

ISSN 2072-9669

eISSN 2658-767X

№ 1 2023

Хранение и переработка сельхозсырья
Storage and Processing of Farm Products

ХИПС

SPFP

Пищевые системы.
Био- и здоровьесберегающие технологии



ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬХОЗСЫРЬЯ

№ 1 | 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

№ 1 | 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 пищекокцентратной промышленности и специальной пищевой технологии — филиал ФИЦ питания и биотехнологии, gnuniipspt@gmail.com
Донник Ирина Михайловна	доктор биологических наук, профессор, академик РАН, imdonnik@presidium.ras.ru
Ильина Ирина Анатольевна	доктор технических наук, заместитель директора по науке Северокавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства, iailyna@gmail.com
Калашникова Елена Анатольевна	доктор биологических наук, профессор кафедры «Генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства», ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева», kalash0407@mail.ru
Коденцова Вера Митрофановна	доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», kodentsova@ion.ru
Копусь Михаил Мефодьевич	доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Аграрный научный центр «Донской», Центр фундаментальных научных исследований (Зерноград), mkopus@gmail.com
Короткий Игорь Алексеевич	доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», krot69@mail.ru
Косован Анатолий Павлович	доктор экономических наук, академик РАН, НИИ хлебопекарной промышленности, info@gosnihp.ru
Коста Руи	доктор технических наук, Португальский технический институт, ruicosta@esac.pt
Красуля Ольга Николаевна	доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева», okrasulya@mail.ru

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, academican 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, akhremchikol@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, Academican of RAS, Povolzhskiy Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, niimmp@mail.ru
Vladimir A. Gudkovskiy	Doctor of Agricultural Science, Academican 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, gnumiipspt@gmail.com
Irina M. Donnik	Doctor of Biological Science, Academican 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, Academican 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, vap@timacad.ru
Петров Андрей Николаевич	доктор технических наук, академик РАН. ВНИИ технологии консервирования — филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, vniitekpetrov@vniitek.ru
Подвигина Ольга Анатольевна	доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова», vniiss@mail.ru
Савина Ольга Васильевна	доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», savina-999@mail.ru
Симоненко Сергей Владимирович	доктор технических наук. НИИ детского питания — филиал ФИЦ питания и биотехнологии, niidp@rambler.ru
Стогниенко Ольга Ивановна	доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова» stogniolga@mail.ru
Титов Евгений Иванович	доктор технических наук, академик РАН. ФГБОУ ВО «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. Gorbato 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. Gorbato 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, nikityuk@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. Gorbato of RAS, institute@vniinapitkov.ru
Viktor N. Ozherelev	Doctor of agricultural Science, Professor of Bryansk State Agricultural University, vicoz@bk.ru
Vladimir I. Orbinsky	Doctor of Agricultural Science, professor of Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, vasich2@yandex.ru
Elena N. Pasynkova	Doctor of Biological Science, Federal Research Center for Potato named after A.I. A.G. Lorkha, branch of the Leningrad Research Institute of Agriculture “Belogorka” (St. Petersburg), pasynkova.elena@gmail.com
Viktor A. Panfilov	Doctor of 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. Gorbato 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

Копусь Михаил Мефодьевич (к 75-летию со дня рождения) 8

Е. В. Тихонова, М. А. Косычева

Дизайн эмпирического исследования: функциональное содержание и объем 11

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

Е. В. Алексеенко, Н. Ю. Каримова, А. А. Цветкова

Современное состояние и перспективы развития способов переработки ягод черники:
обзор предметного поля 22

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

В. А. Ермолаев

Исследование влияния характеристик отражателя на процесс сушки пищевых продуктов 45

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ И ПРОДУКЦИИ АПК

К. А. Канина, О. Н. Красуля, Н. А. Жижин

Оценка йогуртного продукта, выработанного с применением вторичного молочного сырья — пахты 57

М. В. Носова, Г. Ф. Дремучева

Исследования хлебопекарных свойств муки ржаной хлебопекарной обдирной, поставляемой
на хлебопекарные предприятия РФ 69

Liudmila P. Nilova, Svetlana M. Malyutenkova, Polina S. Lebedeva

Evaluation of Antioxidant Properties of Commercial Pomegranate Juices 83

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

И. Н. Грибкова, И. В. Лазарева

Формирование ароматического профиля пивоваренной продукции: обзор предметного поля 97

Н. В. Иванов

Молекулярный *in silico* скрининг и докинг потенциальных ингибиторов активности ферментов
растительного сырья 117

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

И. Ю. Потороко, Кади Аммар Мохаммад Яхья, А.В. Паймулина, Н. В. Науменко

Эмульсии Пикеринга на основе модифицированных полисахаридов бурых водорослей для получения
пищевых систем нового поколения 136

В. А. Васькина, В. А. Шаршунов, И. А. Машкова, А. А. Быков, И. Д. Щеголева

Влияние продуктов переработки конопли и природы белка в стеновом материале эмульсионного геля
на качество и структуру заварного полуфабриката для эклера 150

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

И. А. Бакин, С. В. Шилов, А. С. Мустафина

Информационные системы контроля и управления процессов дегидратации плодово-ягодного сырья 163

И. В. Баскаков, В. И. Оробинский, А. М. Гиевский, А. В. Чернышов, О. В. Чернова

Влияние процесса озонирования на качественные показатели зерна озимой пшеницы 177

СЫРЬЕ И ДОБАВКИ

Г. А. Осипова, Е. В. Хмелева

Использование зерна полбы сорта Гремме в макаронном производстве 190

А. Ю. Соколов

Отечественные разработки белковых систем типа «Коллаген» для решения задач отраслевого
импортозамещения 200

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОДУКЦИИ АПК

А. Л. Никитин, М. А. Макаркина, А. М. Галашева

Влияние температурного режима хранения на потери от функциональных расстройств и интенсивность
поверхностного поражения плодов яблони загаром 212

CONTENT

EDITORIAL

Mikhail M. Kopus (Congratulation on the 75th birthday)	8
Elena V. Tikhonova, Marina A. Kosycheva Design of Empirical Research: Functional Content and Scope	12

THEORETICAL ASPECTS OF FARM PRODUCTS STORAGE AND PROCESSING

Elena V. Alekseenko, Natalya Yu. Karimova, Alena A. Tsvetkova The Current State and Prospects for the Development of Methods for Processing Bilberries: Scoping Review	23
---	----

PHYSICAL AND CHEMICAL METHODS OF FARM RAW MATERIAL PROCESSING

Vladimir A. Ermolaev Study of the Influence of Reflector Characteristics on the Process of Drying Foodstuffs	46
--	----

RESEARCH ON TRAITS OF SUBSTANCES AND AGRIBUSINESS PRODUCTS

Ksenia A. Kanina, Olga N. Krasulya, Nilolay A. Zhizhin Evaluation of a Yogurt Product Produced Using Secondary Dairy Raw Materials — Butter Milk	58
Marina V. Nosova, Galina F. Dremucheva Studies of the Baking Properties of Rye Flour, Delivered to Baking Enterprises of the Russian Federation	70
Л. П. Нилова, С. М. Малютенкова, П. С. Лебедева Оценка антиоксидантных свойств коммерческих гранатовых соков	84

BIOTECHNOLOGICAL AND MICROBIOLOGICAL ASPECTS

Irina N. Gribkova, Irina V. Lazareva Formation of the Aromatic Profile of Brewing Products: Scoping Review	98
Nikolay V. Ivanov Molecular <i>in Silico</i> Screening and Docking of Potential Inhibitors of Enzyme Activity of Plant Raw Materials	118

DESIGNING AND MODELLING THE NEW GENERATION FOODS

Irina Yu. Potoroko, Ammar M.Y. Kadi, Anastasia V. Paymulina, Natalia V. Naumenko Pickering Emulsions Based on Modified Brown Algae Polysaccharides for the Production of New Generation Food Systems	137
Valentina A. Vaskina, Vyacheslav A. Sharshunov, Irina A. Mashkova, Alexander A. Bykov, Irina D. Shchegoleva Influence of Hemp Processing Products and the Nature of Protein in the Wall Material of Emulsion Gel on the Quality and Structure of Choux Semi-Finished for Eclair	151

TECHNOLOGICAL PROCESSES, MACHINES AND EQUIPMENT

Igor A. Bakin, Sergey V. Shilov, Anna S. Mustafina Information Systems for Control and Management of Processes of Dehydration of Fruit and Berry Raw Materials	164
Ivan V. Baskakov, Vladimir I. Orobinsky, Aleksey M. Gievsky, Aleksey V. Chernyshov, Olga V. Chernova The Influence of the Ozonation Process on the Quality Indicators of Winter Wheat Grain	178

RAW MATERIALS AND ADDITIVE

Galina A. Osipova, Evgeniya V. Khmeleva The Use of Spelt Grain of the Gremme Variety in Pasta Production	191
Aleksander Yu. Sokolov Domestic Developments of Protein Systems Such as «Collagen» for Solving the Problems of Industrial Import Substitution.	201

CONTROL OVER QUALITY AND SAFETY OF AGRIBUSINESS PRODUCTS

Andrey L. Nikitin, Margarita A. Makarkina, Anna M. Galasheva The Effect of the Temperature Regime of Storage on Losses from Functional Disorders and the Intensity of Surface Damage to Apple Fruits by Scald	213
--	-----

Копусь Михаил Мефодьевич

(к 75-летию со дня рождения)

Mikhail M. Kopus

Congratulation on the 75th birthday



**50 лет научно-педагогической деятельности,
40 лет работы на донской земле**

23 мая 2023 года доктору биологических наук, ведущему научному сотруднику лаборатории биохимической и агрохимической оценки и качества зерна Центра фундаментальных научных исследований ФГБНУ «АНЦ «Донской» Михаилу Мефодьевичу Копусю исполняется 75 лет.

Михаил Мефодьевич Копусь — основатель, руководитель и исполнитель исследований и оценок селекционного и семеноводческого материала по белковым (биохимическим) маркерам (генетика качества зерна и семян) на Дону.

Фундаментальные работы Михаила Мефодьевича по генетике клейковинных белков (идея генетической номенклатуры, нуль-аллели, каталоги, связь с качеством, геногеография, использование в селекции и семеноводстве, новые направления по качеству) стали классическими и получили широкое применение и известность не только в России, но и на Украине, и в мире. Он — автор работ по генетике мягкой и твердой пшеницы, озимого и ярового ячменя, тритикале, опубликованных на русском, английском и украинском языках. Им разработаны методы идентификации генотипов, способы селекции зерновых культур, созданы генетические коллекции.

Михаил Мефодьевич родился в с. Слюсареве Одесской области СССР 23 мая 1948 года, в 1966 году поступил в Одесский сельскохозяйственный институт, который закончил в 1971-м году по специальности «Ученый агроном». После окончания работал в течение нескольких месяцев агрономом-семеноводом в хозяйстве в Одесской области Украинской ССР, с 1971 по 1972 гг. служил в рядах Советской армии. В 1972 году пошел работать лаборантом в отделе качества зерна, а в 1973 году поступил в аспирантуру Всесоюзного селекционно-генетического института (ВСГИ, г. Одесса). В 1975 году им была предложена генетическая номенклатура клейковинных белков, факторов *hard* и *soft*, нуль-аллелей и многое другое. Все эти прорывные для биохимической генетики идеи были высоко оценены, поддержаны и продвинуты в СССР и в мире академиком ВАСХНИЛ, директором ВСГИ и научным руководителем Ко-

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Копусь Михаил Мефодьевич
(к 75-летию со дня рождения) (2023).
Хранение и переработка сельхозсырья,
(1), 8–10.

ПОСТУПИЛА: 10.03.2023

ПРИНЯТА: 12.03.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

пуся М.М. — Созиновым А.А., под руководством которого Михаил Мефодьевич в 1981 г. защитил диссертацию кандидата биологических наук по теме «Связь генетически обусловленных особенностей компонентного состава глиаина с качеством муки у сортов мягкой озимой пшеницы» по специальности 06.01.05 — Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений в Научно-исследовательском институте сельского хозяйства Центральных районов Нечерноземной зоны (пос. Немчиновка Московской обл.), а затем, по результатам многолетних исследований в Донском селекцентре НПО «Дон», переименованном в 1999 году во Всероссийский научно-исследовательский институт сорго и других зерновых культур (ВНИИСЗК), а затем преобразованном в 2004 году во Всероссийский научно-исследовательский институт зерновых культур им. И.Г. Калиненко (ГНУ ВНИИСЗК им. И.Г. Калиненко), подготовил и защитил в 1998 году под научным консультированием академика Россельхозакадемии, академика и президента Украинской академии аграрных наук Созинова А.А. диссертацию доктора биологических наук «Полиморфизм белков зерна и селекция озимых пшениц» по специальности 06.01.05 — Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений во Всероссийском научно-исследовательском институте риса (г. Краснодар). В 2011 году вышла в свет монография «Геномика пшеницы и тритикале в создании высококачественных сортов но-

вого поколения», обобщающая научные исследования Михаила Мефодьевича за много лет работы (с 1983 по 2011 гг.). М.М. Копусь — автор коммерческих сортов пшеницы, ячменя, сорго, люцерны и эспарцета.

С 1983 года М.М. Копусь работает в Донском селекцентре НПО «Дон» (с 2017 г. по настоящее время — ФГБНУ «АНЦ «Донской»). С конца 2000-х годов по настоящее время работает по совместительству главным научным сотрудником отдела селекции и семеноводства пшеницы и тритикале в ФГБНУ Федеральный Ростовский аграрный научный центр (пос. Рассвет Ростовская обл.). Михаил Мефодьевич совмещает большую научно-исследовательскую работу с преподавательской и экспертной деятельностью: он был председателем Вавиловского общества генетиков и селекционеров (ВОГиС им. Н.И. Вавилова) во ВНИИСЗК им. И.Г. Калиненко, членом Ростовского регионального правления ВОГиС им. Н.И. Вавилова (г. Ростов-на-Дону), членом Всероссийского правления ВОГиС им. Н.И. Вавилова (г. Москва), заместителем руководителя координационного совета по качеству зерна при Российской академии сельскохозяйственных наук (г. Москва, до 2013 года), преподавал в 2011–2012 гг. в качестве профессора кафедры агробиотехнологий в ФГБОУ ВПО Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия, много лет был членом Объединенного диссертационного



Копусь М.М. с коллегами из лаборатории биохимии, 2005 г.



Копусь М.М. с главой администрации Зерноградского района Ростовской области Панасенко В.В. на награждении благодарственным письмом к Дню Российской науки 08.02.2023 г.

совета ДМ 006.066.01 при ГНУ Донском зональном научно-исследовательском институте сельского хозяйства (пос. Рассвет Ростовская обл.) и диссертационного совета Д220.001.02 при ФГБОУ ВПО Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия (г. Зерноград Ростовская обл.) по специальности: 06.01.05 — Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений. С 2013 года на регулярной основе привлекался в качестве председателя Государственной аттестационной комиссии (ГАК) по защите дипломов по агрономическим специальностям (специалитет) в ФГБОУ ВПО Азово-Черноморская государственная агро-

инженерная академия, с 2017 года по настоящее время работает в качестве председателя и члена Квалификационной экспертной комиссии (КЭК) по защите работ бакалавров и магистров и приему экзаменов в аспирантуру по агрономическим специальностям в Азово-Черноморском инженерном институте — филиале ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет (г. Зерноград Ростовская обл.)». С 2022 года вошел в состав редакционного совета научного журнала «Хранение и переработка сельхозсырья», включенного в перечень ВАК.

