели исследования; проведение исследования; верификация данных; формальный анализ; создание черновика и редактирование рукописи; визуализация; ресурсное обеспечение.

Алексеенко Елена Викторовна: концептуализация; разработка модели исследования; проведение исследования; верификация данных; формальный анализ; создание черновика и редактирование рукописи; визуализация; ресурсное обеспечение.

Левгерова Надежда Станиславовна: концептуализация; разработка модели исследования; проведение исследования; верификация данных; формальный анализ; создание черновика и редактирование рукописи; визуализация; ресурсное обеспечение.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Вигоров, Л. И. (1964). Определение различных форм катехинов в плодах и ягодах. В *Труды II Всесоюзного семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод* (с. 310–322). Свердловск: Среднеуральское книжное издательство.
- Vigorov, L. I. (1964). Determination of various forms of catechins in fruits and berries. In *The Proceedings of the 2nd all-union seminar on biologically active (therapeutic) substances of fruits and berries* (pp. 310–322). Sverdlovsk: Middle Ural Publishing House. (In Russ.)
- Причко, Т. Г., & Чалая, Л. Д. (2015). Биохимическая оценка соков из вишни. *Новые технологии*, (3), 34–39.
- Prichko, T. G., & Chalaya, L. D. (2015). Biochemical evaluation of cherry juices. *New Technologies*, (3), 34–39. (In Russ.)
- Савельев, Н. И., Леонченко, В. Г., Макаров, В. Н., Жбанова, Е. В., & Черенкова, Т. А. (2004). *Биохимический состав плодов и ягод и их пригодность для переработки*. Мичуринск: Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и селекции плодовых растений имени И. В. Мичурина.
- Savel'ev, N. I., Leonchenko, V. G., Makarov, V. N., Zhanova, E. V., & Cherenkova, T. A. (2004). *Biochemical composition of fruits and berries and their suitability for processing*. Michurinsk: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut genetikii i selektsii plodovykh rastenii imeni I. V. Michurina. (In Russ.)
- Салина, Е. С. (2021). Сенсорная оценка моносортных соков из плодов колонновидных сортов яблони. *Садоводство и виноградарство*, (1), 48–55. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-1-48-55>
- Salina, E. S. (2021). Sensory evaluation of monosort juices from fruits of columnar apple varieties. *Gardening and Viticulture*, (1), 48–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-1-48-55>
- Седов, Е. Н. (2008). *Помология. Косточковые культуры*. Орел: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур.
- Sedov, E. N. (2008). *Pomology. Stone crops*. Orel: All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding. (In Russ.)
- Седов, Е. Н., & Огольцова, Т. П. (1999). *Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур*. Орел: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур.
- Sedov, E. N., & Ogol'tsova, T. P. (1999). *Program and methodology of variety study of fruit, berry and nut crops*. Orel: All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding. (In Russ.)
- Сидорова, И. А., Салина, Е. С., & Левгерова, Н. С. (2020). Влияние срока съема плодов на сенсорные качества яблочного сока. *Плодоводство и виноградарство Юга России*, 64(4), 312–322. <http://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-4-64-312-322>
- Sidorova, I. A., Salina, E. S., & Levgerova, N. S. (2020). The effect of the fruit harvest period on the sensory qualities of apple juice. *Fruit Growing and Viticulture in the South of Russia*, 64(4), 312–322. (In Russ.) <http://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-4-64-312-322>
- Arjeh, E., Barzegar, M., & Sahari, M. A. (2015). Effects of gamma irradiation on physicochemical properties, antioxidant and microbial activities of sour cherry juice. *Radiation Physics and Chemistry*, 114, 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.05.017>
- Blando, F., & Oomah, B. D. (2019). Sweet and sour cherries: Origin, distribution, nutritional composition and health benefits. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 517–529. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.052>
- Clausen, M., Pedersen, B., Bertram, H., & Kidmose, U. (2011). Quality of sour cherry juice of different clones and cultivars (*Prunus cerasus* L.) determined by a combined sensory and NMR spectroscopic approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(22), 12124–12130. <https://doi.org/10.1021/jf202813r>
- Culetu, A., Manolache, F. A., & Duta, D. E. (2013). Exploratory study of physicochemical, textural and sensory characteristics of sugar-free traditional plum jams. *Journal of Texture Studies*, 45(2), 138–147. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12057>
- Evrendilek, G. (2016). Change regime of aroma active compounds in response to pulsed electric field treatment time, sour cherry juice apricot and peach nectars, and physical and sensory properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.11.020>
- Laaksonen, O., Mäkilä, L., Tahvonon, R., Kallio, H., & Yang B. (2013). Sensory quality and compositional characteristics of blackcurrant juices produced by different processes. *Food Chemistry*, 138(4), 2421–2429. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.12.035>
- Laaksonen, O., Sandell, M., Nordlund, E., Heiniö, R.-L., Malinen, H.-L., Jaakkola, M., & Kallio, H. (2012). The effect of enzymatic treatment on blackcurrant (*Ribes nigrum*) juice flavour and its stability. *Food Chemistry*, 130(1), 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.06.048>
- Mäkilä, L., Laaksonen, O., Kallio, H., & Yang, B. (2017). Effect of processing technologies and storage conditions on stability of black currant juices with special focus on phenolic compounds and sensory properties. *Food Chemistry*, 221, 422–430. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.079>
- Norouzi, S., Fadavi, A., & Darvishi, H. (2021). The ohmic and conventional heating methods in concentration of sour cherry juice: Quality and engineering factors. *Journal of Food Engineering*, 291, Article 110242. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110242>
- Nowicka, P., & Wojdylo, A. (2015). Bioactive compounds and sensory attributes of sour cherry puree sweetened with natural sweeteners. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(3), 585–591. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12685>

- Peleg, H., & Noble, A. C. (1999). Effect of viscosity, temperature and pH on astringency in cranberry juice. *Food Quality and Preference*, 10(1–5), 343–347. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(99\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(99)00009-9)
- Repajić, M., Puškar, B., Dugalić, K., Vahčić, N., Srećec, S., Dragović-Uzelac, V., Jurković, Z., & Levaj, B. (2019). Quality and sensory study of fresh sour cherry juices upon cultivar, growing area and weather conditions. *Journal of Food Science*, 84(11), 3264–3274. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14822>
- Sabanci, S., & Icier, F. (2017). Applicability of ohmic heating assisted vacuum evaporation for concentration of sour cherry juice. *Journal of Food Engineering*, 212, 262–270. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110242>
- Salina, E., Levgerova, N., & Knyasev, S. (2021). Influence of the variety on the quality of organic black currant juices. *Biologization of the Intensification Processes in Horticulture and Viticulture*, 34, Article 06001. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213406001>
- Schobinger, U. (2001). *Frucht- und Gemüsesäfte: Technologie, Chemie, Mikrobiologie, Analytik, Bedeutung, Recht*. Verlag Eugen Ulmer.
- Troszyńska, A., Narolewska, O., Robredo, S., Estrella, I., Hernández, T., Lamparski G., & Amarowic, A. (2010). The effect of polysaccharides on the astringency induced by phenolic compounds. *Food Quality and Preference*, 21(5), 463–469. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.12.005>
- Tukey, J. (1949). Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics*, 5(2), 99–114. <https://doi.org/10.2307/3001913>
- Varming, C., Andersen, M. L., & Poll, L. (2005). Influence of thermal treatment on black currant (*Ribes nigrum* L.) juice aroma. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(25), 7628–36. <https://doi.org/10.1021/jf049435m>
- Vidal, S., Francis, L., Williams, P., Kwiatkowski, M., Gawel, R., Cheynier, V., & Waters, E. (2004). The mouth-feel properties of polysaccharides and anthocyanins in a wine like medium. *Food Chemistry*, 83(6), 564–573. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1394>
- Warmund, M., Kwasniewski, M., Elmore, J., Thomas, A., & Adhikari, K. (2016). Sensory attributes of juice from north american-grown elderberry cultivars. *Hortscience*, 51(12), 1561–1565. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI11290-16>
- Yıldız, D., Gürel, D., Çağındı, Ö., & Kayaardı, S. (2022). Heat treatment and microwave applications on homemade sour cherry juice: The effect on anthocyanin content and some physicochemical properties. *Current Plant Biology*, 29, Article 100242. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2022.100242>
- Zorić, Z., Pedisić, S., Kovačević, D., & Ježek D., Dragović-Uzelac, V. (2016). Impact of packaging material and storage conditions on polyphenol stability, colour and sensory characteristics of freeze-dried sour cherry (*prunus cerasus* var. Marasca). *Journal of Food Science and Technology*, 53(2), 1247–1258. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2097-4>

УДК 665.931.72

Получение коллагенсодержащей ихтиосубстанции из вторичных рыбных ресурсов

Д. В. Олдырев¹, О. Д. Сергазиева², Н. В. Ярцева¹, А. А. Бахарева²

¹ Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация

² Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), г. Москва, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Олдырев Данил Вячеславович
E-mail: daniloldyrev@gmail.com

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Олдырев, Д.В., Сергазиева, О.Д., Ярцева, Н.В., & Бахарева, А.А. (2023). Получение коллагенсодержащей ихтиосубстанции из вторичных рыбных ресурсов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 181-197. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.451>

ПОСТУПИЛА: 13.06.2023

ПРИНЯТА: 15.09.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение: Промышленная переработка рыб сопровождается увеличением количества вторичных ресурсов и отходов (общее количество отходов может достигать 60 % от общей массы рыбы), что предполагает их переработку в коллагенсодержащие продукты.

Цель: Изучение возможности выделения коллагенсодержащей ихтиосубстанции из отходов рыбных ресурсов Астраханской области и изучение его качественных характеристик.

Материалы и методы: В качестве объектов исследования были выбраны отходы от разделки частиковых видов рыб и коллагенсодержащая ихтиосубстанция, полученная по разработанной технологии. При проведении экспериментов использовались общепринятые стандартные, а также модифицированные современные методы органолептических, физико-химических, микробиологических исследований.

Результаты: На основании массового состава частикового сырья при разделке на филе обосновано использование в качестве сырья чешуи с кожей. Приведена технологическая схема получения коллагенсодержащей ихтиосубстанции. Способ выделения – измельчение образцов, варка при 65–80 °С с принудительным перемешиванием (18–20 об/мин), последующее фильтрование и центрифугирование. Согласно полученным данным кислотность составляет в среднем 4,5, содержание сухих веществ составило 13 % и золы – 3,6 %, что позволит получить высокие показатели динамической вязкости и направить выделенный продукт на дальнейшие испытания для определения области применения.

Выводы: Результаты исследования продемонстрировали возможным получение коллагенсодержащей ихтиосубстанции из кожи с чешуей щуки (*Esox lucius*) и судака (*Lucioperca lucioperca*). Полученный продукт обладает широким спектром свойств, подходящих для различных сфер деятельности. Разработанная технология дает выход продукта до 70 % от массы сырья и обеспечивает высокую стойкость к микроорганизмам при длительном хранении. Совокупность физико-химических свойств дают основу для дальнейшего изучения с целью определения сферы применения. Материалы, получение которых представляется возможным с использованием ихтиосубстанции, являются экологически чистыми и биоразлагаемыми, поскольку в составе не использовались синтетические вещества.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

кожа рыб, чешуя, судак, щука, отходы разделки, гидролизат коллагена, комплексная переработка

Producing Collagen-Containing Ichthyosubstance From Secondary Fishery Resources

¹ Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russian Federation

² K.G. Razumovsky Moscow State
University of Technologies and
Management (First Cossack University),
Moscow, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Danil V. Oldyrev

Address: 16 Tatishcheva St., Astrakhan,
414056, Russian Federation
E-mail: daniloldyrev@gmail.com

FOR CITATIONS:

Oldyrev, D.V., Sergazieva, O.D.,
Yartseva, N.V., & Bakhareva, A.A.
(2023). Producing collagen-containing
ichthyosubstance from secondary fishery
resources. *Storage and Processing of Farm
Products*, (3), 181-197.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2023.451>

RECEIVED: 13.06.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Danil V. Oldyrev¹, Olga D. Sergazieva², Natalya V. Yartseva¹,
Anna A. Bakhareva²

ABSTRACT

Introduction: Industrial processing of fish is accompanied by an increase in the amount of secondary resources and waste, and the total amount of waste can reach 60% of the total fish weight, which implies their processing into collagen-containing products.

Purpose: To study the possibility of extracting collagen-containing ichthyosubstance from the fish wastes of the Astrakhan Region and study its qualitative characteristics.

Materials and Methods: The following wastes from the separation of pelagic fish species have been chosen as the objects of studies. Collagen-containing ichthyosubstance obtained according to an improved technology was also used as an object of research. At carrying out of experiments generally accepted standard, and also modified modern methods of organoleptic, physico-chemical, microbiological researches have been used.

Results: The use of scales with skin as raw material for filleting has been substantiated on the basis of the mass composition of the partial raw material. The technological scheme of obtaining collagen-containing ichthyosubstance is given. The method of extraction - grinding samples, cooking at 65–80 °C with forced mixing (18–20 rpm), followed by filtration and centrifugation. According to the data obtained the acidity is on the average 4.5, the dry matter content is 13 % and ash content – 3.6 %, which will allow to obtain high indices of dynamic viscosity and to send the separated product for further testing to determine the application field.

Conclusion: The results of the study demonstrated that it is possible to obtain collagen-containing ichthyosubstance from the skin of pike (*Esox lucius*) and pikeperch (*Lucioperca lucioperca*) scales. The resulting product has a wide range of properties suitable for various applications. The optimized technology gives a product yield of up to 70 % of the weight of raw materials and provides high resistance to microorganisms during long-term storage. The combination of physico-chemical properties provides a basis for further studies in order to determine the scope of application. The materials that can be obtained using ichthyosubstance are environmentally friendly and biodegradable, since no synthetic substances have been used in their composition.

KEYWORDS

fish skin, scales, pike, pikeperch, cutting waste, collagen hydrolyzate, complex processing

ВВЕДЕНИЕ

Около 40% общего веса вылова рыбы в Мировом океане составляют побочные продукты, состоящие из кожи, плавников, костей, чешуи, внутренностей и т. д. Использование этих побочных продуктов важно для повышения их коммерческой ценности, а также для предотвращения загрязнения окружающей среды. Все национальные экономики заинтересованы в разрешении проблемы по повышению ценности отходов рыбных ресурсов для интенсификации и устойчивого развития экономики замкнутого цикла (Cooney et al., 2023; Thirukumaran et al., 2022; Siddiqui et al., 2023; Välimaa et al., 2019; Ruiz-Salmón et al., 2021;).

Разработки способов переработки рыбных отходов сегодня связаны с синтезированием биодизеля, например, с помощью наноманитного катализатора (Smaisim et al., 2022). Также рассматривается производство биогаза при помощи анаэробного сбраживания рыбных отходов (Ivanovs et al., 2018). Однако настоящую популярность вторичные рыбные ресурсы за рубежом получили как источник получения желатина (Lv et al., 2019). На основе желатина из рыбной кожи и вспомогательных материалов, учеными была получена упаковочная пленка. Пленка обладает высокой антиоксидантной и антимикробной активностью и позволяет продемонстрировать потенциал преобразования отходов в активные упаковочные пленки, которые можно использовать в пищевой и других смежных областях (Getachew et al., 2021).

Полимеры на нефтяной основе (такие как полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полистирол и т. д.) как неразлагаемые отходы вызывают большую обеспокоенность ученых из Китая в отношении сохранения безопасности окружающей среды. Для решения проблемы была разработана экологически чистая пищевая пленка, позволяющая сохранить свежесть фруктов путем объединения желатина, полученного из отходов рыбной чешуи, хитозана, а также наночастиц карбоната кальция. Готовая нанокompозитная пленка продемонстрировала многофункциональные свойства: УФ-поглощение, антимикробное действие, экранирование кислорода, отличные механические свойства и нетоксичность,

а также нанокompозитная пленка на белково-полисахаридной основе гидрофильна и легко смывается с фруктов перед едой (Fu et al., 2021).

Становится глобальной тенденцией предоставлять халяльные продукты питания и другие промышленные материалы для мусульманских общин. В качестве способа обработки рыбных побочных продуктов для соответствия критериям халяль приготовления коллагена и желатина было бы полезно для удовлетворения рыночного спроса. В результате исследований побочных продуктов рыболовства было установлено, что рыбная кожа является хорошим источником халяльного коллагена и желатина, которые демонстрируют удовлетворительное качество по сравнению с продуктами из бычьих источников, которые могут вызывать губчатую энцефалопатию крупного рогатого скота (ГЭКРС) (Nurilmala et al., 2021).

Рыбный желатин содержит большое количество аминокислот, что позволяет применять его для пищевых целей в качестве диетических продуктов. Таким образом, диетическое использование рыбьего желатина потенциально может иметь отличные преимущества для людей с хроническими заболеваниями, такими как гипертония, остеопороз и диабет (Derkach, et al., 2020; Lv et al., 2019).

Учеными из Китая был получен полиэфир, модифицированный коллагеном, из отходов рыбной чешуи. В результате произведенное полиэфирное волокно, модифицированное коллагеном, сохраняет характеристики традиционных полиэтилентерефталатных волокон, включая прочность, долговечность и устойчивость к сминанию и усадке и его можно в качестве материала для пошива спецодежды (Hou et al., 2022).

В России также ведутся научные разработки по комплексной переработке рыбных ресурсов. Развитие агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года¹ предусматривает использование ресурсосберегающих технологий и увеличение доли продукции с высокой добавленной стоимостью. Одним из перспективных направлений является технология глубокой переработки сельскохозяй-

¹ Распоряжение РФ 2567-р. (2022). *Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года*. <https://docs.cntd.ru/document/351735594>

ственного и рыбного сырья. С развитием пищевой промышленности увеличивается образование пищевых и непищевых отходов. Утилизация сжиганием и захоронением таких отходов не может решить глобальную проблему управления отходами. Одним из вариантов решения данной проблемы являются новые научно-технические разработки по превращения биоотходов в биоразлагаемую продукцию с добавленной стоимостью.