Коллектив редакции журнала «Хранение и переработка сельхозсырья» поздравляет Михаила Мефодьевича с юбилеем и желает ему крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов.

*Академики РАН,
отделение сельскохозяйственных наук;
редакция журнала «Хранение
и переработка сельхозсырья»*

Дизайн эмпирического исследования: функциональное содержание и информативность

¹ МГИМО Университет, Москва, Россия

² Российский биотехнологический университет, Москва, Россия

Е. В. Тихонова¹, М. А. Косычева²

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Тихонова Елена Викторовна

Адрес: Москва, 119454,
Проспект Вернадского 76.
E-mail: etihonova@gmail.com

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Тихонова, Е.В., Косычева, М.А. (2022).
Дизайн эмпирического исследования:
функциональное содержание и информативность. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 11–21. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.444>

ПОСТУПИЛА: 01.02.2023

ПРИНЯТА: 20.02.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.

АННОТАЦИЯ

Введение. Корректно подобранный и описанный дизайн исследования определяет достоверность и надежность полученных в ходе оригинального эмпирического исследования результатов, поэтому исследователю важно не только понимать его архитектуру, но и выстраивать ее оптимальную итерацию.

Цель данной редакционной статьи – описать логику построения, функциональное содержание и оптимальный объем дизайна эмпирического исследования.

Архитектура дизайна исследования. Описаны этапы планирования исследования на основе «луковой модели» (философия исследования, подход к исследованию, выбор методологии, исследовательская стратегия, временной интервал, сбор данных и анализ), которая позволяет читателю понять не только внешнюю, но и внутреннюю логику исследования.

Выводы. Материалы данной редакционной статьи призваны помочь авторам эффективно планировать эмпирическое исследование, осознавая не только его процессуальные аспекты, но и его философию. Подобный подход повысит индекс читабельности статьи и привлечет к исследованию внимание читательской аудитории.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

методы исследования, методология исследования, исследовательский подход, луковая модель



Design of Empirical Research: Functional Content and Informational Capacity

¹ MGIMO University, Moscow, Russia

² National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Elena V. Tikhonova¹, Marina A. Kosycheva¹

CORRESPONDENCE:

Elena V. Tikhonova

76 Prospect Vernadskogo, Moscow,
119454, Russian Federation
E-mail: etikhonova@gmail.com

FOR CITATIONS:

Tikhonova, E.V., & Kosycheva, M. A.
(2023). Design of empirical resech:
Functional contenta and Information
capacity. *Storage and Processing of
Farm Products*, (1), 12–21. [https://doi.
org/10.36107/spfp.2023.444](https://doi.org/10.36107/spfp.2023.444)

RECEIVED: 01.02.2023

ACCEPTED: 30.03.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

ABSTRACT

Introduction. A properly selected and described research design determines the validity and reliability of the results obtained in the course of an original empirical study. Therefore, it is important for the researcher not only to understand its architecture but also to construct its optimal iteration.

Purpose. The purpose of this editorial article is to describe the logic of construction, functional content, and optimal scope of an empirical research design.

Research Design Architecture. The stages of planning the research based on the «onion model» (research philosophy, approach to theory development, methodological choice, strategy(ies), time horizon,, data collection and data analyses) are described, which allows the reader to understand not only the external but also the internal logic of the research.

Conclusion. The materials of this editorial article are designed to help authors effectively plan empirical research, understanding not only its procedural aspects but also its philosophy. This approach will increase the readability index of the article and attract the attention of the readership to the research..

KEYWORDS

research methods, research methodology, research approach, onion model



ВВЕДЕНИЕ

Научная обоснованность полученных в эмпирическом исследовании результатов напрямую зависит от детализации дизайна исследования. Несмотря на то, что существуют четко очерченные требования к определению и описанию структурных компонентов секции *Материалы и методы*, многие авторы ими пренебрегают. И вместо подробной дорожной карты, описывающей все нюансы исследования и его дизайн, читатели сталкиваются с краткими и неинформативными ее набросками, затрудняющими понимание сути исследования и значимости его результатов.

Даже в ситуации, когда автор(ы) подробно описывают материалы и методы (пусть и во всех подробностях) исследования, за границами восприятия читателей остается его дизайн. Последний задает границы восприятия исследования, его философского и эпистемологического измерения, определяющих его сущностные характеристики.

Методы vs методология исследования

Обоснование выбора методов исследования обусловлено характером объекта исследования. Под методом понимают совокупность приемов или операций практического или теоретического освоения действительности, подчиненных решению конкретной задачи¹. Метод всегда связан с практической деятельностью человека, а способы этой деятельности выступают в качестве источников методов мышления, которые впоследствии с развитием науки преобразуются в методологию. Под методом понимается совокупность правил, приемов, способов, норм познания и действия. Это своеобразная система предписаний, принципов, требований, которые призваны ориентировать в решении конкретной задачи, достижении определенного результата в той или иной сфере деятельности. Методология, в свою очередь, представляет собой комплекс принципов и подходов исследовательской деятельности, на которые опирается ученый

в процессе получения и разработки знаний в рамках конкретной научной дисциплины². Основная задача методологии любой науки заключается в обеспечении процесса познания системой строго выверенных и прошедших апробацию принципов, методов, правил и норм. Методология не равна сумме методов. Ее задача — отражать и обосновывать сложную систему связей между выбранными методами, инструментами и принципами их реализации.

В науке принято разделять методологию естественных и гуманитарных наук. Несмотря на общность методов и принципов, указанные группы наук существенно отличаются в обосновании достоверности знания. Позитивистская теория³ заявляет, что только конкретные (эмпирические) науки могут претендовать на самостоятельное исследование реальности, соответственно они должны опираться на совокупность надежных и проверяемых эмпирических знаний. В методологии гуманитарных наук центральное место занимает интерпретация, которая основной стратегией исследования подразумевает выявление смысла и значения изучаемого объекта с опорой на роль субъекта, извлекающего знание. От выбора правильной методологии зависит результат и качество проводимого исследования, поэтому определиться с методами необходимо до начала проведения работы.

Методы исследования

Различные научные области используют свой набор методов, необходимых для получения данных в ходе исследований. Так, в исследованиях в сфере производства продуктов питания, активно используются газовая и жидкостная хроматография, хромато-масс-спектрометрия, атомно-абсорбционная спектрометрия, ИК-спектроскопия. В исследованиях по экономике, например, используются монографический, статистико-экономический, расчетно-конструктивный, экспериментальный, балансовый, экономико-математический и абстрактно-логический методы.

¹ Большая советская энциклопедия в 30-ти томах (1969–1986). <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/076/026.htm>

² Бахтина, И. Л., Лобут, А. А., & Мартюшов, Л. Н. (2016). *Методология и методы научного познания*. УГПУ.

³ Позитивизм — наиболее широко распространенное течение западной философии второй половины XIX–XX веков, утверждающее, что источником подлинного, положительного (позитивного) знания могут быть лишь отдельные, конкретные (эмпирические) науки и их синтетические объединения

Однако, существует и спектр общенаучных методов: эксперимент, наблюдение, опрос, кейс.

Исследовательский подход к построению теоретического знания

В качестве подходов к построению теоретического знания наибольшее распространение получили индуктивный и дедуктивный. Особенность дедукции заключается в том, что истинность ее посылок гарантирует истинность заключения. Как следствие, дедукция имеет большую силу убеждения и широко применяется везде, где необходимы достоверные знания. Спецификой индукции является ее вероятностный характер, а именно, при истинности исходных посылок заключение индукции только вероятно истинно и в конечном результате может оказаться как достоверным, так и ложным. Таким образом, индукция не гарантирует достижение истины, а лишь помогает искать истину.

Абдукция также относится к категории исследовательского подхода и получает все большее признание в сфере гуманитарных исследований. Абдукция ориентирована на исследование процесса поиска научных гипотез, посредством которых можно было бы раскрыть внутренний механизм, лежащий в основе наблюдаемых явлений, и тем самым найти им объяснение. Этот метод используется для открытия эмпирических законов, а также применяется для получения гипотез в социально-историческом познании. Например, постановка диагноза в медицине состоит из трех главных этапов: сначала выдвигается гипотеза, потом врач проверяет ее подлинность и выстраивает общую картину. Подобная схема работы идеально вписывается в логику абдукции.⁴

Методологический выбор

Получение данных может реализовываться в контексте различных методологических стратегий: количественной, качественной и смешанной (mixed method). Проведение четкой грани между количественной и качественной методологиями (Таблица 1) не является обязательным, поскольку

исследовательские траектории сегодня все чаще сталкиваются с необходимостью использования смешанных методологий. Иными словами, исследователи все чаще волнует ответ не только на вопрос *Как?*, но и на вопрос: *Почему?*

Таблица 1

Различия между характеристиками качественных и количественных исследований

Качественные исследования	Количественные исследования
Относятся к гуманитарным дисциплинам	Относятся к точным дисциплинам
Основное внимание уделяется изучению идей и формулированию гипотез или теорий	Основное внимание уделяется проверке теорий
Субъективны	Объективны
Для синтеза данных используется индуктивный метод анализа	Для синтеза данных используется дедуктивный метод анализа
Анализ осуществляется с помощью обобщения, категоризации и интерпретации	Анализ посредством математического анализа
Концентрация на комплексность и масштаб	Концентрация на краткость и точность

Количественные методы исследования фокусируются на сборе и анализе количественных данных, которые в численном или графическом представлении подтверждают теории и предположения. В рамках индуктивного подхода количественные методы обычно применяются для обнаружения причинно-следственных связей и статистических закономерностей. В рамках дедуктивного подхода количественные методы проверяют теории в рамках эмпирических исследований на основе позитивистских принципов. Для сбора информации ученые могут использовать опросы, эксперименты, существующие данные, наблюдение, контент-анализ.

Качественные исследования по большей части помогают собрать описательную информацию. Это опыт, взгляды и мнения людей. Соответственно,

⁴ Барвинская, А. (2021). Абдукция: поиск истины через расширение сознания. <https://4brain.ru/blog/abdukciya-poisk-istiny-cherez-rasshirenie-soznaniya/>

методами качественного исследования могут быть фокус-группы⁵, индивидуальные интервью и наблюдения. При проведении качественных исследований сбор данных может осуществляться также из документов и других письменных источников, например, в рамках тематического исследования.

На стыке качественного и количественно измерений выделяют моно- (monomethod), мульти- (multimethod) и смешанные (mixed method) методологические стратегии. Монометодологическое измерение предполагает, что для исследования будет использован единый метод сбора и анализа данных, качественный ИЛИ количественный. Мультиметодологическая стратегия увеличивает возможности получения разных по своей сути результатов, качественных ИЛИ количественных. Данная стратегия предполагает, что различные подходы или методы используются параллельно или последовательно, но не интегрируются до тех пор, пока не будут сделаны выводы (Johnson et al., 2007). Различие заключается в том, что смешанные методы сочетают в себе качественные и количественные методы, в то время как мультиметоды используют либо два качественных метода, либо два количественных метода.

Когда исследователь объединяет статистические тенденции (количественные данные) с описанием личного опыта (качественные данные), он обеспечивает лучшее понимание исследовательской проблемы, чем простой набор нескольких количественных или качественных методов (Creswell, 2015). Смешанный подход сочетает качественные и количественные стратегии для решения широкого круга задач. Такой подход позволяет сочетать количественные методы, базирующиеся на дедукции и используемые для подтверждения гипотез, теорий, стандартизированного сбора данных, и качественные методы, опирающиеся на индукцию, для которой характерен поиск, выдвижение гипотез и теорий, непрерывный сбор и анализ данных (Полухина & Просянюк, 2015).

Хронотоп исследования

Любое эмпирическое исследование характеризуется временными рамками, которые сами по себе могут определять значимые аспекты аккумулированных данных. Например, совпадение дат исследования с периодом значительной трансформации предметной области (например, вследствие влияния пандемии, или в период появления нового оборудования, предоставляющего новые возможности для исследователей, или переосмысления методологических акцентов и пр.) может значительным образом определить характер полученных данных.

Временное измерение исследования является значимым и для определения его продолжительности: лонгитюдное, или кросс-секционное. Лонгитюдное исследование, как правило, исследует один и тот же объект на протяжении долгого времени, которое занимает месяцы или даже годы. Под кросс-секционным исследованием понимают тип обсервационного⁶ исследования, в котором анализируются данные переменных, собранные в один заданный момент времени по выборочной совокупности или заранее определенному подмножеству.

Философия выбора

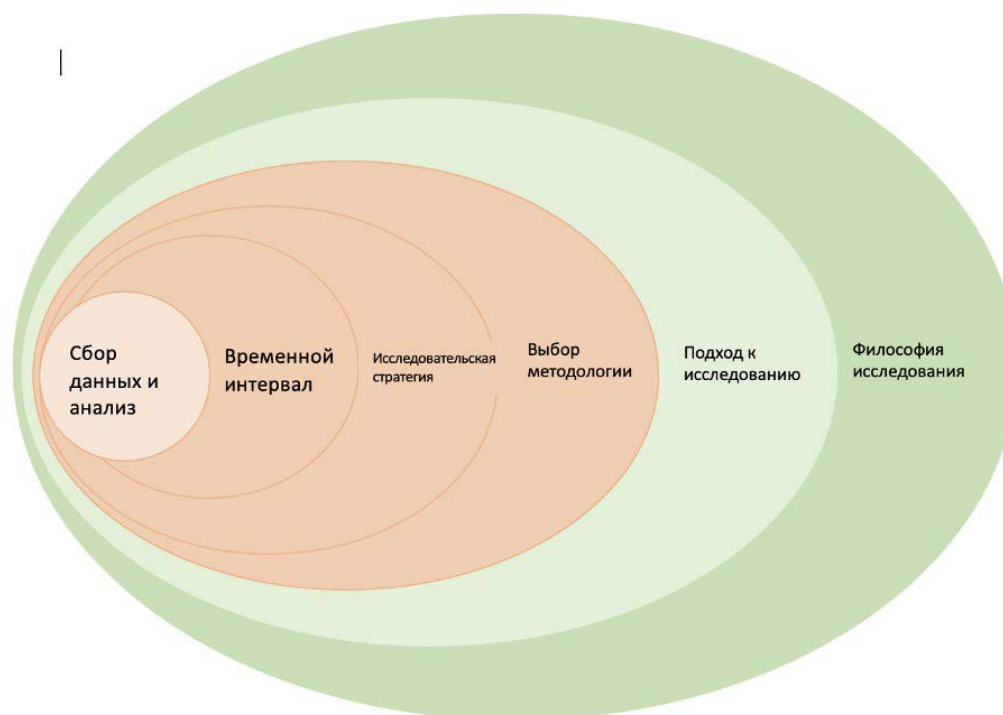
Исследовательские вопросы и проблемы, подлежащие решению в ходе конкретного исследования определяют характер данных и техник, необходимых для их аккумулирования. Однако, крайне важно определить и КАК эти техники будут применяться в ходе исследования. Иными словами, читателю должно быть понятно ПОЧЕМУ авторы статьи избрали именно эти техники для извлечения данных. И только при этом условии данное конкретное исследование будет рассматриваться как валидное и значимое. Saunders и соавт. (2019) разработали удобную модель («луковая модель» исследования) (Рисунок 1) для описания всех необходимых этапов планирования исследования, позволяющих читателю увидеть не только внешнюю, но и внутреннюю логику исследования.