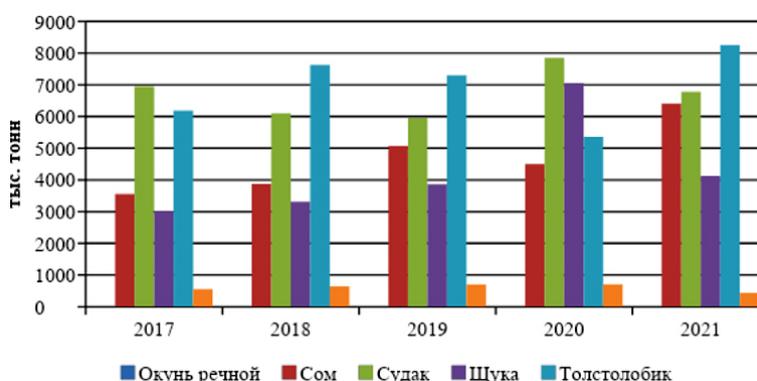
В соответствии с данными статистической отчетности общий объем добычи (вылова) водных биологических ресурсов в 2021 году российскими пользователями во всех районах Мирового океана составил 5053,4 тыс. тонн, что на 78,6 тыс. тонн, или на 1,6 %, выше уровня 2020 года². По данным отраслевой системы мониторинга, размещенных Федеральным агентством по рыболовству, к 10 января 2023 года на территории РФ было выловлено 79,2 тысяч тонн рыбных ресурсов, что на 16,5% больше уровня предыдущего года. Общий вылов (добыча) водных биоресурсов в Волго-Каспийском бассейне составляет 93,9 тыс. тонн³. Данные, размещенные в ежегоднике «Статистические сведения по рыбной промышленности России», по улову РФ некоторых частиковых видов рыб в Каспийском бассейне (включая дельту р. Волга и Волго-Ахтубинскую пойму) за период 2017–2021 г., показывают, что рыбная отрасль продолжает стабильно развиваться (Рисунок 1).

В Астраханском регионе функционирует около 260 предприятий различных форм собственности, осуществляющих деятельность по переработке рыбного сырья и производству рыбной продукции. Объем производства переработанной и консервированной рыбы в регионе в 2021 году составил около 44,3 тыс. тонн. Стоит отметить, что некоторые рыболовные хозяйства расширяют видовое разнообразие объектов за счёт выращивания хищных и растительноядных видов рыб (судак, щука, толстолобик, карась и т.д.)⁴.

Увеличение улова ведет к производству большого объема рыбной продукции, которая, в свою очередь, приводит к образованию большого количества отходов. В настоящее время вторичные рыбные ресурсы используются для создания кормовой муки, рыбного жира, клея, пата жемчужного, витаминных и ферментативных препаратов. Особый интерес вызывает выделение рыбного коллагена из отходов рыбоперерабатывающей промышленности и его использование в пищевых, медицинских, косметологических целях, а также для производства упаковочного материала (Байдалинова с соавт., 2018; Siddiqui et al., 2023; Rajabimashhadi et al., 2023). Отличительные особенности разработок в этой области представлены в Таблице 1.

Рисунок 1

Уловы РФ некоторых частиковых видов рыб в Каспийском бассейне (включая дельту р. Волга и Волго-Ахтубинскую пойму) за период 2017–2021 г.



² Статистические сведения по рыбной промышленности России 2020, 2021 гг. <http://vniro.ru/ru/nauchnaya-deyatelnost/statisticheskie-svedeniya/statisticheskie-svedeniya-po-rybnoj-promyshlennosti-rossii-2020-2021-gg>

³ Рыбаки начали 2023 год ударными темпами по вылову практически во всех рыбохозяйственных бассейнах. <https://fish.gov.ru/news/2023/01/11/rybaki-nachali-2023-god-udarnymi-tempami-po-vylovu-prakticheski-vo-vseh-rybohozyajstvennyh-bassejnah/>

⁴ Состояние и развитие конкурентной среды на рынках товаров, работ и услуг Астраханской области по итогам 2021 года. Инвестиционный потенциал Астраханской области. <https://clck.ru/34LpCB>

Таблица 1

Сравнительная характеристика способов получения структообразователя из вторичных рыбных ресурсов

Прием сырья	Технологическая операция						Источник
	Промывка	Измельчение	Обработка сырья	Варка	Фильтрация и очистка	Дополнительные операции	
Кожа рыб частиковых видов	Операция отсутствует	Измельчение сырья на частицы размером 3,5 мм	Обработка 3 %-ным раствором уксусной кислоты при периодическом помешивании	Операция отсутствует	Сырье отфильтровывают через два слоя капроновой ткани	Операция отсутствует	(Семеньчева с соавт., 2015) ⁵
Рыбная чешуя частиковых видов	Чешую промывают 5 % раствором хлорида натрия при температуре 10–20 °С. С последующей промывкой водопроводной водой	Операция отсутствует	Мацерация и деминерализация сырья раствором кислоты при pH 2–3 в течение 20–36 ч при температуре 20–27 °С с последующей нейтрализацией гидроксидом натрия до pH 5–7	Варка в течение 1–3 часов при температуре 65–75 °С и интенсивном перемешивании	Очистка экстракта при температуре 50–60 °С гидроксидом кальция при pH 9–10 и муравьиной кислотой концентрацией 85 % при pH 3–4.	Нейтрализация гидроксидом натрия до pH 5–7 и с последующим доведением до концентрации сухих веществ 3–30 %	(Долганова с соавт., 2015) ⁶
Кожа рыб частиковых видов	Кожу промывают в проточной водопроводной воде в течение 20–30 мин	Измельчение сырья на частицы размером 30–50 мм	Сырье оставляют набухать в течение 25–35 мин в растворе янтарной кислоты	Варка в течение 35–45 минут, при температуре не ниже 90 °С в центре содержимого котла и не выше 95 °С – у его стенок	Разделение фракций центрифугированием с последующей декантацией	Твердую фракцию вторично подвергают измельчению и в определенной пропорции смешивают с бульоном	(Грициенко с соавт., 2018) ⁷
Рыбная чешуя частиковых видов	Промывка, нейтрализация и ополаскивание чешуи в растворе соляной кислоты	Операция отсутствует	Озоление проводят раствором Ca(OH) ₂ в течение 2 часов; обеззоливание проводят раствором соляной или серной или азотной кислоты в течение 3–10 минут	Варку бульона осуществляют последовательно при температуре 55 °С и 65 °С в течение 2–3 часов	Фильтрация бульона на центрифуге	Упаривание бульона и высушивание	(Долганова с соавт., 1996) ⁸

Обзор существующих технологий, представленный в Таблице 1 свидетельствует, что современные способы получения коллагена из водных биоресурсов можно разделить на два вида — химический и фер-

ментативный. При использовании химического способа экстракция коллагена из сырья происходит после кислотной (мацерация) или щелочной (золение) обработки сырья, а ферментативный

⁵ Семеньчева, Л. Л., Астанина, М. В., Кузнецова, Ю. Л., Валетова, Н. Б., Гераськина, Е. В., & Таранкова, О. А. (2014). Патент РФ 2567171. *Способ получения уксусной дисперсии высокомолекулярного рыбного коллагена*. М.: качества жизни.

⁶ Долганова, Н. В., Якубова, О. С., & Иванова, Е. А. (2015). Патент РФ 2568127. *Способ получения рыбного клея*. Астрахань: Астраханский государственный технический университет.

⁷ Грициенко, Е. Г., Долганова, Н. В., & Каткова, А. С. (2018). Патент РФ 2654871. *Способ производства натурального структообразователя из кожи рыб*. Астрахань: Астраханский государственный технический университет.

⁸ Долганова, Н. В., Кубасов, Г. С., Завлин, П. М., Школа, А. В., Михайлов, И. В., & Пименов, Ю. Т. (1991). Патент РФ 2063411. *Способ получения гамма-фракции желатина*. М.: Агропромиздат.

способ, соответственно, заключается в экстракции коллагена с помощью ферментативных препаратов (Rocha-Pimienta et al., 2023; Sousa et al., 2017; Derkach et al., 2020; Shiao et al., 2022).

Недостатками вышеперечисленных патентов, указанных в Таблице 1, являются: использование большого количества химических реагентов, длительность и многостадийность процесса получения, что влечет за собой увеличение конечной стоимости продукта; ограничение по использованию сырья (только кожа, только чешуя, плавательный пузырь и т.д.), а также использование высоких температур при варке и мацерации, которые могут негативно сказаться на качестве получаемого сырья, что влечет за собой увеличение затрат при получении конечного продукта.

Учеными Астраханского государственного технического университета ведутся исследования по созданию технологии переработки маломерных рыб и рыб пониженной ценности, вторичного рыбного сырья для пищевой промышленности, а также разработка технологий создания и производства биоразлагаемых упаковочных материалов на основе вторичных рыбных ресурсов (Иванова с соавт., 2013; Као с соавт., 2011; Покусаева с соавт., 2015; Якубова с соавт., 2004). Целью данного исследования является изучение возможности выделения коллагенсодержащей ихтиосубстанции из отходов рыбных ресурсов Астраханской области и изучение его качественных характеристик.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Место проведения, объекты и инструменты исследования

Экспериментальные исследования проводили в учебно-исследовательских лабораториях кафедры «Технология товаров и товароведение» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (г. Астрахань).