⁵ Фокус-группа — представляет собой модулируемую дискуссию. Все члены этой дискуссии должны обладать сходными социально-демографическими характеристиками, установками или моделями поведения.

⁶ В обсервационном (наблюдательном) исследовании событиям предоставляется естественный ход, изменения одного признака сравниваются с изменениями других, исследование не предполагает экспериментов и вмешательств, часто используется в медицине (клинических исследованиях).

Рисунок 1

«Луковая модель» исследования



Примечание. Адаптировано из «Understanding research philosophy and approaches to theory development», авторы Saunders, M., Lewis, P., Thornhill, A., & Bristow, A., 2019, In *Research Methods for business students* (8th ed., chapter 4). Pearson.

«Луковая модель» стартует с постановки вопроса, на который необходимо найти ответ, или формулировки проблемы, которую надо решить. Следующий этап требует определения философии исследования (позитивизм, критический реализм⁷, интерпретивизм, постмодернизм⁸, прагматизм⁹), демонстрирующей восприятие автором сути научного знания. На этапе определения подхода к исследованию (индукция / дедукция / абдукция), авторы, как правило, фиксируют свой общий методологический выбор (моно / мульти / смешанный) и определяют конкретные методы, необходимые для сбора данных (эксперимент / опрос и пр.). Все слои «луковицы» взаимосвязаны и взаимозависимы:

выбор философии и плана исследования влияют на подход к исследованию, который, в свою очередь, определяет выбор методологии, исследовательской стратегии, временного интервала исследования.

Дизайн исследования

До применения конкретных методов на практике, необходимо продумать дизайн исследования, опираясь на план исследования¹⁰ и его философию, исследовательскую стратегию, выбор методологии, методов познания и философию исследования. Ди-

⁷ Критический реализм показывает, как наука работает в реальных условиях, наука представляется как непрерывный процесс, в котором ученые улучшают концепции, которые они используют, чтобы понять механизмы, которые они изучают.

⁸ С точки зрения постмодернизма не существует научного знания, заслуживающего абсолютного доверия, данная философия в принципе отрицает возможность достоверности и объективности.

⁹ Прагматизм рассматривает человеческое мышление, научное и философское познание как формы деятельности, направленные на достижение практического результата.

¹⁰ План исследования — это прописанная последовательность отдельных этапов и стадий исследовательского процесса. В зависимости от знаний об объекте разрабатывается поисковый, описательный или экспериментальный план исследования.

зайн исследования призван обеспечить валидную основу для сбора данных так, чтобы с их помощью ответ на исследовательские вопросы являлся обоснованным и убедительным¹¹ (Saunders et al., 2019). Иными словами, архитектура дизайна исследования позволяет ответить на вопрос: Соответствуют ли методы сбора данных целям исследования и правильно ли выбран инструмент для анализа данных.

Дизайн исследования, опираясь на формулировки решаемой в исследовании проблемы, его цели и исследовательских вопросов, призван представить все необходимые компоненты исследования, описание которых впоследствии в контексте процедуры исследования позволит авторам создать подробную карту своего каждого исследовательского шага. Отсюда, и необходимость подробного комментирования всех значимых аспектов исследования выборки, материалов, методов, инструментов и т.д.) в секции *Материалы и методы*.

Необходимо не просто корректно подобрать дизайн исследования, но и обосновать его уместность в данном конкретно исследовательском контексте. В отличие от зарубежных исследователей российские ученые зачастую пропускают данный этап в своих работах, что не может не отразиться на считываемости значимости его результатов. Дизайн исследования определяет такие составляющие исследования как исследуемые переменные, гипотезы, методы, методологию и методы анализа и валидации данных (Creswell et al., 2018).

Дизайн исследования иногда ошибочно воспринимают как синоним методологии исследования. Однако разница заключается в том, что дизайн исследования показывает как подойти к решению конкретной исследовательской проблемы, а методология исследования логически организует деятельность человека и помогает определить цели и предмет исследования, выборе средств и методов, определяющих наилучший результат. В рамках как качественного, так и количественного подходов существует несколько типов дизайна исследования. Дизайн количественного исследования может быть:

- (1) *экспериментальным*: используется для проверки причинно-следственных связей, включает манипулирование независимой переменной и измеряет ее влияние на зависимую, испытуемые распределяются случайно, как правило подобное исследование будет проводиться в контролируемой среде, например, лаборатории. Задача экспериментальных исследований состоит в проверке научных гипотез, подтверждающих наличие или отсутствие связи между факторным и результативным признаками, в области медицины, например, их чаще всего используют для оценки эффективности проводимых лечебных и профилактических мероприятий (Холматова и соавт., 2016);
- (2) *квазиэкспериментальным*: также проводится для проверки причинно-следственных связей, сравниваются уже существующие группы, распределение в которые не происходит случайно, кроме того, эксперимент проводится в естественной среде, тогда как квазиэксперимент не оказывает непосредственного воздействия на участников или условия эксперимента. Соответственно, выводы, полученные в результате квазиэксперимента, из-за слабого контроля над ситуацией и факторами возможного воздействия носят более абстрактный характер;
- (3) *корреляционным*: проводится для проверки связи переменных друг с другом с целью выяснить насколько сильной будет эта связь, кроме того, переменные изучаются без специального воздействия на них;
- (4) *описательным*; такой дизайн необходим, чтобы описать характеристики, средние показатели и тенденции, переменные также изучаются без воздействия на них.

С помощью корреляционного и описательного дизайнов можно получить четкую картину характеристик, тенденций и взаимоотношений изучаемых объектов, однако невозможно сделать вывод о причине и следствии. Экспериментальный дизайн, напротив, нацелен на выявление причинно-следственных связей. Недостатком эксперимента считается то, что контролируемые условия не всегда

¹¹ Bouchrika, I. (2023). *Types of Research Design: Perspective and Methodological Approaches*. <https://research.com/research/types-of-research-design>

отражают то, как все может происходить в реальной жизни.

Дизайн качественных исследований менее строгий, что позволяет ученому быть более гибким и творчески подходить к исследованию. Выделяют следующие типы дизайна качественного исследования:

- (1) *кейс-стади* представляет собой подробное изучение какой-либо темы, сбор материала может осуществляться с помощью различных методов, помогает представить картину целиком;
- (2) *этнография* рассматривается как детальное изучение культуры определенного сообщества или группы с помощью продолжительного погружения и тщательного наблюдения, при этом основное внимание уделяется описанию и интерпретации убеждений, условностей, социальной динамики и прочего;
- (3) *обоснованная теория* стремится разработать теорию индуктивным путем с помощью систематического анализа качественных данных;
- (4) *феноменология* за счет описания жизненного опыта участников стремится объяснить какое-либо явление или событие.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Участники / Материалы

Наиболее частотно в исследовании могут использоваться подобные названия подраздела не являющиеся универсальными для всех наук. Исследования в сфере сельского хозяйства могут зачастую озаглавливают эту подсекцию следующим образом: область исследования (например, агроэкологические зоны, зоны возделывания и пр.), данные спутников (например, в морской геофизике).

Описание дизайна исследования невозможно без включения информации об участниках или материалах исследования (на ком или на чем оно будет сосредоточено). Необходимо упомянуть, каким образом были отобраны участники или образцы исследования. Важным вопросом является репрезентативность выборки исследования: насколько

обоснованным является распространение результатов исследования на всю популяцию? Популяция может включать виды растений, животных, группы людей и пр. Если исследование реализуется на людях, необходимо включить их демографические данные (возраст, пол, страну происхождения), а также любые другие данные, релевантные в контексте исследования и способные стать основаниями для сравнения различных групп результатов. Если же исследование касается животных, растений или микроорганизмов, нужно указать род, вид и штамм и все необходимые данные о них, релевантные целям исследования. Если исследование касается изучения оборудования, машины, то необходимо указать производителя, страну производства и базовые спецификации. Выборка исследований по изучению сельскохозяйственных культур и их возделыванию должна включать описание экспериментальных участков. При описании участников исследования важно не путать их с объектом исследования. Объектом исследования считают процесс или явление, порождающее проблемную ситуацию и избранное для изучения, участником исследования считается человек в качестве испытуемого.

Материалы (например, оливковое масло, листовые растения, штаммы бактерий) также описываются подробно, исходя из требуемых для решения поставленных исследовательских задач, аспектов. Например,

Оливковый жмых и зола оливкового жмыха были поставлены заводом по производству оливкового масла Montes Norte (Мора, Кастилия-Ла-Манча и Испания). При сушке оливкового жмыха получали пепел.

Различные смеси обоих материалов были приготовлены в различных пропорциях в каждом образце. Образцы определяли в зависимости от доли оливковых выжимок (О) и золы оливковых выжимок (А) на стадии сушки в барабанной сушилке барабанного типа.

Например, образец 75О 25А содержал 75% оливкового жмыха и 25% золы. Остальные образцы были названы в той же номенклатуре. После приготовления их сушили в печи в течение 24 часов, измельчали и просеивали, чтобы получить средний размер частиц от 100 до 150 мкм¹².

¹² Alcazar-Ruiz, A., Garcia-Carpintero, R., Dorado, F., Sanchez-Silva, L. (2021). Valorization of olive oil industry subproducts: ash and olive pomace fast pyrolysis. *Food and Bioproducts Processing*, 125, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.10.011>

Размер выборки — важный показатель, без которого невозможно провести адекватное исследование и сделать объективные выводы. Существуют методы и формулы для определения адекватного объема выборки (Наркевич & Виноградов, 2019): (1) методы, которые не требуют предварительных знаний об изучаемом явлении, (2) методы, которые требуют от исследователя сбора предварительных данных, потому что ранее явление не изучалось, ничего не известно ни о генеральной совокупности¹³, ни о параметрах изучаемого явления (например, новый метод анестезии), что значительно усложняет исследовательскую работу и требует определенных временных и финансовых затрат. Первую группу методов также называют табличной, выбор той или иной методики определяется имеющимися исходными данными или пожеланиями исследователя, к ним рекомендуют обращаться, когда нет никаких данных о предстоящем исследовании, и эксперимент является чем-то новым, также ими пользуются в пилотном исследовании (методики К. А. Отдельновой, В. И. Паниотто, N. Fox, K. Mitra, S. Das, M. Mandal)¹⁴.

Вторая группа методов для расчета объема выборки требует использования формулы, которая определяется следующими параметрами: изменчивостью признака, уровнем доверия и размером эффекта. Таким образом формула для расчета среднего размера выборки выглядит следующим образом:

$$n = (z \times \sigma / H)^2,$$

где n — размер выборки; z — доверительный уровень (при $p = 0,05$ $z = 1,96$); σ — стандартное отклонение; H — допустимая ошибка в натуральных величинах. Существуют и другие формулы, каждая из которых имеет свои особенности.

Методы и инструменты

Следующий этап разработки дизайна исследования включает представление методов и инструментов сбора данных, варьирующихся в зависимости

от предметного поля¹⁵. Если методы традиционны для предметной области, то достаточно их упомянуть. Если их использование необычно, или являются относительно «молодыми» то лучше отослать читателя к источникам, в которых они могут с ними познакомиться подробнее, ограничившись в данной конкретной рукописи лишь их кратким описанием.

Для сбора данных необходимы и определенные инструменты. Инструменты исследования — это средства, которые используются для сбора и анализа данных в исследовании, такие как опросы, анкеты, интервью, шкалы и так далее. При производстве продуктов питания используют химическую аналитику, микробиологический анализ, сенсорный анализ и др. Для тестирования пищевых продуктов в лабораториях также используется различное оборудование, о котором необходимо упомянуть. Центральное место в анализе пищевых продуктов занимают спектрометры, спиртометры, рефрактометры, титраторы, анализаторы уровня влажности и другое стандартное лабораторное оборудование. В ходе испытаний также задействуются методы масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, газовой хроматографии и жидкостной хроматографии высокого давления.

Процедура исследования

Необходимо продумать и описать КАК все элементы методологии и дизайна исследования нашли свое выражение в процессе проведения исследования. Последовательность шагов должна быть описана точно и беспристрастно, поскольку каждое исследование характеризуется с позиции надежности и валидности. Под надежностью понимают воспроизводимость полученных результатов, а под валидностью — соответствие экспериментальной базы общепринятым стандартам, которые позволяют добиться безупречного результата в поиске решения поставленной проблемы.

Важно, чтобы описание процедуры исследования помогло любому заинтересованному специалисту

¹³ Под генеральной совокупностью понимается совокупность всех возможных объектов данного рода, для которых будут справедливы результаты данного исследования.

¹⁴ Определение объема выборки. <https://neiros.ru/tools/sample-size/>

¹⁵ Если же у исследователей недостаточно времени или ресурсов, они могут воспользоваться вторичными данными (сырыми данными), которые были собраны в предыдущих исследованиях по теме или размещены в репозиториях данных.

воспроизвести исследования, воспринимая его глазами автора и не опираясь на собственный контекст, не достраивая непонятные аспекты, исходя из собственных знаний и опыта. Такое «достраивание» неизбежно приведет к невозпроизводимости результатов.

Анализ данных

Данная подсекция секции Материалы и методы не требует объемного представления информации. Ее цель — предоставить описание инструментов, на которые опирались авторы с целью верификации полученных результатов и обоснования принципиальной возможности их распространения на всю популяцию. Важно не просто назвать конкретный инструмент или сумму инструментов для верификации данных, но и обосновать свой выбор. Например,

Все измерения в этом исследовании проводились в трехкратной повторности. Дисперсионный анализ (ANOVA) применялся для установления линейного, квадратичного и взаимодействующего влияния независимых переменных на ответы (производство LCEPS). Для оценки адекватности и точности разработанных моделей использовались различные статистические параметры, такие как коэффициент детерминации (R^2), скорректированный коэффициент детерминации (скорректированный R^2), коэффициент вариации (CV) и адекватная точность. Значимость ответов измеряли на уровне значимости $p < 0,05$ и $p < 0,01$. Значение $IC50$ рассчитывали методом линейной регрессии с помощью программного обеспечения IBM SPSS Statistics 25.0¹⁶.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целостное восприятие эмпирического исследования невозможно вне понимания его дизайна. А последнее требует высокого уровня академической грамотности и исследователей и читателей. Многие исследователи ошибочно полагают, что подробное описание процедуры исследования и иссле-

довательского дизайна приведет к «похищению» представленного ими исследования. На самом деле, именно подробное описание каждого шага процедуры исследования позволяет зафиксировать статус «первопроходца» в проблематике и получить заслуженное признание со стороны коллег. Фрагментарно описанный дизайн исследования приводит к обвинениям в фальсификации данных и недобросовестности исследования. Описание возможности получить доступ к сырым исследовательским данным является сегодня уже не рекомендательным, а обязательным требованием со стороны качественных журналов. Подобный подход также связан с типичными проблемами, связанными с представлением информации в секции *Материалы и методы*: он призван обеспечить добросовестность авторов на этапе представления описания дизайна исследования. Если данные не отражают суть дизайна исследования, это может послужить свидетельством низкого уровня компетентности автора в теме. Редакторы журнала рекомендуют авторам предварительно проводить пилотные исследования до проведения масштабных исследований¹⁷. Пилотное исследование помогает избежать возможных осложнений, которые могут свести к нулю все усилия исследователей, помогают апробировать и уточнить дизайн исследования, проверив осуществимость подхода, который планируется применить в крупномасштабном исследовании.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

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

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

¹⁶ Ge, Zh., Azi, F., Bao, X., Yin, X., Feng, X., Zhang, M., Xia, X., & Dong, M. (2023). Optimization and characterization of exopolysaccharides from *Leuconostoc citreum* BH10 and its functional properties in vitro. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5, 23. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00134-3>

¹⁷ Тихонова, Е., & Мекеко, Н. (2022). Пилотные исследования: дизайн и описание практик по конструированию. *Журнал Работа и Карьера*, 1(2). <https://doi.org/10.56414/jeac.2022.16>

ЛИТЕРАТУРА

- Наркевич, А. Н., & Виноградов, К. А. (2019). Методы определения минимально необходимого объема выборки в медицинских исследованиях. *Социальные аспекты здоровья населения*, 65(6), 10. <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2019-65-6-10>
- Полухина, Е. В., & Просянюк, Д. В. (2015). Исследования со смешанными методами (mixed methods research): интеграция количественного и качественного подходов. *МЕТОД: Московский ежегодник трудов из обществоведческих дисциплин*, (5), 309–318.
- Холматова, К. К., Харьковская, О. А., & Гржибовский, А. М. (2016). Экспериментальные исследования в медицине и здравоохранении: планирование, обработка данных, интерпретация результатов. *Экология человека*, (11), 50–58.
- Creswell, J. W. (2015). Revisiting mixed methods and advancing scientific practices. In Sh. N. Hesse-Biber & R. Burke Johnson (Eds.), *The Oxford handbook of multimethod and mixed methods research inquiry*. Oxford Library of Psychology.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). Sage.
- Johnson, R. B., Onwuegbuzie, A. J., & Turner, L. A. (2007). Toward a definition of mixed methods research. *Journal of Mixed Methods Research*, 1(2), 112–133.
- Saunders, M., Lewis, P., Thornhill, A., & Bristow, A. (2019). Understanding research philosophy and approaches to theory development. In *Research Methods for business students* (8th ed.). Pearson.

УДК 634.733: 663.8: 663.05

Современное состояние и перспективы развития способов переработки ягод черники: обзор предметного поля

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)

Е. В. Алексеенко, Н. Ю. Каримова, А. А. Цветкова

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Алексеенко Елена Викторовна

Адрес: 125080, г. Москва,

Волоколамское ш., д. 11

E-mail: AlekseenkoEV@mgupp.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования

доступны по запросу

у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Алексеенко, Е. В., Каримова, Н. Ю., &

Цветкова, А. А. (2023). Способы переработки

ягод черники: современное состояние и перспективы развития.

Хранение и переработка сельхозсырья,

(1), 22–44. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.353>

ПОСТУПИЛА: 12.08.2022

ПРИНЯТА: 05.03.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии

конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. В ходе технологических процессов переработки ягод черники (*Vaccinium myrtillus*) в различной степени снижается количество природных биологически активных веществ (БАВ), в частности полифенольных комплексов и проантоцианидинов.

Цель. Проанализировать существующие технологии переработки черники для выявления перспектив комплексных технологий переработки черники, в том числе и с применением биотехнологических приемов, позволяющих получать различные продукты функциональной направленности.

Материалы и методы. Анализировали литературные источники, содержащие актуальную информацию о способах переработки ягод черники (*Vaccinium myrtillus* L.), опубликованные в период с 2010 по 2022 год. Использовали следующие поисковые системы и электронные библиотеки: Scopus, Web of Science, Google Scholar, Medline, E-library.

Результаты. Выявлено, что наиболее перспективными способами, с точки зрения сохранности комплекса биоактивных веществ черники и интенсивности протекания технологических процессов, являются сублимационная и ИК-сушка, замораживание. Данные способы позволяют получить продукты (концентрированный сок, порошок черники) с минимальными потерями сырья и с максимальным сохранением витаминно-минеральных и антоциановых комплексов черники. Показано, что особый интерес представляют комплексные технологии, технологии глубокой переработки, базирующиеся на использовании комбинации физических и физико-химических процессов, и биотехнологии с применением высокоспецифичных ферментных препаратов, в том числе, комплексного действия.

Выводы. Анализ публикаций отечественных и зарубежных исследователей, посвящённых комплексной и глубокой переработке ягод черники, позволил выявить проблемное поле исследований – недостаточная степень изученности и систематизации влияния технологических параметров на сохранность биологически активных комплексов черники. Особое значение для организации инновационных и технологичных перерабатывающих производств имеют комплексные технологии и технологии глубокой переработки, позволяющие повысить эффективность технологических процессов и получать широкий спектр пищевых ингредиентов и биологически активных веществ из вторичных продуктов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ягоды черники, сушка, замораживание, обработка кавитационными волнами, биотехнологическая переработка черники, комплексная переработка черники, глубокая переработка черники

The Current State and Prospects for the Development of Methods for Processing Bilberries: Scoping Review

Russian Biotechnological University
(BIOTECH University)

Elena V. Alekseenko, Natalya Yu. Karimova, Alena A. Tsvetkova

CORRESPONDENCE:

Elena V. Alekseenko

Address: 125080, Moscow,
Volokolamskoe sh., 11
E-mail: AlekseenkoEV@mgupp.ru

FOR CITATIONS:

Alekseenko, E. V., Karimova, N. Yu., & Tsvetkova, A. A. (2023). The Current state and prospects for the development of methods for processing blueberries: *Scoping review. Storage and Processing of Farm Products*, (1), 22–44. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.353>

RECEIVED: 12.08.2022

ACCEPTED: 05.03.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background. During the technological processes of processing blueberries (*Vaccinium myrtillus*), the amount of natural biologically active substances (BAS), in particular polyphenolic complexes and proanthocyanidins, is reduced to varying degrees. The analysis of publications of domestic and foreign researchers devoted to the complex and deep processing of blueberries made it possible to identify a problematic field of research – an insufficient degree of study and systematization of the influence of technological parameters on the safety of biologically active complexes of blueberries.

Purpose. The authors set a goal to critically analyze the existing blueberry processing technologies in order to identify the prospects for complex blueberry processing technologies, including those using biotechnological techniques that allow obtaining various functional products.

Materials and Methods. Literature sources containing up-to-date information on the methods of processing blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.), published in the period from 2010 to 2022, were analyzed. The following search engines and electronic libraries were used: Scopus, Web of Science, Google Scholar, Medline, E-library.

Results. It is revealed that the most promising methods, from the point of view of the preservation of the complex of bioactive substances of blueberries and the intensity of technological processes, are sublimation and IR drying, freezing. These methods make it possible to obtain products (concentrated juice, blueberry powder) with minimal losses of raw materials and with maximum preservation of vitamin-mineral and anthocyanin complexes of blueberries. It is shown that complex technologies, deep processing technologies based on the use of a combination of physical and physico-chemical processes, and biotechnology with the use of highly specific enzyme preparations, including complex action, are of particular interest.

Conclusions. The analysis of the publications of domestic and foreign researchers devoted to the complex and deep processing of blueberries has revealed a problematic field of research – the insufficient degree of knowledge and systematization of the influence of technological parameters on the safety of biologically active blueberry complexes. Of particular importance for the organization of innovative and technologically advanced processing industries are complex technologies and technologies of deep processing, which make it possible to increase the efficiency of technological processes and obtain a wide range of food ingredients and biologically active substances from secondary products.

KEYWORDS

blueberries, drying, freezing, cavitation wave processing, biotechnological processing of blueberries, complex processing of blueberries, deep processing of blueberries

ВВЕДЕНИЕ

Черника и продукты её переработки — это ценное пищевое сырьё, представляющее собой многокомпонентную, полифункциональную, биологически активную систему, имеющую большой биотехнологический и биогенный потенциал (Куркин и соавт., 2011; Макарова & Еремеева, 2020). Отличительными особенностями черники являются не столько её общепризнанные высокие сенсорные характеристики, сколько разнообразный химический состав. По данным целого ряда исследований, в ягодах черники присутствуют пищевые и биологически активные вещества (БАВ): витамины (С, РР, В₁, каротиноиды), микроэлементы (марганец, цинк), углеводы (глюкоза, фруктоза, сахароза, пектин), органические кислоты (лимонная, молочная, хинная, щавелевая, яблочная и янтарная), тритерпеноиды (урсоловая кислота), эфирные масла, фенолы и их производные (гидрохинон, асперулозид, монотропезид), фенолокислоты (кофейная и хлорогеновая), катехины (галлокатехин, эпикатехин, эпигаллокатехин) (Stanoeva et al., 2017; Zorenc et al., 2018; Конюхова & Меркушева, 2021).

Подавляющее большинство веществ, содержащихся в чернике, отличаются мощными антиоксидантными, антиканцерогенными, нейропротекторными, противовоспалительными и защитными свойствами (Воробьева, 2015; Гольдина и соавт., 2015; Фрум и соавт., 2016; Ancillotti et al., 2016; Olas, 2017; Colak et al., 2017). Голубая окраска ягод, обусловлена высоким содержанием в их составе антоцианов (Burdulis et al., 2007; Primetta et al., 2013; Школьников & Аверьянова, 2021). Антоцианы — это антиоксиданты растительного происхождения, которые представляют собой гликозилированные формы антоцианидинов, которые относятся к семейству флавоноидов (Куркин и соавт., 2014; Васяров и соавт., 2016). Черника за счёт содержания комплекса БАВ активно применяется в качестве обогащающего ингредиента в составе пищевой продукции (Pires et al., 2020; Aliman et al., 2020; Четвериков и соавт., 2016).

Свежие ягоды черники, согласно актуальным Нормам физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных

групп населения Российской Федерации (МР 2.3.1.0253–21¹), способны удовлетворить потребности взрослого человека согласно средних значений содержаний в ягодах черники в пищевых волокнах на 15 % ($3,1 \pm 0,50$ г/100 г), в витамине С на 41,0 % ($40,19 \pm 0,48$ мг/100 г), β-каротине на 10,4 % ($0,52 \pm 0,02$ мг/100 г), антоцианах по различным данным на 390...4993,7 % ($195,01 \pm 2,4$...2497,6 мг/100 г), гидроксibenзойных кислотах на 120,4 % ($60,2$ мг/100 г), в гидроксикоричных кислотах на 48,7 % ($97,4$ мг/100 г), в флаванолах на 671,3 % ($201,4$ мг/100 г), в флаван-3-олах на 89,0 % ($178,0$ мг/100 г) (Сайфулина, 2003; Типсина и соавт., 2010; Лозовская & Осипова, 2011; Prencipe et al., 2014; Белова и соавт., 2020; Конюхова & Меркушева, 2021; Vanekova & Rollinger, 2022).

Ягоды черники и продукты её переработки представляют собой перспективный источник пищевых и биологически активных веществ. Нутриентный состав ягод черники обуславливает её растущую популярность среди различных слоев населения и широкую востребованность при производстве продуктов здорового питания. Использование черники в питании возможно в свежем, замороженном и консервированном виде (Сергунова, 2013; Aura et al., 2015; Arevström et al., 2019). С учетом того, что сбор ягод черники носит сезонный характер, особую актуальность сегодня приобретают высокотехнологичные производства продуктов переработки ягод, обеспечивающих максимальное использование биохимического потенциала ягод и ее функционально-технологических свойств. Обзор современного рынка показывает, что чернику с успехом перерабатывают в соки, джемы, варенье; применяют при получении мармелада, желе, соусов (Müller et al., 2012; Poiana et al., 2012; Коренева, 2013; Diez-Sanchez et al., 2021). Ведутся активные разработки в сфере технологий безалкогольных напитков, пищевых концентратов и различной консервированной продукции; возрастает интерес к переработке черники для получения ягодных полуфабрикатов — паст и порошков (Рензеева и соавт., 2014; Магомедов и соавт., 2016; Bilbao-Sainz et al., 2019). Разнообразие продуктов переработки ягод черники, их технологических форм обуславливает возможность применения в различных пищевых технологиях, при этом продукт должен быть

¹ МР 2.3.1.0253–21. (2021). Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/>

не только технологичен, но и обладать всем комплексом характеристик (пищевых и органолептических), которые свойственны исходным нативным ягодам. Исходя из этого, целью данной работы является анализ существующих технологий переработки черники для выявления перспектив комплексных технологий переработки черники, в том числе и с применением биотехнологических приемов, позволяющих получать различные продукты функциональной направленности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Базы данных

Проводили поиск источников, содержащие информацию о способах переработки ягод черники (*Vaccinium myrtillus* L.), в базах данных Scopus, Web of Science, и Medline, поисковой системе Google Scholar, в электронной библиотеке E-library.

Критерии включения/исключения источников

Использовали следующие ключевые слова для первичного поиска: «ягоды черники», «замороженные ягоды черники», «высушенные ягоды черники», «заморозка ягод черники», «черничные выжимки», «концентрированный сок черники», «порошок черники», «прессование ягод черники», «сушка ягод черники», «замораживание ягод черники», «обработка черники кавитационными волнами», «биотехнологическая переработка черники», «комплексная переработка черники», «глубокая переработка черники». Для источников на английском языке использовали ключевые слова: «blueberries», «frozen blueberries», «dried blueberries», «freezing of blueberries», «blueberry pomace», «concentrated blueberry juice», «blueberry powder», «pressing of blueberries», «drying of blueberries», «freezing of blueberries», «processing of blueberries cavitation waves», «biotechnological processing of blueberries», «complex processing of blueberries», «deep processing of blueberries».

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

Критерии включения:

- (1) Статья написана в период с 2010–2022 год;
- (2) статьи соответствуют теме исследования;
- (3) типами анализируемых статей являются оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи, монографии.
- (4) статьи на английском языке соответствовали поисковым запросам на английском языке, содержали также латинское название черники (*Vaccinium myrtillus*). Причина в сходном переводе слова «blueberries» на русский язык: черника и голубика.

Критерии исключения

- (1) Статья не соответствует теме данного обзора: не касаются тематики развития способов переработки ягод черники;
- (2) Статья написана не на русском или английском языках;
- (3) Статьи на английском языке соответствовали поисковым запросам на английском языке, но касались голубики (*Vaccinium uliginosum*). Источники, относящиеся к вопросам переработки голубики, (*Vaccinium uliginosum*), исключались.
- (4) Жанр статьи — не соответствует указанным жанрам по критериям включения;
- (5) Если из разных баз данных или разных электронных библиотечных систем были извлечены повторяющиеся источники, их классифицировали только один раз.

В результате были отобраны 74 источника (оригинальных, исследовательских статей — 67, обзорных статей — 4, монография -1, диссертации — 2)

Отбор источников

Путем анализа аннотаций были отобраны 293 источника на русском и английском языках. Типами анализируемых статей являются оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи, монографии. Далее из полученной подборки осуществлялся отсев источников, не соответствующих в полной мере тематике исследования путём изучения полных текстов. По итогам отбора материалов в подборку, которая легла в основу

настоящего обзора, были включены 74 источников, из которых 42 — на русском языке, 32 — на английском языке. Для обзора предметного поля проведенного исследования использовали протокол PRIZMA (PRIZMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)² (Рисунок 1).

Извлечение и анализ данных

Для анализа и систематизации отобранных источников составили сводную таблицу (Таблица 1 — фрагмент), в которой были отражены основные разделы и перечень вопросов, рассматриваемых в каждой конкретной публикации.