В качестве объектов исследования были выбраны: отходы от разделки частиковых видов рыб — кожа с чешуей, полученные от ручной разделки щуки (*Esox lucius*), судака (*Lucioperca lucioperca*) осеннего вылова. Рыбная кожа с чешуей приобреталась в ООО ТД «Михайловский» города Астрахань, в количестве 15 кг. Ручная разделка осуществлялась в соответствии с рекомендациями Сборника технологических инструкций по обработке рыбы⁹.

Вторичные рыбные ресурсы принимали в соответствии с ГОСТ 31339–2006¹⁰. Отходы консервировали методом высушивания в течении 1,5 часов при температуре 100 °С в сушильном шкафу «ЭКРОС ПЭ-4610» (ГК «ЭКРОС», Россия), с принудительной конвекцией. Кожу с чешуей измельчали на мельнице (ЛМТ-1, Плаун, Россия) с диаметром ячейки 3 мм и направляли на исследования.

В качестве контрольных объектов для сравнения использовали: гамму-фракцию желатина произведенную по патенту Н.В. Долгановой, Г.С. Кубасова, П.М. Завлина, А.В. Школы, И.В. Михайлова, Ю.Т. Пименова (RU 2063411C1 «Способ получения гамма-фракции желатина»¹¹) и рыбный клей, произведенный по патенту Н.В. Долгановой, О.С. Якубовой и Е.А. Ивановой (RU 2568127C1 «Способ получения рыбного клея»¹²) так как они близкие по применяемому сырью для изготовления и области применения. Также объектами исследований являлась: коллагенсодержащая ихтиосубстанция из отходов от разделки частиковых видов рыб, полученная по усовершенствованной технологии. Определение «коллагенсодержащая ихтиосубстанция» было выбрано, исходя из того, что полученный продукт полностью не изучен, однако содержит в своем составе коллаген. Ихтиосубстанция означает, что данное вещество получено из вторичных рыбных ресурсов.

В качестве основного реактива использовалась уксусная кислота по ГОСТ 18270–72¹³ (АО «ВЕКТОН», Россия).

⁹ Сборник технологических инструкций по обработке рыбы. <https://clck.ru/344pYD>

¹⁰ ГОСТ 31339-2006. (2010). *Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приемки и методы отбора проб*. М.: Стандартинформ.

¹¹ Долганова, Н. В., Кубасов, Г. С., Завлин, П. М., Школа, А. В., Михайлов, И. В., & Пименов, Ю. Т. (1991). Патент РФ 2063411. *Способ получения гамма-фракции желатина*. М.: Агропромиздат.

¹² Грициенко, Е. Г., Долганова, Н. В., & Каткова, А. С. (2018). Патент РФ 2654871. *Способ производства натурального структурообразователя из кожи рыб*. Астрахань: Астраханский государственный технический университет.

¹³ ГОСТ 18270-72 (1988). *Кислота уксусная особой чистоты. Технические условия*. М.: Издательство стандартов.

Оборудование и методы исследования

Для подготовки лабораторной посуды использовался сухожаровая печь «SANYO MOV112F» (SANYO Electric Co, Япония).

Органолептические показатели, включающие в себя внешний вид и цвет определяли путем осмотра. Цвет объектов исследования проверяли при естественном дневном освещении, помещая объект на бесцветное прозрачное стекло, под которое подкладывают лист белой бумаги. При проведении органолептического анализа с целью определения запаха фиксированную массу образца помещали в коническую колбу с притертой пробкой, нагревали на водяной бане «ЭКРОС ПЭ-4310» (ГК «ЭКРОС», Россия) до температуры 60 °С, затем, открыв пробку, определяли запах.

Активную кислотность определяли потенциометрическим методом на приборе «рН-150МИ» (ООО «Измерительная техника», Россия). Измерения проводили при температуре 20 °С.

Динамическую вязкость проверяли на растворах объектов исследования при фиксированной температуре с помощью ротационного вискозиметра «Fungilab ALPHA L» (Fungilab, Испания) в собственной модификации. При измерении динамической вязкости на ротационном вискозиметре «Fungilab ALPHA L» образцы помещали в подготовленную лабораторную посуду, опускали в центр стакана шпindel вискозиметра типа «L1» (Fungilab, Испания), запускали аппарат согласно руководству по эксплуатации и фиксировали полученные значения, выводимые на дисплее. Шпindel типа «L1» был выбран исходя из того, что момент кручения при его использовании был не ниже 50% и соответственно лежал в диапазоне 15–95%, что указано в руководстве по эксплуатации.

Определение сухих веществ проводили гравиметрическим методом. Для этого предварительно взвешенные навески помещали в предварительно высушенные бюксы и высушивали в сушильном шкафу «ЭКРОС ПЭ-4610» (ГК «ЭКРОС», Россия) сначала при температуре до 80 °С с последующим подъемом до 105±5 °С до постоянной массы.

Определение массовой доли белка проводили стандартным способом в модификации Кьельдаля путем отгона и титрования с использованием установок «Turbotherm» (C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Германия) и «Vapodest-30» (C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Германия).

Золу определяли стандартным гравиметрическим способом путем полного сжигания органических веществ, удалении продуктов их сгорания и определении оставшейся минеральной составной части. Навеску исследуемого материала помещали в предварительно прокаленный до постоянной массы фарфоровый тигель с крышками и озоляли в муфельной печи «LOIP LF — 5/11» (ООО «Завод лабораторной продукции «Фрейм», Россия).

При проведении экспериментов использовались общепринятые стандартные, а также модифицированные современные методы органолептических, физико-химических, микробиологических исследований.

Отбор проб сырья и органолептический анализ проводили методами, изложенными в ГОСТ 7631–85¹⁴, определения физико-химических показателей по ГОСТ 7636–85¹⁵ и ГОСТ 11293–2017¹⁶. Активную кислотность — согласно ГОСТ 25183.9–82¹⁷.

Отбор проб для микробиологических исследований проводили по ГОСТ 31904–2015¹⁸. Определение микробиологической безопасности проводилось в соответствии с ТР ТС 021/2011¹⁹ по КМАФАнМ (ГОСТ

¹⁴ ГОСТ 7631–85. (2009). *Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Правила приемки, органолептические методы оценки качества, методы отбора проб для лабораторных испытаний.* М.: Стандартинформ.

¹⁵ ГОСТ 7636–85. (2010). *Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа.* М.: Стандартинформ.

¹⁶ ГОСТ 11293–2017. (2020). *Желатин. Технические условия.* М.: Стандартинформ.

¹⁷ ГОСТ 25183.9–82. (2010). *Желатин фотографический. Метод определения концентрации водородных ионов.* М.: Стандартинформ.

¹⁸ ГОСТ 31904–2012. (2014). *Продукты пищевые. Методы отбора проб для микробиологических испытаний.* М.: Стандартинформ.

¹⁹ ТР ТС 021/2011. (2011). *О безопасности пищевой продукции.* М.: Таможенный союз.

10444.15–94²⁰), количеству условно-патогенных, патогенных микроорганизмов и микроорганизмов порчи: БКП (ГОСТ 31747–2012²¹), *Escherichia coli* (ГОСТ 30726–2001²²), *Staphylococcus aureus* (ГОСТ 31746–2012²³), дрожжи и плесневые грибы (ГОСТ 10444.12–2013²⁴), *Listeria monocytogenes* (ГОСТ 32031–2022²⁵), *Salmonella* (ГОСТ 31659–2012²⁶).

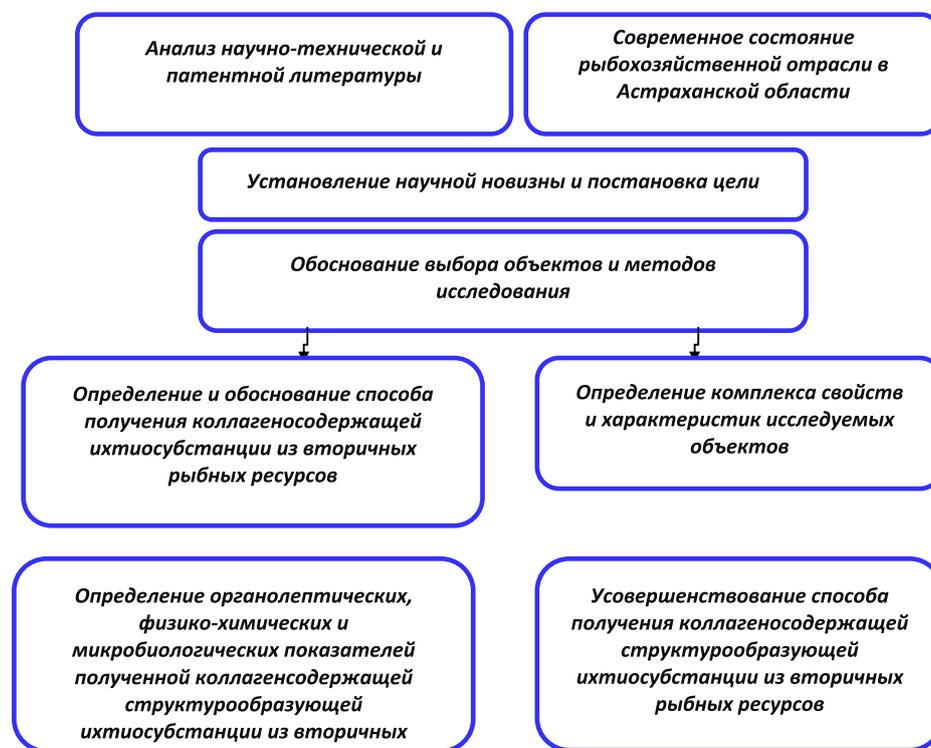
Определение коллагена проводилось в соответствии с ГОСТ 23041–2015²⁷, с последующим перерасчетом данных (Сухих с соавт., 2021).

Процедура исследования

Процесс исследования, постановки эксперимента по получению коллагенсодержащей ихтиосубстанции из вторичных рыбных ресурсов представлен на Рисунке 2.

Рисунок 2

Схема постановки эксперимента



²⁰ ГОСТ 10444.15-94. (2010). *Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов*. М.: Стандартинформ.

²¹ ГОСТ 31747-2012. (2013). *Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)*. М.: Стандартинформ.

²² ГОСТ 30726-2001. (2010). *Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий вида *Escherichia coli**. М.: Стандартинформ.

²³ ГОСТ 31746-2012. (2013). *Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus**. М.: Стандартинформ.

²⁴ ГОСТ 10444.12-2013. (2014). *Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов*. М.: Стандартинформ.

²⁵ ГОСТ 32031-2022. (2022). *Продукты пищевые. Методы выявления бактерий *Listeria Monocytogenes**. М.: Стандартинформ.

²⁶ ГОСТ 31746-2012. (2013). *Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus**. М.: Стандартинформ.

²⁷ ГОСТ 23041-2015. (2019). *Мясо и мясные продукты. Методы определения оксипролина*. М.: Стандартинформ.

Анализ данных

Метрологические характеристики методов при доверительной вероятности $P = 0,95$; Предел повторяемости $r = 0,5\%$; предел воспроизводимости $R = 1\%$; границы абсолютной погрешности $\Delta \pm 10\%$. Для статистической обработки данных использовалось программное обеспечение Statistical Analyzer и STATISTICA. Результаты представлены в виде средних значений пятикратных повторов с расчетом стандартного отклонения. Статистическую обработку результатов осуществляли на основе подсчета средних значений величин и стандартной средней ошибки. Достоверность данных достигалась планированием количества экспериментов, необходимых и достаточных для достижения на-

дежности $P = 0,85-0,95$, при доверительном интервале $\Delta \pm 10\%$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Промышленная переработка рыб сопровождается увеличением количества вторичных ресурсов и отходов в зависимости от вида разделки и способа²⁸, образуя непищевые отходы: кожа, плавники, чешуя, кости и внутренности. Количество непищевых отходов может достигать 60% от общей массы рыбы. Структурообразующими коллагеносодержащими отходами являются чешуя и кожа, которые составляют до 10% от общей массы рыбы (Таблица 2).

Таблица 2

Результаты исследования размерно-массового состава частикового сырья для рыб осеннего вылова²⁹

Виды рыбы	Размерный состав	Массовый состав, %	Массовый состав при ручной разделке на филе, %							
	Длина, см	Масса, г	Голова с грудными плавниками	Плавники, плавательный пузырь, позвоночная кость	Внутренности всего	Чешуя и кожа	Выход филе	Итого отходов при разделке	Потери при разделке	Всего отходов и потерь
Судак	37,0–61,0	600,0–2900	21,0–21,32	3,10–3,15	5,30–5,38	5,0–5,08	51,50–52,27	49,03–49,77	2,10–2,13	48,50–49,23
	49,0	1750	21,60	3,13	5,34	5,04	51,89	49,40	2,12	48,87
Лещ	30,0–34,0	542,0–800,0	21,60–21,32	22,40–22,74	12,0–12,18	8,10–8,22	33,8–34,31	64,10–65,06	2,10–2,13	66,20–67,19
	32,0	942,0	21,46	22,57	12,09	8,16	34,06	64,58	2,12	66,70
Карась	17,30–20,30	133,5–178,5	18,10–18,37	1,0–1,02	10,0–10,15	10,0–10,15	58,70–59,58	39,10–39,69	2,20–2,23	41,30–41,92
	18,80	156,0	18,24	1,01	10,08	10,08	59,14	39,40	2,22	41,61
Сазан	38,50–38,40	1184–1219	17,70–17,97	17,40–17,66	18,90–19,18	8,80–8,93	36,20–36,74	64,0–64,96	2,10–2,13	36,0–36,54
	38,45	1201	17,84	17,53	19,04	8,87	36,47	64,48	2,12	36,27
Щука	61,60–64,60	2017–2420	24,50–24,87	4,30–4,36	10,90–11,06	6,80–6,90	39,70–40,30	58,20–59,07	2,10–2,13	60,30–61,20
	63,10	2218	24,69	4,33	10,98	6,85	40,00	58,64	2,12	60,75
Толстолобик	20,0–26,50	410,0–515,0	23,40–23,75	10,10–10,25	22,60–22,94	5,50–5,58	5,50–5,58	64,70–65,67	2,10–2,13	66,80–67,80
	23,25	462,5	23,58	10,18	22,77	5,54	5,54	65,19	2,12	67,30

²⁸ Быков, В. П., Головкина, В. Н., & Ионас, Г. П. (1999). *Справочник по химическому составу и технологическим свойствам рыб внутренних водоемов*. М.: ВНИРО.

²⁹ *Нормы отходов, потерь и расхода сырья при производстве кулинарной продукции на предприятиях КАСПРЫБЫ* 15.78.24–139-91. (1992). https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60924

Данные химического состава кожи и чешуи, влияют на выбор способов экстракции исходного сырья для получения продукции с заданным составом. Кожа частиковых видов рыб толстолобика, леща, карася и сазана содержит большое количество жира (3–17%), что затруднит получение коллагена. Маложирным сырьем (до 1%) является кожа судака и щуки, что и определило выбор объекта исследования.

Экспериментальное сравнительное содержание коллагена в сырье для получения коллагеносодержащей ихтиосубстанции в различных частях тела судака и щуки представлено на Рисунке 3.

В ходе проведения исследования содержания коллагена в сырье для получения коллагеносодержащей ихтиосубстанции (в различных частях тела судака и щуки, были получены данные, представленные на рисунке 3, которые согласовываются со справочными данными по химическому составу и технологическим свойствам рыб внутренних водоемов ВНИРО (Быков с соавт., 1999).

На Рисунке 3 представлено содержание коллагена в различных частях тела судака и щуки, % сырого вещества, что подтверждает высокое содержание коллагена в коже и чешуе. Плавательный пузырь также содержит большое количество коллагена,

но процент его от общей массы рыбы очень мал. Плавательный пузырь, чешуя, кожа уже используются в технологиях получения рыбного клея, коллагена, структурообразователя по отдельности. Для сокращения трудоемких операций, в части отделения чешуи от кожи, и длительности технологического процесса, снижения его себестоимости была предложена технология получения коллагеносодержащей продукции.

Сравнительный анализ химического состава объектов исследования на основании справочника по химическому составу и технологическим свойствам рыб внутренних водоемов представлен в Таблице 3.

В Таблице 3 приведены усредненные значения, полученные во время исследования химического состава кожи, чешуи и кожи с чешуей щуки и судака, поскольку химический состав частей меняется в зависимости от размера (длины) и массы исследуемых видов рыб. Как видно из Таблицы 3, кожа с чешуей судака, кожа с чешуей щуки содержит низкое количество жира, не превышает показателей в коже.

Перед обоснованием выбора технологии выделения коллагена важную роль играет размер и строение чешуи. Частиковые виды рыб имеют циклоидную и ктеноидную форму пластинок чешуи.