Рисунок 1
Порядок отбора источников в соответствии с протоколом PRIZMA

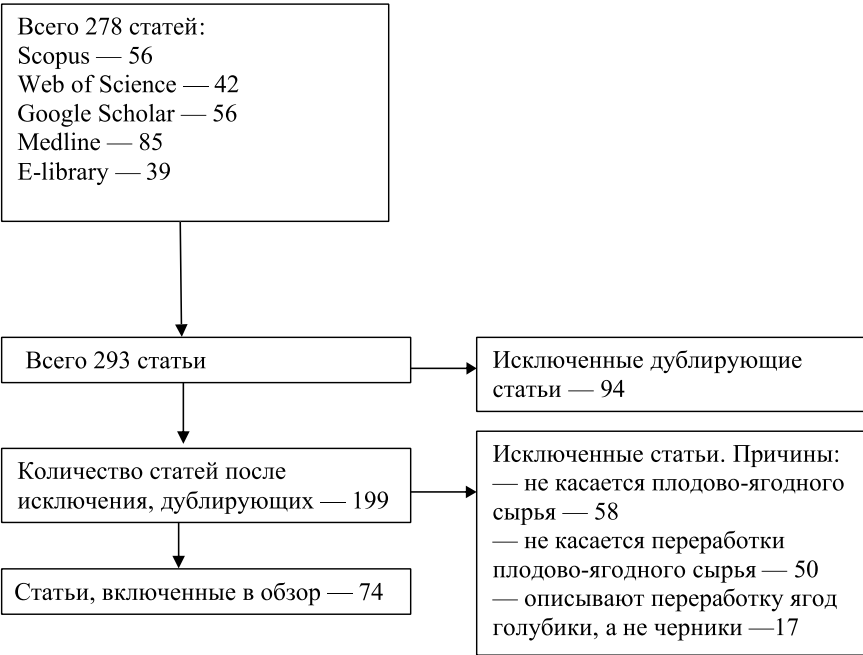


Таблица 1
Характеристики включенных в анализ исследований

Наименование источника	Наименование плодово-ягодного сырья	Содержание биологически активных веществ	Технологии переработки плодово-ягодного сырья	Технологии переработки черники
Karam, Petit et. all, 2016	Фрукты и овощи, есть упоминания о чернике	+	Процесс высушивания	+
Алексеев, Бакуменко, Азарова, 2019	Клюква	+	Электромагнитные волны	–
Бутенко, Подгорная, 2016	Черная смородина, клубника, вишня, малина	+	Криообработка	–

Примечание. Из «Товароведно-технологическая характеристика дикорастущих черники и калины и продуктов их комплексной переработки [Кандидатская диссертация, Сибирский университет потребительской кооперации]», З. Р. Сайфулина, 2003. «Исследование черники», Н. Н. Типсина, Н. Ю. Яковчик, 2013, Вестник Красноярского государственного аграрного университета, (11), с. 283–285.

² PRIZMA. URL.: <http://prisma-statement.org/> (дата обращения: 12.03.2023).

В дальнейшем информация систематизировалась и концептуализировалась сквозь призму нарративного подхода. Все выявленные технологии ранжировались тематически:

- технологии механической обработки;
- технологии, основанные на процессах высушивания;
- технологии замораживания;
- технологии, основанные на кавитационных процессах;
- технологии, основанные на экстракционных процессах;
- биотехнологические переработки;
- технологии комплексной и глубокой переработки.

Информацию систематизировали по способам и видам переработки черники: прессование, высушивание, замораживание, кавитационная обработка, биотехнологии переработки черники, комплексные технологии и технологии глубокой переработки черники.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ источников показал, что основная часть публикаций (74,68 %) появились в последние 10 лет: с 2013–2021 гг. Установлено, что для круглогодичного использования ягод черники применяют различные технологии консервирования. Традиционными и наиболее распространенными способами переработки ягод черники являются прессование с получением сока, сушка и замораживание (Дубкова & Тухбиева, 2010; Müller et al., 2012).

Технологии механической переработки черники

Соки прямого отжима (из целого и измельченного сырья) сегодня получают прессованием. Для этого применяют прессы поршневые, винтовые, гидравлические, шнековые и др. Продуктами механической переработки черники являются сок, который в дальнейшем может быть использован в различных видах (в охлажденном, замороженном, пастеризованном, концентрированном), и выжимки,

которые являются сырьем для производства порошков, паст, пищевых красителей, пищевых волокон и пр. (Громова и соавт., 2021). По традиционной технологии соков из плодово-ягодного сырья механическое измельчение является предварительной стадией (перед прессованием или различной термической обработкой). Механическое измельчение ягод — процесс известный с древнейших времен, направленный на разрушение клеток и дальнейшее отделение сока (Каржавина и соавт., 2015). Несмотря на достаточную простоту реализации данного способа переработки, он требует учета некоторых факторов: на измельчение должны поступать зрелые ягоды, свободные от травянистой части (чашелистиков и плодоножек) без следов загнивания; ягодное сырьё легко подвергается деформации, но с учетом их малого размера далеко не все клетки подвергаются разрушению; ягодная мезга должна незамедлительно поступать на дальнейшую переработку, чтобы минимизировать окислительные процессы (Каржавина и соавт., 2015). Измельчение реализуется на дробилках различных конструкций³. Довольно часто механическое измельчение дополняется другими способами обработки ягодного сырья.

Оценку эффективности прессования как способа механической переработки ягод довольно сложно провести с позиции качественных характеристик соков прямого отжима, поскольку в литературных источниках не встречается информация о проведении систематических исследований, иллюстрирующих влияние параметров прессования на пищевую и биологическую ценность соков. В литературе, как правило, приводятся сведения, характеризующие состав ягод черники, позволяющие судить об их пищевой ценности (Сайфулина, 2003; Типсина & Яковчик, 2013; Каржавина и соавт., 2015). Результаты немногочисленных исследований, проведенных с ягодами красной смородины, брусники, облепихи дают возможность оценить эффективность прессования (без конкретизации режимов) с точки зрения экстракции в сок природных компонентов ягод. Показано, что механическое измельчение и последующее прессование позволяет перевести в сок органических кислот — 48–67%, редуцирующих сахаров — 57–59%, липидов — 33%, белка — 22%, полифенольных соединений — 33–51%, витамина

³ Машанов, А. И., & Зобнина Л. С. (2013). *Технологические схемы и процессы переработки животного и растительного сырья: Учебное пособие*. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет.

С — 24–44% каротиноидов — 21%, токоферолов — 4,6% от общего их содержания в ягоде (Алексеевко, 2013). По ягодам черники подобных сведений не приводится.

Для увеличения эффективности прессования в работе (Pataro et al, 2017) предложена предварительная обработка ягод голубики в импульсном электрическом поле. Предварительная обработка привела к значительному увеличению выхода сока (на 32%) по сравнению с необработанным образцом. Наблюдалось увеличение содержания антоцианов (на 55%) и антиоксидантной способности (на 41%). Голубика имеет несколько отличающийся нутриентный состав, но несмотря на это данный вид предварительной обработки может стать многообещающим для эффективного извлечения сока и антиоксидантов из ягод черники. Соки прямого отжима подвергают пастеризации, при этом срок годности достигает двух лет (Васюкова & Народов, 2008). Для решения логистических задач ягодные соки концентрируют, при этом применяют щадящие режимы концентрирования, что позволяет максимально сохранить комплекс полезных веществ ягод и многократно увеличить содержание природных компонентов.

Технологии переработки ягод черники, основанные на процессах высушивания

Сушка как метод консервирования ягод основан на прекращении процессов жизнедеятельности микроорганизмов. Для сохранности БАВ черники в настоящее время применяют конвективный, микроволновый, акустический, инфракрасный, вакуумный, сублимационный способы обезвоживания (Karam et al., 2016). Наиболее простым способом высушивания черники является конвективная сушка, основанная на воздействии теплоносителя (горячий воздух, пар) на частицы высушиваемого сырья и удалении смеси теплоносителя и воды. Температура теплоносителя может сильно варьировать (70–120 °С). Недостатками данного способа является длительность процесса высушивания, нежелательные изменения в химическом составе ягод. Согласно литературным данным, при конвективной сушке ягод черники ($t = 80\text{--}90\text{ }^{\circ}\text{C}$) существенно снижается содержание витамина С (на 39%), антоцианов на 19,5% (Худогонова и соавт., 2012; Grimm et al., 2020). Результаты исследований Сайфу-

линой З.Р. показано, что применение конвективной сушки выжимок ягод черники при получении порошка позволило увеличить в нем содержание пектиновых веществ на 28%, моно- и дисахаридов на 39%, витамина С на 33%, титруемых кислот на 37% в пересчёте на а.с.в. При этом, как отмечает автор, содержание антоцианов уменьшилось на 2%, а содержание катехинов не изменилось (Сайфулина, 2003).

Способ сушки в электромагнитных полях заключается в действии высоких и сверхвысоких частот на плоды черники, которые способствуют равномерному прогреванию (глубина проникновения волн составляет около 10 см). Отличительной особенностью данного способа является то, что скорость сушки не зависит от теплопроводности продукта и поэтому не снижается (Четвериков, Моисеев, Лягина, 2016). Поскольку процесс высушивания с применением электромагнитного излучения проходит при относительно низких температурах ($t = 30\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$), в ягодах черники сохраняются БАВ (витамины С, В₁, минеральные вещества, флавоноиды). Из недостатков данного способа можно отметить достаточно низкий коэффициент полезного действия (около 60%), в связи с чем данный способ сушки целесообразно проводить для продуктов с низкой влажностью. Кроме того, воздействие электромагнитных волн ведет к разрушению клеточных оболочек и выделению клеточного сока (Алексеевко и соавт., 2019), поэтому применение СВЧ-энергии для обработки ягод может служить интенсифицирующим фактором при получении сока. Установлено, что СВЧ-энергия способствует увеличению выхода экстрактивных веществ, БАВ и обеспечивает микробиологическую стабильность продуктов переработки черники (Нилова и соавт., 2019). Предложены решения по переработке ягод черники в пищевой продукт, на начальных этапах совмещающие конвективную сушку и применение СВЧ-энергии на стадии досушивания. Разработанный способ позволяет снизить потери биологически активных веществ исходного сырья.

Акустический способ сушки основан на удалении влаги при воздействии ультразвука большой интенсивности (акустическая волна «выталкивает» влагу на поверхность продукта). Основными достоинствами такого вида сушки являются отсутствие повышения температуры в процессе обезвоживания, что исключает негативное действие высоких

температур на термолабильные компоненты ягод черники, а также достаточно высокие скорости высушивания (Макарова и соавт., 2020). Исследований о влиянии ультразвуковых волн на эффективность извлечения сока и БАВ ягод черники в сок, а также их сохранность в настоящий момент не обнаружено, однако, на примере плодов терна, установлено, что при «озвучивании» в течение 10–15 минут увеличивается выход антоцианов в среднем на 20% (Даудова и соавт., 2021). Приводятся сведения о применении УЗ-обработки (мощность ультразвуковых волн 16 кВт) в сочетании с температурой 45–50 °С для обработки ягод клюквы (Алексеенко и соавт., 2019). Показано, что при длительности обработки 15 минут: выход сока увеличивается на 16%, антоцианов — в 1,5 раза, что обуславливает повышение антиоксидантной активности сока на 10%.

Для совершенствования способов сушки используют обезвоживание в условиях вакуума, что позволяет проводить процесс при более низкой температуре и получать продукт с большей степенью сохранности нативных свойств. Вакуумная сушка — процесс удаления влаги при пониженном давлении, способствующем интенсификации удаления влаги за счёт повышения коэффициента массообмена. Нагревание при данном способе могут инициировать инфракрасные лампы, греющие поверхности или СВЧ-источники. Вакуумная сушка с успехом применяется для обезвоживания ягодного сырья. Согласно результатам Дубковой и Тухбиевой (2010) вакуумная сушка черники протекает в 2 раза быстрее контактной, при этом на 3,3% снижены потери антоцианов (Дубкова и соавт., 2010). К недостаткам данного вида обезвоживания можно отнести достаточно большие энергозатраты и высокую стоимость оборудования (Семенов и соавт., 2016). В исследованиях Дубковой и Тухбиевой (2010) предложен новый способ получения порошка из ягод черники. Высушиванию подвергаются ягоды, которые предварительно были заморожены в вакуумном аппарате, объединяющем в себе сушильный шкаф и мельницу, что позволяет одновременно проводить два этапа — высушивание и измельчение (Дубкова и соавт., 2010). Таким образом, существенно снижена температура процесса и продолжительность технологического процесса, что благоприятно отразилось на сохранности нутриентов. Содержание антоцианов в порошке, полученного методом вакуумной сушки, на 4,03% выше,

чем в порошке, полученном способом конвективной сушки (2,23 г/100 г) (Дубкова и соавт., 2010).

Сушка инфракрасными лучами (ИК) является одним из наиболее современных и перспективных способов удаления влаги, основанный на способности молекул воды поглощать инфракрасное излучение определенного спектра. При этом сушка может осуществляться при относительно невысоких температурах ($t = 40–60\text{ °C}$). Источниками ИК-излучения, как правило, выступают ИК-лампы, которые 80% своей энергии переводят в ИК-излучение, чем и объясняется высокая скорость и энергетическая эффективность данного способа (Акулич & Гостинщикова, 2013). Сохранность витаминов в ягодном сырье при данном виде обезвоживания составляет порядка 60–70%, что на 10–20% выше, чем при конвективной сушке (Борисова и соавт., 2008).

Предложен способ термической обработки ягод черники — сушка в поле ИК лучей, обеспечивающий увеличение интенсивности высушивания в 6–8-раз и более по сравнению с существующими способами сушки ягод, снижение потерь сырья, улучшение качества и устойчивости хранения продукта. Полученные результаты станут основой для разработки обогащенных чаев с высокими антиоксидантными свойствами (Микаберидзе и соавт., 2017).

Разработана технология получения порошка черники (массовая доля влаги 6%) из свежей и замороженной ягоды с одновременным использованием вакуумной сушки и вибрационного измельчения в одном устройстве, что способствует интенсификации процесса высушивания (в 2,5 раза по сравнению с конвективной сушкой), сокращению его длительности и сохранению биоактивных антоциановых соединений (Нуриахметова, 2019). При этом отмечается, что размер частиц порошка, произведенного по разработанной технологии, в 5 раз меньше, чем у порошка из ягод, сушеных в атмосферном сушильном шкафу.

Сублимационная сушка (лиофилизация) является одним из самых прогрессивных и эффективных способов сушки, позволяющим получать продукты переработки черники, максимально приближенные по качественным показателям к свежим ягодам. Сущность данного способа сушки заключается в удалении влаги из продукта при давлении ниже тройной точки воды (менее 611,6 Па).

В основу сублимационной сушки положен тот факт, что при таком давлении влага в продукте может присутствовать только в двух агрегатных состояниях — твердом и газообразном. Влага в продукте при этом переходит в кристаллическую фазу и сублимирует в окружающую среду. Одна из специфических особенностей сублимационной сушки заключается в том, что сублимация влаги не вызывает заметных изменений в реологических свойствах ягодного сырья, которое, к тому же, из-за отсутствия условий развития микроорганизмов имеет высокую микробиологическую стабильность. Поскольку большая часть влаги удаляется из сырья в замороженном состоянии, исключается негативное термическое воздействие на макро- и микронутриенты черники. По данным ряда исследований суммарное содержание антоцианинов в ягодах черники, прошедших лиофилизацию, составляет 649 мг/100 г (в пересчете на цианидин-3,5-дигликозид), что на 14,0..31,0% выше, чем в исходном сырье (Бутенко & Подгорная, 2016; Colak et al., 2016; Иванова, 2018).

Для улучшения качества и внешнего вида черники при сублимации, рекомендована предварительная обработка ягод черники CO₂-лазером, за счёт чего, в плодах появляются микроотверстия, которые служат путями оттока водяного пара и процесс сублимации происходит гораздо быстрее, чем без обработки лазером. (Munzenmayer et al., 2020).