Рисунок 3

Содержание коллагена в различных частях тела судака и щуки, % сырого вещества

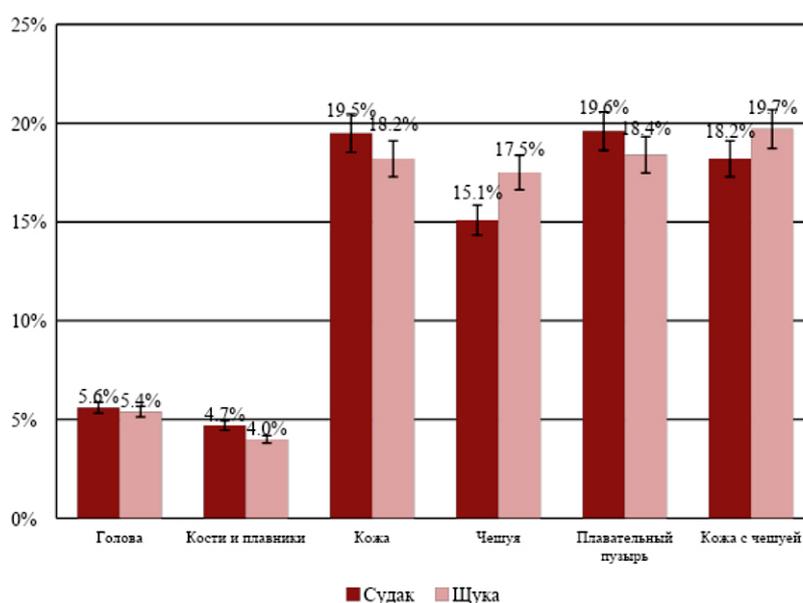


Таблица 3

Химический состав отходов частиковых рыб Волго-Каспийского бассейна

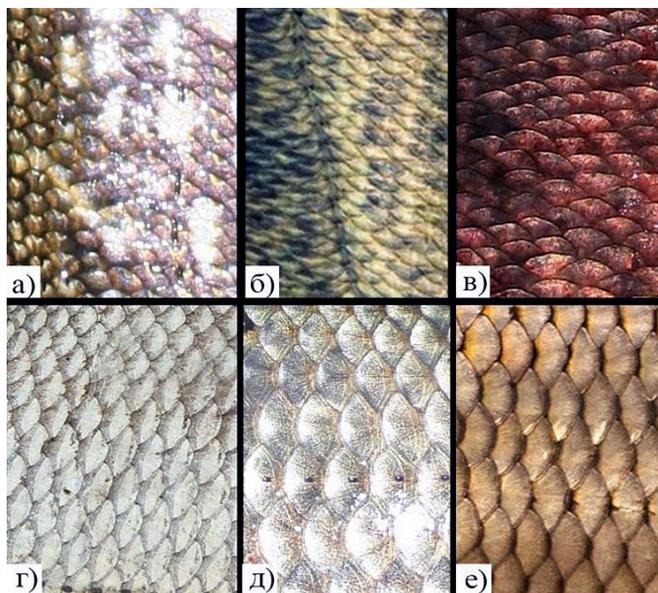
Наименование рыбы	Химический состав				Энергетическая ценность, ккал	Источник
	Влага	Белок	Жир	Зола		
Щука (кожа)	71,90	26,70	0,50	1,40-	125,95	Быков с соавт. ³⁰
Щука (чешуя)	11,10	50,0	0,10	38,50	212,30	(Якубова с соавт., 2004)
Щука (кожа и чешуя)	62,32	36,70	1,01	2,64	156,83	собственные исследования
Судак (кожа)	66,50-	30,60-	1,10	1,80	214,40	Быков с соавт. ³¹
Судак (чешуя)	11,0	49,50	0,10	49,5-	208,0	(Якубова с соавт., 2004)
Судак (кожа и чешуя)	58,87	47,47	1,02	1,72	201,93	собственные исследования

Диаметр чешуи частиковых видов рыб составляет: судак — 3–5 мм; толстолобик, щука — 4–7 мм; лещ — 8–11 мм; карась и сазан — 20–23 мм (Рисунок 4).

Из представленных данных можно сделать вывод, что чешуя наименьшего размера у толстолобика,

Рисунок 4

Внешний вид чешуи некоторых частиковых видов рыб



Примечание. а) щука (*Esox lucius*); б) судак (*Lucioperca lucioperca*); в) толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*); г) лещ (*Abramis brama*); д) карась (*Carassius auratus gibelio*); е) сазан (*Cyprinus carpio*).

судака и щуки, что будет способствовать лучшей экстракции коллагена, так как размер поверхности чешуи влияет на скорость диффузионного обмена между обрабатываемым сырьем и химическим агентом (Якубова с соавт., 2004).

На основе анализа существующих технологий, представленного в Таблице 1 и учитывая их недостатки, представленные выше, был разработан способ получения коллагенсодержащей ихтиосустанции.

Отличительными достоинствами технологии являются: использование в технологических операциях чешуи на коже, не прибегая к процессу их разделения; использование органической кислоты малой концентрации, экономически целесообразно с точки зрения доступности и финансовых затрат; установка щадящего температурного режима при варке, а также возможность повторной варки вторичного твердого остатка при тех же режимах. Вторичный твердый остаток представляет собой частицы чешуи и кожи диаметром более 1,00 мм, получаемый после процедуры фильтрования. В дальнейших исследованиях планируется изучить возможность использования данного вторичного остатка в качестве кормовой добавки в рыбохозяйственной отрасли.

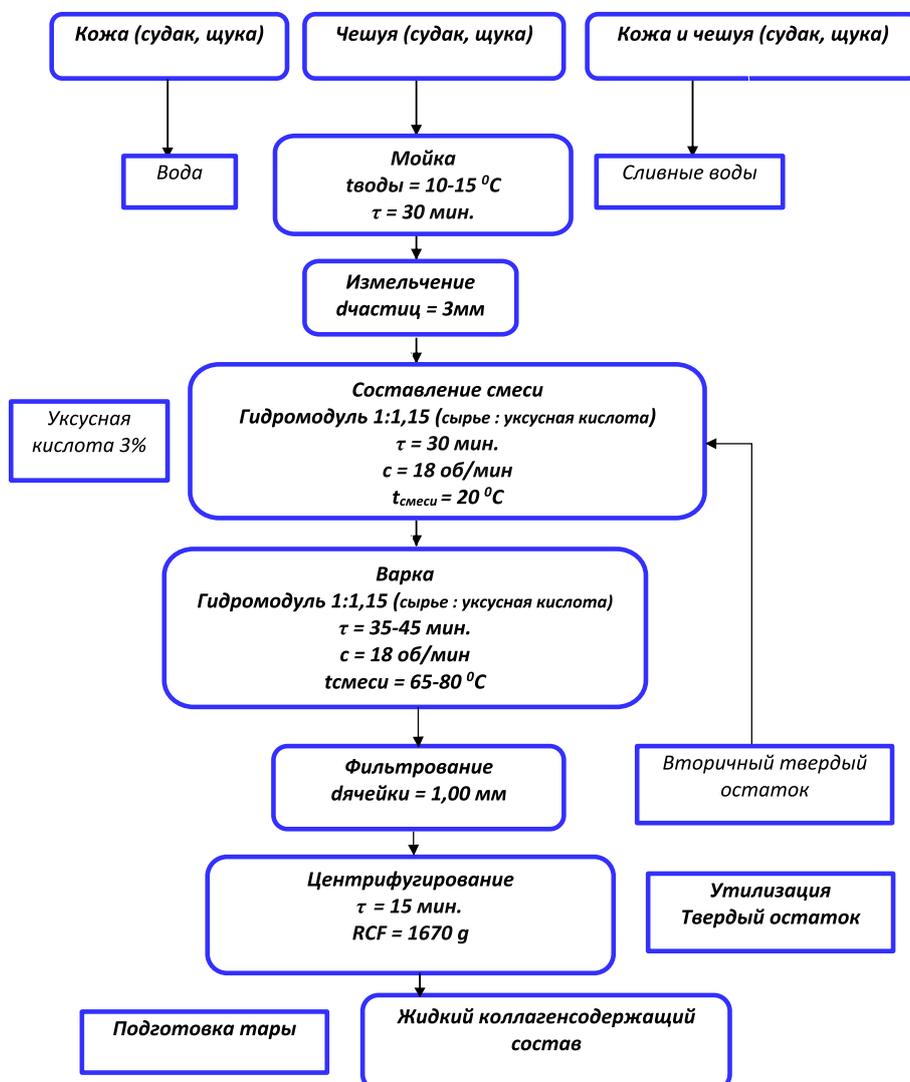
По окончании технологического процесса получали коллагенсодержащую ихтиосустанцию (Рисунок 6б) и вторичный твердый остаток (Рисунок 6а.). Внешний вид сырья для получения коллагенсодержащей ихтиосустанции приведен на Рисунке 6.

³⁰ Быков, В. П., Головкова, В. Н., & Ионас, Г. П. (1999). *Справочник по химическому составу и технологическим свойствам рыб внутренних водоемов*. М.: ВНИРО.

³¹ Там же.

Рисунок 5

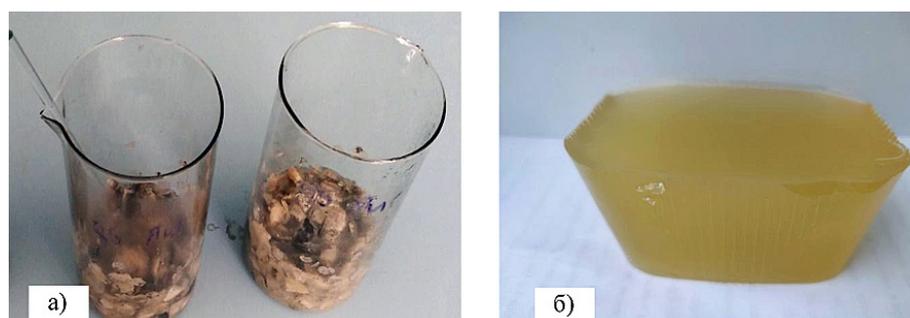
Технологическая схема получения коллагенсодержащей ихтиосубстанции из кожи с чешуей судака и щуки



Примечание. Упаковывание и маркирование в жидком виде, хранение при $t = 4 \pm 2^\circ\text{C}$ не более 200 суток