В работе (Grimm et al., 2020) предложена циклонная сушка, которая, в отличие от лиофильной и конвективной сушки, зарекомендовала себя как быстрый метод сушки ягод и выжимок, позволяющий отделить семена с помощью простого просеивания. Однако, обращаясь к сохранности антоцианового комплекса установлено, что в образцах, высушенных в циклоне при 90 °C общее содержание полифенолов, было ниже (на 32,5%), чем в образцах, высушенных в неподвижном слое. Это связано с тем, что сок засыхал на стенке циклона, образовывал отложения, что привело к потере материала, богатого полифенолами.

Из рассмотренных технологий по сушке, наиболее перспективным способом обезвоживания с точки зрения сохранности БАВ черники можно считать ИК-сушку и лиофилизацию.

Технологии переработки черники замораживанием

Замораживанию могут подвергаться как целые, так и измельченные ягоды черники. На данный момент различают три основных способа замораживания ягод: статическая заморозка (как правило в холодильной камере), IQG заморозка (Individual Quick Frozen, «шоковая заморозка») и криогенное замораживание (Bilbao-Sainz et al., 2019). Температурные диапазоны замораживания ягод составляют до -14...-60 °C. В ходе замораживания выделяют несколько стадий: охлаждение сырья до 0 °C; переход влаги в твердое агрегатное состояние при 0...-5 °C (подмораживание); домораживание при -5...-60 °C (Сергунова, 2013; Петров и соавт., 2014; Arevström et al., 2019; Конюхова & Меркушева, 2021). В исследованиях Сайфулиной З.Р. продемонстрировано влияние замораживания ягод черники при температуре -24...-30 °C на сохранность природных компонентов ягод. Показано, что потери витамина С составили 17%, каротина — 10%, катехинов и антоцианов — 2,7 и 2,2% соответственно по отношению к свежей ягоде в пересчёте на абсолютно сухие вещества (Сайфулина, 2003). Тем не менее, в работе (Сергунова, 2013) проиллюстрированы преимущества способа замораживания перед конвективной сушкой ягод. Установлено, что статическое замораживание ягод черники ($t = -18...-20$ °C) обеспечивает более полную сохранность биологически активных веществ ягод. Показано, что содержание дубильных веществ, антоцианов и органических кислот в замороженных ягодах выше на 26,7%, 44,1%, 30,0% соответственно, чем в высушенных ($t = 60-80$ °C) (Сергунова, 2013). Показано, что предварительное замораживание ягод черники как консервирования скоропортящегося продукта перед комплексной переработкой позволяет увеличить содержание биоактивных полифенольных соединений в 2 раза и антиоксидантную активность (в системе линолевая кислота) — на 38,4% по сравнению с исходной ягодой (Макарова и соавт., 2012). Как отмечают авторы, заморозка (в стационарных морозильных камерах при температуре — 18 °C) позволяет получить продукт, который характеризуется более высокими показателями по содержанию фенольных веществ и флавоноидов (в 2,4 и 1,15 раза соответственно) и проявляет антиоксидантную активность на уровне свежей ягоды. В работе Бутенко Л. И. и Подгорной Ж. В. проведена оценка перспектив криообработки ягод черники с позиции сохран-

ности антоцианового комплекса ягод. Установлено, что подобная обработка не сопровождается существенными потерями антоцианов, причем в сравнении с другими ягодами (черная смородина, клубника, вишня, малина) максимальная их сохранность обнаруживается в ягодах черники (Бутенко & Подгорная, 2016). Технология «шоковой» заморозки позволяет заморозить ягоды за минимальное время в потоке холодного воздуха. На примере других дикорастущих ягод (облепиха, кизил, ежевика, мушмула) в исследовании Гусейновой Б. М., установлено влияние «шоковой» заморозки на пищевую ценность ягод: сохранность витаминов С и Р, титруемых кислот, фенольных и пектиновых соединений, минеральных веществ составила 70–90 % (Гусейнова, 2017).

Приводятся сведения о применении вымораживания при получении концентрированного сока черники из замороженного полуфабриката черники. Концентрированный сок отличается высокой пищевой и энергетической ценностью, которая обусловлена высоким содержанием сухих веществ 30 %, большая часть которых представлена углеводами — 72 %, выявлены значимые количества витамина С — 155 мг/100 г а.с.в., катехинов и антоцианов — 2249,3 мг/100 г и 7806 мг/100 г в пересчете на абсолютно сухие вещества соответственно. При этом автор отмечает, что применение вымораживания как технологического приема сопровождается уменьшением содержания антоцианов и катехинов на 17 % и 18 % соответственно. (Сайфулина, 2003)

Технологии переработки черники, основанные на кавитационных процессах

Кавитационные процессы — физические процессы, объединяющие в себе механическое, термическое и барометрическое воздействия при минимальных затратах на их создание. Существует несколько способов создания кавитации: ультразвуковой или акустический (кавитация создается за счет понижения давления, вызванного прохождением звуковой волны в обрабатываемой среде) и гидродинамический (кавитация возникает в жидкости при условии уменьшения давления вследствие роста местных скоростей потока) (Федоткин и соавт., 1998; Poiana et al., 2012). Бессараб А. С., Дашковский Ю. А. и Пахомова Е. Ю. провели сравнительную оценку традиционной технологии черничного

пюре (гомогенизация свежих ягод) и предложенной ими — с использованием гидродинамической установки типа ТЕК-СМ. Результаты исследования демонстрируют, что при использовании гидродинамических процессов отсутствует необходимость в стадиях бланширования и предварительного измельчения сырья. Показано, что гомогенизация, деаэрация и пастеризация продукта проходят в одном аппарате, что исключает многоступенчатость процесса, а, следовательно, и потери биологически активных веществ из-за окислительных процессов. При сравнении содержания фенольных соединений в пюре, полученных по традиционной и разработанной технологиям, выявлено, что их количество увеличилось на 7 % по сравнению с содержанием в исходном сырье. Применение традиционной технологии сопровождалось уменьшением количества полифенолов на 1 % по сравнению с разработанной (Бессараб и соавт., 2013).

Технологии переработки черники, базирующиеся на экстракционных процессах

Способы экстракции растворителями (водно-спиртовыми растворами, ацетоном) применимы в первую очередь к таким продуктам переработки черники, как выжимки. В работе (Aura et al., 2015) было исследовано влияние различных температур экстракции (22, 40, 60, 80 и 100 °C) в сочетании с разным временем экстракции (4, 15, 30 и 45 мин) на водную экстракцию фенольных соединений из жома черники. Установлено, что содержание антоцианов в экстрактах составило 47 до 313 мг/100 г прессового остатка, что соответствует 10–68 % от содержания антоцианов в исходном сырье. Предложены способы ультразвуковой экстракции, микроволновой гидродиффузионной и гравитационной экстракции, импульсной экстракцией в электрическом поле (Ravi et al., 2018). Наибольшее содержание антоцианов ($98,46 \pm 4,92$ мг/100 г) было отмечено в экстрактах полученных комбинированным способом в импульсном электрическом поле с последующей горячей экстракцией водно-спиртовыми растворами (Ravi et al., 2018). Сверхкритическую (SC) и субкритическую (SubC) экстракцию диоксидом углерода использовали для улучшения экстракции и селективности выхода биоактивных соединений черники. Чернику экстрагировали SC CO₂, а затем SubC CO₂ с 10 % раствором этанола в качестве соразтворителя. Суммарное

содержание фенолов при SubC-CO₂ + 10 % раствор этанола составило 72,18 (±1,13) мг/г антоцианов в пересчете на а.с.в. Экстракты SubC CO₂ показали высокую антиоксидантную активность (DPPH IC₅₀ = 102,66 (±2,64); ABTS IC₅₀ = 8,49 (±0,41) и восстановительную силовую активность IC₅₀ = 10,30 (±0,10)). Экстракция черники SubC-CO₂ является эффективным методом селективного извлечения соединений с высокой антиоксидантной активностью и высоким потенциалом для фармакологического применения (Aaby et al., 2013; Babova et al., 2016).

Биотехнологическое направление переработки черники

Перспективными на сегодняшний день следует считать технологии, предполагающие использование ферментных препаратов (ФП) при переработке ягодного сырья в целевые продукты и ягодные полуфабрикаты. В настоящее время накоплен достаточно большой опыт по применению ФП в технологиях переработки плодов и ягод: Pectinex BEXXL, PectinexUltra SP-L компании Novozymes (Дания) (Кузьмина и соавт., 2017); Laminex BG2 (производитель — Genencor International BVBA, Бельгия), Фруктозим П-6Л (производитель — Erbsloeh Geisenheim AG, Германия) (Алексеев и соавт., 2019; Хасанов & Баракова, 2021); препараты целлюлолитического и гемицеллюлитического действия: Целловиридин Г20Х (производитель — производственное объединение «Сиббиофарм», г. Бердск, Российская Федерация); Целлюкласт 1,5L (оригинальное название — Celluclast 1,5 L) (производитель — Novozymes A/S, Дания); Брюзайм BGX (оригинальное название — BrewZyme BGX) (производитель — Polfa Tarchomin Pharmaceutical Works S.A., Польша) (Ивашенко, 2015); композиции ферментных препаратов пектолитического и глюканолитического действия: Рапидаза CR- Laminex BG2 (МЭК) (Быстрова & Алексеев, 2017).

Ферментные препараты с успехом используются в соковом производстве. Применение высокоспецифичных ферментных препаратов позволяет деликатно воздействовать на растительную ткань и провести расщепление структурных элементов клетки, что способствует улучшению процессов сокоотдачи и интенсификации процессов экстракции биологически активных веществ ягод в сок (Быстрова

& Алексеев, 2017). Доказана эффективность применения ФП пектолитического и целлюлолитического действия для обработки ягод брусники (Быстрова & Алексеев, 2017), клюквы (Алексеев & Бакуменко, 2019), черной и красной смородины и пр. (Кузьмина и соавт., 2017). Авторами показано, что предварительная ферментативная обработка ягод способствует увеличению выхода сока на 20...26 %, природных компонентов ягод — в 1,1...2,5 раза, антиоксидантной активности соков в 1,4 раза. Предложен способ получения полуфабриката из тыквы и облепихи с повышенным содержанием пектина посредством обработки ФП пектолитического, целлюлолитического и гемицеллюлазного действия (Ивашенко, 2015). Применение ФП позволяет выделить пектин с высокими качественными характеристиками, повысить его содержание в полуфабрикате в 1,5–2,0 раза, снизить себестоимость продукции, его энергоемкость и сохранить максимальное количество биологически активных веществ сырья.

Приводимые данные по переработки клюквы, брусники, тыквы и облепихи в условиях ферментативного гидролиза носят обзорный характер, так как сырье имеет отличительный от черники компонентный состав. Информация по применению ФП в технологиях переработки ягод черники в литературных источниках представлена ограниченным количеством публикаций. Приводятся сведения об эффективном применении пектолитического ферментного препарата PectinexUltra SP-L для обработки ягод черники при получении сока (Кузьмина и соавт., 2017). В работе Koronen J. В и других показано, что применение ферментных препаратов Econase CE (AB Enzymes, Rajamki, Finland), Biopectinase CCM (Carrigaline, Ireland), Pectinex Smash XXL (Novozymes, Denmark), Pectinex BE-3L (Novozymes, Switzerland) при переработке ягод черники значительно увеличили выход сока ($p < 0,001$) во всех опытах по сравнению с контрольной обработкой (без ферментов). Все ферментные препараты увеличили выход сока более чем на 72 %, за исключением Econase CE (целлюлаза) (Koronen et al., 2008).

Недавние исследования показывают, что среди новых технологий ферментативный катализ привлекает внимание как экологически чистый, устойчивый метод экстракции для извлечения антиоксидантных соединений из побочных продуктов

черники (Lizárraga-Velázquez et al., 2020; Costa et al., 2020). По сравнению с традиционными методами ферментативная обработка предлагает значительные преимущества, такие как более высокий выход при более коротком времени экстракции, меньшее количество растворителя и потребление энергии (Puri et al., 2012; Gil-Chávez et al., 2013; Sagar et al., 2018). Тем не менее, получение экстрактов с более высокими выходами и улучшенными свойствами требует более глубокого понимания гидролитических свойств применяемых ферментов и физико-химических взаимодействий с сырьем. По этим причинам критические параметры ферментативной обработки, такие как pH, температура и концентрация ферментов, которые влияют на высвобождение биоактивных веществ, требуют оптимизации для каждого конкретного процесса.

Тем не менее, несмотря на ограниченную информацию, возможности и достоинства применения биотехнологических приемов, продемонстрированные на примере других ягодных культур, позволяют уверенно говорить о перспективах использования ФП при переработке ягод черники в целевые продукты и полуфабрикаты. Принимая во внимание уникальный химический состав ягод, представляет интерес более подробно осветить вопросы, касающиеся изучения влияния ферментативной обработки ягод черники в комбинации с другими прогрессивными способами на химический состав, трансформацию полифенольных комплексов, антиоксидантную активность и другие потребительские качества целевых продуктов или полуфабри-

катов из ягод черники. Данный факт, несомненно, свидетельствует о необходимости проведения исследований в указанном направлении.

Технологии комплексной и глубокой переработки черники

Одним из прогрессивных путей переработки ягод черники является разработка и внедрение глубокой и комплексной технологий, минимизирующих образование отходов. Технологии глубокой переработки ягод основаны на комплексном внедрении современных технологий измельчения, фракционирования, сушки, замораживания, экстрагирования ягодного сырья (Oliveira et al., 2019; Höglund et al., 2018). Они решают вопросы использования вторичных продуктов её переработки: выжимок и мезги (Aura et al., 2015; Höglund et al., 2018; Karam et al., 2016). Черничные выжимки составляют до 20–30 % от исходной массы ягод черники и включают в себя кожицу, мякоть, семена и съедобные части плодоножек, содержат витамины, клетчатку, полифенолы (в т.ч. антоцианы) (Aura et al., 2015). Несмотря на высокое содержание ценных соединений, выжимки считаются отходом и обычно перерабатываются в корма для животных, компостируются или утилизируются из-за проблем, связанных с коротким сроком хранения, текстурой и вкусом. В Таблице 2 приведены сводные данные по содержанию пищевых и биологически активных веществ в свежих ягодах и в продуктах их переработки: замороженные ягоды подвергались

Таблица 2

Изменение химического состава черники в процессе её переработки

Показатели	Свежие ягоды	Замороженные	Сок натуральный	Сок концентрированный	Выжимки	Порошок
Массовая доля влаги, %	85,37 ± 0,21	84,26 ± 0,31	—*	29,70	30,44 ± 1,0	8,19 ± 0,6
Углеводы (моно- и дисахариды), %	8,19 ± 0,17	8,61 ± 0,19	7,70 ± 0,51	21,60 ± 0,21	7,17 ± 0,23	24,4 ± 0,66
Крахмал, %	—*	—*	—*	—*	—*	4,70
Клетчатка, %	3,1 ± 0,50	—*	—*	—*	—*	18,60
Пектиновые вещества, %	2,68 ± 0,05	2,26 ± 0,18	—*	—*	2,12 ± 0,22	3,84 ± 0,36
Органические кислоты, %	1,00 ± 0,04	1,28 ± 0,04	—*	—*	—*	—*
Витамин С, мг/100 г	40,19 ± 0,48	35,83 ± 1,28	25,59 ± 0,98	46,51 ± 2,08	8,91 ± 1,47	17,7 ± 1,0
Каротин, мг/100 г	0,52 ± 0,02	0,50 ± 0,02	—*	—*	—*	—*

Показатели	Свежие ягоды	Заморожен- ные	Сок натураль- ный	Сок концен- трированный	Выжимки	Порошок
Катехины, мг/100 г	505,68 ± 18	558,60 ± 12	375,11 ± 36	674,78 ± 29	536,6 ± 15	702,9 ± 19
Антоцианы, мг/100 г	1782,47 ± 28	1875,30 ± 17	1634,19 ± 71	2341,89 ± 65	2216 ± 35	2855 ± 82
Титруемая кислотность, %	0,39	—*	1,42 ± 0,02	2,67 ± 0,09	0,81 ± 0,05	2,82 ± 0,04
Сухие вещества, %	51,40	—*	10,11 ± 0,48	82,40	—*	10,00 ± 2,00
Натрий, мг/кг	19,7 ± 0,02	—*	—*	—*	—*	—*
Калий, мг/кг	266,8 ± 0,2	—*	—*	—*	0,3 ± 0,01	0,28 ± 0,01
Кальций, мг/кг	16,4 ± 0,04	—*	—*	—*	0,03 ± 0,001	0,16 ± 0,01
Магний, мг/кг	6,4 ± 0,02	—*	—*	—*	10,1 ± 0,01	22,9 ± 0,02
Марганец, мг/кг	41,6 ± 0,13	—*	—*	—*	66,3 ± 0,11	68,8 ± 0,03
Фосфор, мг/кг	21,3 ± 0,01	—*	—*	—*	0,04 ± 0,03	0,23 ± 0,01
Железо, мг/кг	7,1 ± 0,03	—*	—*	—*	11,8 ± 0,02	47,1 ± 0,14
Кобальт, мг/кг	следы	—*	—*	—*	0,04 ± 0,01	0,01 ± 0,001

Примечание. Из «Товароведно-технологическая характеристика дикорастущих черники и калины и продуктов их комплексной переработки [Кандидатская диссертация, Сибирский университет потребительской кооперации]», З. Р. Сайфулина, 2003.