Рисунок 6

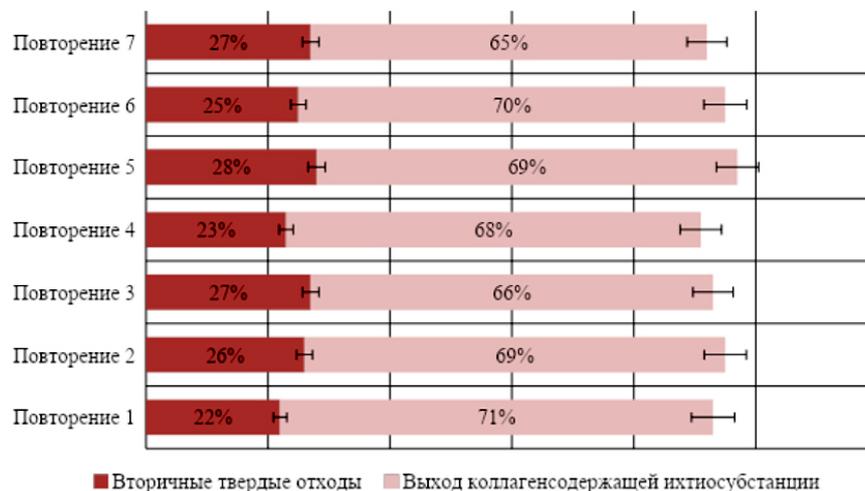
Внешний вид сырья и проученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции



Примечание. а – измельченные рыбная чешуя с кожей судака и щуки в растворе уксусной кислоты; б – полученная ихтиосубстанция

Рисунок 7

Динамика выхода полученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции из кожи с чешуей судака и щуки, % от массы сырья



Динамика выхода конечного продукта по разработанной технологии демонстрирует (Рисунок 7) практическую возможность получения коллагенсодержащей ихтиосубстанции с использованием кожи с чешуей судака и щуки, процентный выход которого лежит в диапазоне 65–71 %.

Далее исследовали свойства коллагенсодержащей ихтиосубстанции, полученной по разработанной технологии указанной на рисунке 5. Были изучены ее органолептические и физико-химические показатели качества. Результаты органолептического (Таблица 4) и физико-химического (Таблица 5) исследования приведены ниже.

Анализ органолептических показателей демонстрирует что, экспериментальный образец имеет сходные по части показателей органолептические свойства (в частности по показателю «цвет») с другими коллагеносодержащими продуктами.

Исследование физико-химических свойств показало, что величина pH соответствует кислой среде — от 4,2 до 4,7, что оказывает подавляющее действие на рост микроорганизмов и позволяет продлить срок хранения продукта. Содержание сухих веществ находится в пределах 10–15 %. Показатель динамической вязкости изменялся в пределах 25–29 мПа · сек, что позволяет спрогнозировать свой-

Таблица 4

Сравнительная характеристика органолептических показателей коллагенсодержащих продуктов

Наименование показателя	Клей из чешуи рыб (контрольный образец)	Жидкая фракция гамма-желатина (контрольный образец)	Полученная коллагенсодержащая ихтиосубстанция (образец)
Внешний вид	Однородная прозрачная слегка опалесцирующая жидкость, без посторонних примесей и включений	—	Студнеобразное вещество полупрозрачное
Цвет	Светло-желтый, разных оттенков	Прозрачный раствор со светло-желтым оттенком	От светло-желтого до светло-коричневого
Запах	Без постороннего	Без постороннего запаха, без специфического запаха	Слабый рыбный запах, с присутствием уксусного запаха

Таблица 5

Сравнительная характеристика физико-химических показателей полученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции

Наименование показателя	Клей из чешуи рыб (контрольный образец)	Жидкая фракция гамма-желатина (контрольный образец)	Полученная коллагенсодержащая ихтиосубстанция (образец)
Активная кислотность, рН	5–7	5,5–7,0	4,2–4,7
Динамическая вязкость, мПа · сек	8–17	25–30	25–29
Содержание сухих веществ, %	5–20	10–12	10–15
Содержание золы, %	3,0	1,0–1,5	3,6–5,47
Содержание белка, %	70–85	80–90	84,2–87,94
Содержание жира, %	Данные не представлены	Данные не представлены	4,73–6,6
Посторонние примеси	Не допускаются	Не допускается	Не допускаются

ства биополимера при контроле технологического процесса. Поскольку полученная коллагенсодержащая ихтиосубстанция характеризуется высокой концентрацией белка, изменение ее показателей качества и безопасности непосредственно связано с микробиологическими показателями.

Результаты микробиологических исследований полученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции представлены в Таблицах 6, 7, 8.

Культурально–морфологические признаки выделенных микроорганизмов на мясо-пептоном агаре представлены в Таблице 7.

Таблица 6

Микробиологические показатели полученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции

Наименование показателя	Допустимые уровни по ТС ТР 021/2011	Коллагенсодержащая ихтиосубстанция
КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	5x10 ⁴	1x10 ³
БГКП, не допускается в массе продукта, г	0,1	Не обнаружено
E. coli не допускаются в массе продукта	Не обнаружено	Не обнаружено
S. aureus, не допускается в массе продукта, г	Не обнаружено	Не обнаружено
Плесневые грибы и дрожжи, КОЕ/г, не более	Не обнаружено	Не обнаружено
Listeria monocytogenes, не допускаются в массе продукта, г	25	Не обнаружено
Salmonella не допускаются в массе продукта, г	25	Не обнаружено

Таблица 7

Культурально–морфологические признаки выделенных микроорганизмов на мясо-пептоном агаре

Штамм	Культуральные признаки колоний	Морфологические признаки
1	Круглая форма, плоский профиль, растущий в агар, гладкие края, однородная структура, серый цвет	Грамположительные палочки, не спорообразующие

Таблица 8

Динамика количества МАФАнМ полученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции, КОЕ/г

Контрольные точки, сутки хранения	Полученная коллагенсодержащая ихтиосубстанция
Норматив	5x10 ⁴
0	1x10 ³
100	5,4x10 ³
200	1x10 ⁴
300	4,9 x10 ⁴

Опираясь на данные Таблицы 7, можно говорить о явном преобладании палочковидных бактерий. Сравнивая полученные показатели с допустимыми уровнями, прописанными в ТС ТР 021/2011³², было установлено, что все показатели соответствуют допустимой норме (Таблица 6).

Так как область применения, полученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции полностью не определена, то в ходе микробиологического анализа показателей установили, что количество КМАФАнМ в полученном продукте не превышает требования, прописанные ТР ТС 021/2011³³ для желатина пищевого и составляет 1×10^5 КОЕ/. Такие показатели БГКП, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, плесневых грибов и дрожжей *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* не были обнаружены в анализируемых пробах гидролизата рыбного коллагена.

На основании исследования научно-технической литературы и патентного поиска было установлено, что для структообразователей из вторичных рыбных ресурсов срок хранения при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$ составляет не более 200 суток (6 месяцев), поэтому для полученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции был выбран предполагаемый период хранения 200 суток. Результаты определения сроков хранения представлены в Таблице 8.

Исходя из результатов, представленных в таблице 8, можно сделать вывод, что для полученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции срок хранения при температуре $4 \pm 2^\circ\text{C}$ составляет 200 суток (предполагаемый срок хранения), на 300 сутки наблюдается рост количества МАФАнМ приближающийся к нормативному показателю, поэтому было решено остановиться на предполагаемом сроке хранения в 200 суток.

Полученные и представленные в ходе исследования результаты, по физико-химическим характеристикам схожи с результатами проводимых ранее исследований (Rocha-Pimienta et al., 2023; Valcarcel et al., 2021; Sousa et al., 2017; Иванова с соавт., 2013; Якубова с соавт., 2004), что подтверждает эффективность совместного использования кожи с чешуей щуки (*Esox lucius*) и судака (*Lucioperca lucioperca*). Однако отличительной особенностью разработан-

ной технологии от рассмотренных ранее является экономичность, что выражается в использовании меньшего количества технологических этапов, применение органической кислоты малой концентрации, а также использование щадящих температурных режимов. При этом полученный продукт обладает стойкостью к микроорганизмам, так как кислая среда полученной коллагенсодержащей ихтиосубстанции оказывает консервирующее действие, что положительно сказывается на дальнейшем хранении.

ВЫВОДЫ

Целью данного исследования являлось изучение возможности получения коллагенсодержащей ихтиосубстанции из отходов рыбных ресурсов Астраханской области и изучение его качественных характеристик. На основании исследований представляется возможным получение коллагенсодержащей ихтиосубстанции при совместном использовании кожи с чешуей судака и щуки. Полученная коллагенсодержащая ихтиосубстанция обладает комплексом органолептических и физико-химических показателей, позволяющих применять ее в различные сферы человеческой деятельности. Разработанная технология позволяет получить выход конечного продукта до 70% от массы исходной сырьевой базы. Выявлена стойкость полученного продукта к микроорганизмам, что способствует длительному хранению аналогично существующим коллагенсодержащим продуктам. Данные преимущества позволят транспортировать продукт на дальние расстояния, а совокупность физико-химических свойств дают основу для дальнейшего изучения с целью определения сферы ее применения. Продукты и материалы, получение которых возможно с использованием коллагенсодержащей ихтиосубстанции являются экологически чистыми, а также биоразлагаемыми, так как при производстве не использовались синтетические вещества, а в ее состав преимущественно входят белковые соединения, в частности, коллаген.