«Исследование черники», Н. Н. Типсина, Н. Ю. Яковчик, 2013, *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (11), с. 283–285.

статическому замораживанию при температуре –24....–30 °С, сок натуральный получен путём прессования свежих ягод черники, концентрированный сок — путём криоконцентрирования ($t = -24\text{ °C}$) сока до содержания сухих веществ 30 %, порошок черники был получен при помощи распылительной сушки выжимок черники, оставшихся после прессования ($t = 55\text{ °C}$) (Сайфулина, 2003; Типсина & Яковчик, 2013).

Исходя из данных Таблицы 1, можно судить о некоторых закономерностях изменений нутриентного состава ягод черники в процессе их переработки. Содержание углеводов моно- и дисахаридов $24,4 \pm 0,06\text{ г/100 г}$, пектиновых веществ $3,84 \pm 0,36\text{ г/100 г}$ и клетчатки $18,62\text{ г/100 г}$. Как известно, биологически активные вещества в процессе переработки (в основном за счёт термических воздействий) разрушаются. Однако, на основании приведённых результатов, флавоноидный комплекс черники не только сохраняется, но и отмечено увеличение содержание отдельных его представителей: в концентрированном соке на 33,4 % выше содержание катехинов и на 31,4 % — антоцианов, чем в свежих ягодах. На 79 % и на 43 % больше соответственно, чем в натуральном соке. Витамин

С крайне неустойчив и быстро разрушается при нагревании и воздействии внешних условий, но, как видно из таблицы, в замороженных ягодах и соках концентрированном и натуральном, варьируется от 25 до 46 мг/100г, в то время как в выжимках и в порошке 8,9 и 17,7 мг/100г соответственно. Изменения, касающиеся микронутриентного состава в процессе переработки, изучены на сегодня недостаточно. По совокупности показателей, характеризующих изменения в химическом составе ягод и продуктов переработки черники, установлено, что наиболее перспективным способом переработки ягод черники, с точки зрения сохранности пищевых и биологически активных веществ, является распылительное высушивание с получением порошка. Результатами проведенных исследований убедительно показано, что образующиеся в ходе традиционного технологического процесса получения соков вторичные продукты — выжимки представляют несомненный интерес для пищевиков-технологов, поскольку являются источником полезных для здоровья человека компонентов, в том числе пищевых волокон, эссенциальных и минорных веществ и могут быть использованы как самостоятельно в составе рецептур пищевых продуктов, так и служить сырьевой базой для полу-

чения пектина, природных красителей и антиоксидантов (Aaby et al., 2013; Aura et al., 2015; Babova et al., 2016; Громова и соавт., 2021).

Предложена энерго- и ресурсоэффективная технология получения порошка из выжимок ягод черники после производства сока, где выжимки сушат при температуре 55 °С, затем измельчают. Здесь неоспоримыми преимуществами технологии получения порошка из черники являются сокращение продолжительности технологического цикла, приемлемая конечная дисперсность и сохранность антоцианов в готовом продукте (по сравнению с конвективной сушкой) (Нуриахметова, 2019). Исследованы режимы получения водных экстрактов из выжимок ягод черники с применением СВЧ-энергии (Нилова и соавт., 2019). Установлено влияние СВЧ-обработки на оптические характеристики полученных экстрактов, обусловленные присутствием антоцианов, что можно использовать для оптимизации гидро модуля и режимов экстракции для выделения природных красителей. Показана принципиальная возможность выделения антоциановых пигментов из выжимок ягод черники (Школьников & Аверьянова, 2021). Исследован профиль антоциановых соединений экстрактов выжимок ягод черники в сравнении с экстрактами свежих ягод. Показано, что именно выжимки являются предпочтительным сырьевым ресурсом для получения природных красителей. Разработана технология и принципиальная технологическая схема получения качественного красителя с высоким содержанием красящих пигментов из выжимок ягод черники, предварительно замороженных при температуре минус 18 °С, предполагающая спиртовую экстракцию и концентрирование до содержания сухих веществ 50–60 %. Включение стадии предварительного замораживания позволяет повысить степень экстракции антоциановых красителей.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Разнообразие продуктов переработки черники, широко используемых в пищевой промышленности, отличающихся функциональными и технологическими свойствами, обуславливает необходимость полного и детального изучения особенностей тех-

нологических режимов и способов обработки свежих плодов черники. На основании проведенного анализа и обобщения информации, представленной в проведенных исследованиях, можно представить следующую классификацию способов переработки ягод черники: технологии, основанные на физических и химических процессах: прессование (Сайфулина, 2003; Васюкова & Народов, 2008; Oliveira et al., 2019; Конюхова & Меркушева, 2021); высушивание: конвективная (в том числе распылительная), инфракрасная, микроволновая, акустическая, вакуумная, сублимационная и циклонная сушка (Дубкова & Тухбиева, 2010; Борисова и соавт., 2008; Karam et al., 2016; Семенов и соавт., 2016; Бутенко & Подгорная, 2016; Микаберидзе и соавт., 2017; Иванова, 2018; Нилова и соавт., 2019; Даудова и соавт., 2021); замораживание: статическое, шок-овое и криогенное (Сайфулина, 2003; Сергунова, 2013; Гусейнова, 2017; Arevström et al., 2019; Конюхова & Меркушева, 2021); кавитация: ультразвуковая и гидродинамическая обработка (Федоткин и соавт., 1998; Poiana et al., 2012; Бессараб и соавт., 2013); обработка импульсным полем (Pataro et al., 2017); экстракция: экстракция растворителями, микроволновая гидродиффузия и гравитация, ультразвуковая экстракция, экстракция в электрическом импульсном поле, экстракция углекислым газом под давлением (Aaby et al., 2013; Babova et al., 2016; Ravi et al., 2018); технологии, основанные на биохимических процессах: ферментация (Кузьмина и соавт., 2017; Puri et al., 2012; Gil-Chávez et al., 2013; Sagar et al., 2018); комплексные технологии (Нуриахметова, 2019; Нилова и соавт., 2019; Школьников & Аверьянова, 2021); технологии глубокой переработки (Aura et al., 2015; Karam et al., 2016; Oliveira et al., 2018; Höglund et al., 2018; Eliasson et al., 2019).

На сегодняшний день традиционные технологии, основанные на процессах прессования, сушки, замораживания и консервирования не способны отвечать современным вызовам и реалиям развития отечественной перерабатывающей индустрии. Выявлено, что наиболее перспективными способами, с точки зрения сохранности комплекса биологически активных веществ черники и интенсивности протекания технологических процессов, являются сублимационная сушка, «шоковое» замораживание. Данные способы позволяют получить продукты с минимальными потерями сырья и с максимальным сохранением витаминно-минеральных

и антоциановых комплексов черники. Особый интерес представляют комплексные технологии, базирующиеся сразу на нескольких физических и физико-химических процессах. Анализ данных также позволил определить проблемное поле: исследований, посвященных переработке черники с использованием методов и приемов биотехнологии в настоящее время проведено крайне мало. Эффективность биотрансформации на данный момент оценена на примере целого перечня ягод, за исключением черники. Таким образом, выжимки черники представляет собой важный и привлекательный источник фенольных соединений для использования в пищевых продуктах.

ВЫВОДЫ

Настоящий обзор послужил для анализа и систематизации современных технологических решений по переработке ягод черники в целевые продукты или полуфабрикаты с позиции разнообразия их технологических форм и наиболее полного использования природного состава ягод. Реализация поставленной цели позволила выявить достоинства предлагаемых решений, перспективы развития и совершенствования научных разработок в этом направлении. Сегодня технологии, основанные на механическом воздействии на ягодное сырье, высокотемпературном обезвоживании при атмосферном давлении существенно уступают технологиям, реализующимся при пониженном давлении, использовании ИК-излучения, акустических и микроволновых воздействиях. Последний, как показали исследования, позволяют не только интенсифицировать процесс переработки черники, но и, что наиболее важно, максимально сохранить витаминно-минеральный и антоциановый комплекс черники.

ЛИТЕРАТУРА

- Акулич, А. В., & Гостинщикова Л. А. (2013). Исследование кинетики процесса сушки ягодного сырья при различных способах энергоподвода. *Пищевая наука и технология*, (2), 112–115.
- Алексеев, Е. В. (2013). *Инновационные технологии переработки ягодного сырья: Научные и прикладные аспекты* [Докторская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. Москва, Россия.
- Алексеев, Е. В., Бакуменко, О. Е., Азарова, М. М., Исабаев, И. Б., & Курбанов, М. Т. (2019). Влияние предварительной обработки ягод клюквы на экстракцию антоциановых пигментов, выход сока и его антиоксидантную активность. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 10–27. <https://dx.doi.org/10.36107/spfr.2019.200>
- Белова, Е. А., Тритэк, В. С., & Шульгау, З. Т. (2020). Изучение фенольных соединений ягод трех видов растений рода
- Наиболее перспективным способом переработки черники, основанном на удалении влаги, можно считать сублимационную сушку. Помимо этого, большой потенциал имеют технологии, основанные на процессах замораживания, в частности технология «шоковой» заморозки. Однако технологии, в основе которых лежит один физический или физико-химический процесс, не дают таких высоких результатов как комбинированные способы и глубокая переработка черники. Именно указанные способы сегодня являются наиболее инновационными и эффективными. Технологии, подразумевающие использование высокоспецифичных ферментных препаратов, в особенности комплексного действия, сегодня изучены недостаточно, применительно к ягодам черники, однако они имеют большой потенциал при переработке черники в продукты, обладающие функциональными свойствами. Данный вопрос на сегодняшний день требует проведения дальнейших научных исследований.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Алексеев Елен Викторовна — формулирование исследовательских целей и задач, разработка или проектирование методологии исследования, подготовка и создание рукописи, её комментирование или пересмотр, ответственность за управление и координацию.

Каримова Наталья Юрьевна — подготовка и создание черновика рукописи, в частности написание первоначального текста рукописи.

Цветкова Алёна Андреевна — подготовка и создание черновика рукописи, в частности написание первоначального текста рукописи.

- Vaccinium, произрастающих в Ханты-Мансийском автономном округе. *Химия растительного сырья*, (1), 107–116. <https://dx.doi.org/10.14258/jcprm.2020014534>
- Бессараб, А. С., Дашковский Ю. А., & Пахомова Е. Ю. (2013). Инновационные материалосберегающие, малоэнергоёмкие процессы производства гомогенизированных продуктов и полуфабрикатов. *Пищевая промышленность: наука и технологии*, (3), 69–77.
- Борисова, Т. В., Золотина, В. Г., & Левин, Б. Д. (2008). *Основные свойства пищевого сырья, полуфабрикатов продуктов*. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет.
- Бутенко, Л. И., & Подгорная, Ж. В. (2016). Исследования антоцианового комплекса ягод, прошедших криообработку. *Успехи современного естествознания*, 11(1), 14–17.
- Быстрова, Е. А., & Алексеенко, Е. В. (2017). Исследование компонентного состава фенольных соединений и антиоксидантной активности брусничного сока. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 7(3), 19–26. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2017-7-3-19-26>
- Васяров, Г. Г., Дробь, А. А., Титова, Е. В., & Староверов, С. М. (2019). Кластерный анализ антоцианов черники методом ВЭЖХ. *Сорбционные и хроматографические процессы*, 16(4), Статья 1374.
- Васюкова, А. Т., & Народов, А. (2008). Современные направления использования дикорастущих растений для пищевых целей. *Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики*, (2), 136–138.
- Воробьева, И. В. (2015). Современные данные о роли антоцианозидов и флавоноидов в лечении заболеваний глаз. *Вестник офтальмологии*, (5), 104–108. <https://doi.org/10.17116/oftalma20151315104-108>
- Гольдина, И. А., Сафронова, И. В., & Гайдун, К. В. (2015). Полифенольные соединения черники: особенности биологической активности и терапевтических свойств. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, (10), 221–228.
- Громова, И. А., Воронина, М. С., & Макарова, Н. В. (2021). Исследование химических характеристик продуктов и отходов переработки ягод черники и чёрной смородины. *Химия растительного сырья*, (1), 251–257. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021017020>
- Гусейнова, Б. М. (2017). Влияние быстрого замораживания и последующего холодного хранения на пищевую ценность плодов дикоросов. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, (3), 127–137.
- Даудова, Т. Н., Исригова, Т. А., Даудова, Т. А., & Омарова, М. М. (2021). Интенсификация экстракции антоциановых красителей ультразвуковой обработкой дикорастущих плодов. *Проблемы развития АПК региона*, (1), 160–163.
- Дубкова, Н. З., & Тухбиева, Э. Х. (2010). Технология получения порошка из ягод черники. *Техника и технология пищевых производств*, (2), 65–69.
- Иванова, О. В. (2018). Черника и ее антоцианы. В *Научные исследования и разработки 2018: XXXIV Международная научно-практическая конференция* (с. 15–16). Астрахань: Олимп.
- Иващенко, М. В. (2015). Факторы, влияющие на ферментацию пектинсодержащего растительного сырья. В *Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: Материалы конференции* (с. 305–308). СПб: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики.
- Каржавина, Е. Р., Беспамятных, С. А., & Каржавин, И. А. (2015). Современные способы получения сока из дикорастущего ягодного сырья Уральского региона. В *Инновационные технологии в сфере питания, сервиса и торговли: Сборник статей III Международной научно-практической конференции* (с. 65–70). Екатеринбург: Уральский государственный университет.
- Конюхова, О. М., & Меркушева, Н. Н. (2021). Изучение состава биологически активных веществ в дикорастущих ягодах рода *Vaccinium* в зависимости от условий хранения. *Вестник Поволжского государственного технологического университета*, (3), 100–108. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2021.3.100>
- Коренева, И. В. (2013). Исследование химического состава и безопасности продуктов переработки черники и использование ее в кондитерской промышленности. В *Молодежь и наука: Сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 385-летию со дня основания г. Красноярска* (Статья 014). Красноярск: Сибирский федеральный университет.
- Кузьмина, Н. А., Болотова, К. С., Новожилов, Е. В., Фалев, Д. И., Емельянова, М. В., & Канарская, З. А. (2017). Влияние ферментации и лиофильного высушивания на сохранность витаминов и каротина в ягодах соках. *Вестник Технологического университета*, 20(6), 154–156.
- Куркин, В. А., Рязанова, Т. К., & Петрухина, И. К. (2011). *Черника обыкновенная: современные подходы к стандартизации сырья и созданию лекарственных препаратов*. Самара: Офорт.
- Лозовская, Т. С., & Осипова, Л. А. (2011). Биологически активные вещества плодово-ягодного сырья, перспективного для производства напитков и вин. *Виноградарство и виноделие*, 41(2), 112–114.
- Магомедов, Г. О., Саввин, П. Н., Плотникова, И. В., & Бакулина, О. В. (2016). Применение натурального черничного красителя в производстве сливочного крема. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, (1), 116–121. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-1-116-121>
- Макарова, Н. В., & Еремеева, Н. Б. (2020). Сравнительное изучение ультразвуковых воздействий на экстракцию антиоксидантных соединений ягод черники (*Vaccinium Myrtillus L.*). *Химия растительного сырья*, (1), 167–177. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020014425>
- Макарова, Н. В., Стрюкова, А. Д., & Чигирёва, А. В. (2012). Влияние замораживания на антиоксидантную активность ягод. *Пищевая промышленность*, (6), 44–46.