Полученные данные, будут служить основой для дальнейших исследований возможности примене-

³² ТР ТС 021/2011. (2010). О безопасности пищевой продукции. <https://docs.cntd.ru/document/902320560>

³³ Там же.

ния ихтиосубстанции с целью получения биоразлагаемых упаковочных материалов из вторичных

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Олдырев Данил Вячеславович: концептуализация; разработка методологии исследования; проведение исследования; создание черновика и редактирование рукописи.

Сергазиева Ольга Дмитриевна: концептуализация; разработка методологии исследования; проведение исследования; создание черновика и редактирование рукописи.

Ярцева Наталья Васильевна: проведение исследования; созданию черновика и редактирование рукописи.

Бахарева Анна Александровна: проведение исследования; визуализация; ресурсное обеспечение.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Байдалинова, Л. С., & Ляпустина, Е. Е. (2018). Выделение натуральных структурообразователей белковой природы из коллагенсодержащего вторичного рыбного сырья. *Известия Калининградского государственного технического университета*, 51, 45–60.
- Baidalinova, L. S., & Lyapustina, E. E. (2018). Isolation of natural protein structure-forming agents from collagen-containing secondary fish raw materials. *Proceedings of the Kaliningrad State Technical University*, 51, 45–60. (In Russ)
- Иванова, Е. А., & Якубова, О. С. (2013). Товароведная характеристика клея, получаемого из чешуи рыб. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Рыбное хозяйство*, (3), 162–168.
- Ivanova, E. A., & Yakubova, O. S. (2013). Commodity characteristics of glue obtained from fish scales. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Fisheries*, (3), 162–168. (In Russ)
- Као, Т. Х., & Разумовская, Р. Г. (2011). Разработка оптимальных режимов экстракции коллагена из отходов переработки рыб Волго-Каспийского бассейна. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, (1), 33–36.
- Kao, T. Kh., & Razumovskaya, R. G. (2011). Development of optimal modes of collagen extraction from fish processing wastes of the Volga-Caspian basin. *News of Higher Educational Institutions. Food Technology*, (1), 33–36. (In Russ)
- Покусаяева, О. А., Долганова, Н. В., & Якубова, О. С. (2015). Ихтиожелатин как основа съедобных пленочных покрытий для пищевых продуктов. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Рыбное хозяйство*, (2), 123–128.
- Pokusayeva, O. A., Dolganova, N. V., & Yakubova, O. S. (2015). Ichthyogelatin as the basis of edible film coatings for food products. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Fisheries*, (2), 123–128. (In Russ)
- Сухих, С. А., Бабич, О. О., Чупахин, Е. Г., & Ульрих, Е. В. (2021). Определение содержания коллагена в коллагенсодержащих субпродуктах. *Инновационные научные исследования*, 4–1(6), 168–173.
- Sukhikh, S. A., Babich, O. O., Chupakhin, E. G., & Ul'rikh, E. V. (2021). Determination of the collagen content in collagen-containing by-products. *Innovative Scientific Research*, 4–1(6), 168–173. (In Russ)
- Якубова, О. С., & Котенко, А. Л. (2004) Чешуя как источник получения ихтиожелатина. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Рыбное хозяйство*, (2), 130–135.
- Yakubova, O. S., & Kotenko, A. L. (2004). Scales as a source of ichthyogelatin. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Fisheries*, (2), 130–135. (In Russ)
- Cooney, R., de Sousa, D. B., Fernández-Ríos, A., Mellett, S., Rowan, N. J., Morse, A. P., Hayes, M., Laso, J., Regueiro, L., Wan, A. H., & Clifford, E. (2023). A circular economy framework for seafood waste valorisation to meet challenges and opportunities for intensive sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 392, Article 136283. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136283>
- Derkach, S. R., Kuchina, Y. A., Baryshnikov, A. V., Kolotova, D. S., & Voron'ko, N. G. (2019). Tailoring cod gelatin structure and physical properties with acid and alkaline extraction. *Polymers*, 11(10), Article 1724. <https://doi.org/10.3390/polym11101724>
- Derkach, S. R., Voron'ko, N. G., Kuchina, Y. A., & Kolotova, D. S. (2020). Modified fish gelatin as an alternative to mammalian gelatin in modern food technologies. *Polymers*, 12(12), Article 3051. <https://doi.org/10.3390/polym12123051>
- Fu, B., Mei, S., Su, X., Chen, H., Zhu, J., Zheng, Z., Lin, H., Dai, C., Luque, R., & Yang, D. (2021). Integrating waste fish scale-derived gelatin and chitosan into edible nanocomposite film for perishable fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 191, 1164–1174. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.09.171>
- Getachew, A. T., Ahmad, R., Park, J., & Chun, B. (2021). Fish skin gelatin based packaging films functionalized by subcritical water extract from spent coffee ground.

- Food Packaging and Shelf Life*, 29, Article 100735. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100735>
- Hou, E., Huang, C., Lee, Y., Han, Y., & Chu, H. (2022). A method for the process of collagen modified polyester from fish scales waste. *MethodsX*, 9, Article 101636. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101636>
- Ivanovs, K., Spalvins, K., Blumberga, D. (2018). Approach for modelling anaerobic digestion processes of fish waste. *Energy Procedia*, 147, 390–396. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.07.108>
- Lv, L. C., Huang, Q.Y., Ding, W., Xiao, X. H., Zhang, H. Y., Xiong, L. X. (2019). Fish gelatin: The novel potential applications. *Journal of Functional Foods*, 63, Article 103581. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103581>
- Nurilmala, M., Suryamarevita, H., Husein Hizbullah, H., Jacobeb, A. M., & Ochiai, Y. (2021). Fish skin as a biomaterial for halal collagen and gelatin. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29, 1100–1110. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.09.056>
- Rajabimashhadi, Z., Gallo, N., Salvatore, L., & Lionetto, F. (2023). Collagen derived from fish industry waste: progresses and challenges. *Polymers*, 15(3), Article 544. <https://doi.org/10.3390/polym15030544>
- Rocha-Pimienta, J., Navajas-Preciado, B., Barraso-Gil, C., Martillanes, S., & Delgado-Adámez, J. (2023). Optimization of the extraction of chitosan and fish gelatin from fishery waste and their antimicrobial potential as active biopolymers. *Gels*, 9(3), Article 254. <https://doi.org/10.3390/gels9030254>
- Ruiz-Salmón, I., Laso, J., Margallo, M., Villanueva-Rey, P., Rodríguez, E., Quinteiro, P., Dias, A. C., Almeida, C., Nunes, M. L., Marques, A., Cortés, A., Moreira, M. T., Feijoo, G., Loubet, P., Sonnemann, G., Morse, A. P., Cooney, R., Clifford, E., Regueiro, L., Méndez, D., Anglada, C., Noirot, C., Rowan, N., Vazquez-Rowe, I., & Aldaco, R. (2021). Life cycle assessment of fish and seafood processed products – A review of methodologies and new challenges. *The Science of the total environment*, 761, Article 144094. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144094>
- Shiao, W. C., Wu, T. C., Kuo, C. H., Tsai, Y. H., Tsai, M. L., Hong, Y. H., & Huang, C. Y. (2021). Physicochemical and antioxidant properties of gelatin and gelatin hydrolysates obtained from extrusion-pretreated fish (*Oreochromis sp.*) scales. *Marine Drugs*, 19(5), Article 275. <https://doi.org/10.3390/md19050275>
- Siddiqui, S. A., Schulte, H., Pleissner, D., Schönfelder, S., Kvangarsnes, K., Dauksas, E., Rustad, T., Cropotova, J., Heinz, V., & Smetana, S. (2023). Transformation of seafood side-streams and residuals into valuable products. *Foods*, 12(2), Article 422. <https://doi.org/10.3390/foods12020422>
- Smaisim, G. F., Prabu, N. M., A P, S., & Abed, A. M. (2022). Synthesis of biodiesel from fish processing waste by nano magnetic catalyst and its thermodynamic analysis. *SSRN Electronic Journal*, 35, Article 102115. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102115>
- Sousa, S. C., Vázquez, J. A., Pérez-Martín, R. I., Carvalho, A. P., & Gomes, A. M. (2017). Valorization of by-products from commercial fish species: extraction and chemical properties of skin gelatins. *Molecules*, 22(9), Article 1545. <https://doi.org/10.3390/molecules22091545>
- Thirukumaran, R., Anu Priya, V. K., Krishnamoorthy, S., Ramakrishnan, P., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2022). Resource recovery from fish waste: Prospects and the usage of intensified extraction technologies. *Chemosphere*, 299, Article 134361. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134361>
- Valcarcel, J., Fraguas, J., Hermida-Merino, C., Hermida-Merino, D., Piñeiro, M. M., & Vázquez, J. A. (2021). Production and physicochemical characterization of gelatin and collagen hydrolysates from turbot skin waste generated by aquaculture activities. *Marine Drugs*, 19(9), Article 491. <https://doi.org/10.3390/md19090491>
- Välilmaa, A., Mäkinen, S., Mattila, P. H., Marnila, P., Pihlanto, A., Mäki, M., & Hiidenhovi, J. (2019). Fish and fish side streams are valuable sources of high-value components. *Food Quality and Safety*, 3, 209–226.