- Микаберидзе, М. Ш., Чакветадзе, Ш. М., & Пруидзе, М. Р. (2017). Интенсификация процессов сушки ягод в поле ИК лучей. *Аэкономика: Экономика и сельское хозяйство*, (8), 5–14.
- Нилова, Л. П., Икрамов, Р. А., & Малютенкова, С. М. (2019). Влияние СВЧ-нагрева на оптические характеристики ягодных экстрактов. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 81(1), 218–224. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-218-224>
- Нуриахметова, И. А. (2019). Инновационная технология получения порошка черники, богатого антоцианами. *Пищевые технологии и биотехнологии*, (1), 181–185.
- Петров, А. Н., Шишкина, Н. С., & Карастоянова, О. В. (2014). Применение высокоэффективных технологий быстрого замораживания растительной продукции для реализации и создания резерва продовольствия. *Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд*, 2(2), 186–193.
- Рензязева, Т. В., Тубольцева, А. С., Понкротова, Е. К., Луговая, А. В., & Казанцева, А. В. (2014). Функционально-технологические свойства порошкообразного сырья и пищевых добавок в производстве кондитерских изделий. *Техника и технология пищевых производств*, (4), 43–49.
- Сайфулина, З. Р. (2003). *Товароведно-технологическая характеристика дикорастущих черники и калины и продуктов их комплексной переработки* [Кандидатская диссертация, Сибирский университет потребительской кооперации]. Новосибирск, Россия.
- Семенов, Г. В., Краснова, И. С., & Петков, И. И. (2017). Выбор режимных параметров вакуумной сублимационной сушки сухих термолабильных материалов с заданным уровнем качества. *Вестник Международной академии холода*, (1), 18–24. <https://dx.doi.org/10.21047/1606-4313-2017-16-1-18-24>.
- Сергунова, Е. В. (2013). Способ консервации и содержание биологически активных веществ в плодах и отварах черники. *Фармация*, (6), 21–23.
- Типсина, Н. Н., & Яковчик, Н. Ю. (2013). Исследование черники. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (11), 283–285.
- Типсина, Н. Н., Мучкина, Е. Я., Струпан, Е. А., & Коршунова, Т. В. (2010). Исследование пищевой ценности порошка черники обыкновенной. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (5), 158–162.
- Фрум, А., Жеоржеску, Ч., Быркэ, А. Г., Глигор, Ф. Г., & Тицэ, О. (2016). Исследование качественного и количественного состава фенольных соединений черники (*Vaccinium Myrtillus* L.) как сыр для пищевой и фармацевтической промышленности. *Научный результат. Технологии бизнеса и сервиса*, (2), 53–59. <https://doi.org/10.18413/2408-9346-2016-2-4-53-59>
- Хасанов, А. Р., & Баракова, Н. В. (2021). Исследование влияния дозы внесения ферментных препаратов на выход полифенольных веществ и антоцианов в плодово-ягодных и овощных соках. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 83(2), 61–64. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-2-61-66>
- Худоногова, Е. Г., Худоногов, И. А. & Худоногов, А. М. (2012). Влияние инфракрасно-конвективно-вакуумного способа сушки на содержание биологически активных веществ в лекарственном растительном сырье. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (5), 343–346.
- Четвериков, Е. А., Моисеев, А. П., & Лягина, Л. А. (2016). Совершенствование способов возбуждения электромагнитного поля СВЧ-диапазона в установках сушки сельскохозяйственной продукции стационарного типа. *Аграрный научный журнал*, (6), 70–72.
- Школьников, М. Н., & Аверьянова, Е. В. (2021). Выжимки ягодного сырья как источник антоциановых красителей. *XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*, 10(1), 117–121.
- Aaby, K., Grimmer, S., & Holtung, L. (2013). Extraction of phenolic compounds from bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) press residue: Effects on phenolic composition and cell proliferation. *Food Science and Technology*, 54(1), 257–264. <https://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.031>
- Aliman, J., Michalak, I., Busatlic, E., Aliman, L., Kulina, M., Radovic, M., & Hasanbegovic, J. (2020). Study of the physicochemical properties of highbush blueberry and wild bilberry fruit in central Bosnia. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44(2), 156–168. <https://dx.doi.org/10.3906/tar-1902-36>
- Ancillotti, C., Ciofi, L., Pucci, D., Sagona, E., Giordanii, E., Bircolli, S., Gori, M., Petrucci, W. A., Giardi, F., Bartoletti, R., Chiuminatto, U., Orlandini, S., Mosti, S., & del Bubba, M. (2016). Polyphenolic profiles and antioxidant and anti-radical activity of Italian berries from *Vaccinium myrtillus* L. and *Vaccinium uliginosum* L. subsp. *gaultherioides* (Bigelow). S.B. Young. *Food Chemistry*, 204, 176–184. <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.106>
- Arevström L., Bergh, C., Landberg, R., H., Wu, H., Rodriguez-Mateos, A., Waldenborg, M., Magnuson, A., Blanc, S., & Frobert, O. (2019). Freeze-dried bilberry (*Vaccinium myrtillus*) dietary supplement improves walking distance and lipids after myocardial infarction: an open label randomized clinical trial. *Nutrition Research*, 62, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2018.11.008>
- Aura, A. M., Holopainen-Mantila, U., Sibakov, J., Kössö, T., Morkkila, M., & Kaisa, P. (2015). Bilberry and bilberry press cake as sources of dietary fibre. *Food & Nutrition Research*, 59(11), Article 28367. <https://doi.org/10.3402/fnr.v59.28367>
- Babova, O., Capuzzo, A., & Maffei, A. M. (2016). Extraction of bilberry (*Vaccinium myrtillus*) antioxidants using supercritical/subcritical CO₂ and ethanol as co-solvent. *Journal of Supercritical Fluids*, 107, 358–363. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.09.029>
- Bilbao-Sainz, C., Thai, S., Sinrod, A. J. G., Chiou, B. S., & McHugh, T. (2019). Functionality of freeze-dried berry powder on frozen dairy desserts. *Journal of Food Process-*

- ing and Preservation, 43(9), Article e14076. <https://dx.doi.org/10.1111/jfpp.14076>
- Colak, N., Primetta, A. K., Riihinen K. R., Jaakola, L., Gruz, J., Strnad, M., Torun, H., & Ayaz, F. A. (2017). Phenolic compounds and antioxidant capacity in different-colored and non-pigmented berries of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). *Food Bioscience*, 20, 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.06.004>
- Colak N., Torun H., Gruz J., Strnad M., Hermosín-Gutiérrez I., & Hayirlioglu-Ayaz S., & Ayaz, F. A. (2016). Bog bilberry phenolics, antioxidant capacity and nutrient profile. *Food Chemistry*, 201, 339–349. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.062>
- Costa, J. R., Tonon, R. V., Cabral, L., Gottschalk, L., Pastrana, L., & Pintado, M. E. (2020). Valorization of agricultural lignocellulosic plant byproducts through enzymatic and enzyme-assisted extraction of high-value-added compounds: A Review. *ACS Sustain. Chemical Engineering Journal*, 8, 13112–13125. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c02087>
- Diez-Sanchez, E., Quiles, A., & Hernando, I. (2021). Use of Berry Pomace to Design Functional Foods. *Food Reviews International*, 2021, 201–217. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2010217>
- Eliasson, L., Oliveira, G., Ehrnell, M., Höglund, E., & Alminger, M. (2019). Tailoring bilberry powder functionality through preprocessing and drying. *Food Science & Nutrition*, 7(4), 1379–1386. <https://doi.org/10.1002/fsn3.972>
- Grimm, A., Nyström, J., Mossing, T., Östman, U., & Geladi, P. (2020). Novel drying treatment to stabilize bilberry, blackcurrant, and cloudberry press cakes: Dryer performance and product quality characteristics. *Food Science and Technology*, 128, 109478. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109478>
- Höglund, E., Eliasson, L., Oliveira, G., Almli, V. L., Sozer, N., & Alminger, M. (2018). Effect of drying and extrusion processing on physical and nutritional characteristics of bilberry press cake extrudates. *LWT — Food Science and Technology*, 92, 422–428. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.042>
- Gil-Chávez, G. J., Villa, J. A., Ayala-Zavala, F. J., Heredia, B., Sepulveda, D., Yahia, E. M., & González-Aguilar, G. A. (2013). Technologies for extraction and production of bioactive compounds to be used as nutraceuticals and food ingredients: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(1), 5–23. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12005>
- Karam, M. C., Petit, J., Zimmer, D., Baudelaire Djantou, E., & Scher, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders. A review. *Journal of Food Engineering*, 188, 32–49.
- Lizárraga-Velázquez, C. E., Leyva-López, N., Hernández, C., Gutiérrez-Grijalva, E. P., Salazar-Leyva, J. A., Osuna-Ruiz, I., Martínez-Montaña, E., Arrizon, J., Guerrero, A., & Benítez-Hernández, A., & Avalos-Soriano, A. (2020). Antioxidant molecules from plant waste: Extraction techniques and biological properties. *Processes*, 8(12), Article 1566. <https://doi.org/10.3390/pr8121566>
- Müller, D., Schantz, M., & Richling, E. (2012). High performance liquid chromatography analysis of anthocyanins in bilberries (*Vaccinium myrtillus* L.), blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.), and corresponding juices. *Journal of Food Science*, 77(4), C340–C345. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02605.x>
- Munzenmayer, P., Ulloa, J., Pinto, M., Ramirez, C., Valencia, P., Simpson, R., & Almonacid, S. (2020). Freeze-drying of blueberries: Effects of carbon dioxide (co₂) laser perforation as skin pretreatment to improve mass transfer, primary drying time, and quality. *Foods*, 9(2), Article 211. <https://doi.org/10.3390/foods9020211>
- Olas, B. (2017). The multifunctionality of berries toward blood platelets and the role of berry phenolics in cardiovascular disorders. *Platelets*, 28(6), 540–549. <https://doi.org/10.1080/09537104.2016.1235689>
- Oliveira, G., Eliasson, L., Ehrnell, M., Höglund, E., Andlid, T., & Alminger, M. (2019). Tailoring bilberry powder functionality through processing: Effects of drying and fractionation on the stability of total polyphenols and anthocyanins. *Food Science Nutrition*, 7(3), 1017–1026. <https://dx.doi.org/10.1002/fsn3.930>
- Pataro, G., Bobinaitė, R., & Bobinas, Č., Satkauskas, S., Raudonis, R., Visockis, M., Ferarri, G., & Viskelis, P. (2017). Improving the extraction of juice and anthocyanins from blueberry fruits and their by-products by application of pulsed electric fields. *Food Bioprocess Technology*, 10, 1595–1605. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1928-x>
- Pires, T. C. S. P., Caleja, C., Santos-Buelga, C., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2020). *Vaccinium myrtillus* L. Fruits as a Novel Source of Phenolic Compounds with Health Benefits and Industrial Applications. — A Review. *Current Pharmaceutical Design*, 26(16), 1917–1928. <https://doi.org/10.2174/1381612826666200317132507>
- Poiana, M.-A., & Alexa, E. & Mateescu, C. (2012). Tracking antioxidant properties and color changes in low-sugar bilberry jam as effect of processing, storage and pectin concentration. *Chemistry Central Journal*, 6, Article 4. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-4>
- Prencipe, F. P., Bruni, R., Guerrini, A., Rossi, D., Benvenuti, S., & Pellati, F. (2014). Metabolite profiling of polyphenols in *Vaccinium* berries and determination of their chemopreventive properties. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 89, 257–267. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2013.11.016>
- Primetta, A. K., Jaakola, L., Ayaz, F. A., Inceer, H., & Riihinen, K. R. (2013). Anthocyanin fingerprinting for authenticity studies of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). *Food Control*, 30(2), 662–667. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.09.009>
- Puri M., Sharma, D., & Barrow, C. J. (2012). Enzyme-assisted extraction of bioactives from plants. *Trends in Biotechnology*, 30(1), 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.06.014>
- Ravi, H. K., Breil, C., Vian, M. A., Chemat, F., & Venskutonis, P. R. (2018). Biorefining of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) pomace using microwave hydrodiffusion and gravity, ultrasound-assisted, and bead-milling extraction. *ACS*

- Sustain. *Chemical Engineering Journal*, 6(3), 4185–4193. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b04592>
- Sagar, N. A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E. M., & Lobo, M. G. (2018). Fruit and vegetable waste: Bioactive compounds, their extraction, and possible utilization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(3), 512–531. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12330>
- Stanoeva, J. P., Stefova, M., Andonovska, K. B., Vankova, A., & Stafilov, T. (2017). Phenolics and mineral content in bilberry and bog bilberry from Macedonia. *International Journal of Food Properties*, 20(1), S863–S883. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1315592>
- Vaneková, Z., & Rollinger, J. M. (2022). Bilberries: curative and miraculous — A review on bioactive constituents and clinical research. *Frontiers in Pharmacology*, 13, Article 909914. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.909914>
- Zorenc, Z., Veberic, R., & Mikulic-Petkovsek, M. (2018). Are processed bilberry products a good source of phenolics? *Journal of Food Science*, 83(7), 1856–1861. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14209>
- ## REFERENCES
- Akulich, A. V., & Gostinshchikova L. A. (2013). Issledovanie kinetiki protsessa sushki yagodnogo syr'ya pri razlichnykh sposobakh energopodvoda [Investigation of the kinetics of the drying process of berry raw materials with various methods of energy supply]. *Pishchевaya nauka i tekhnologiya* [Food Science and Technology], (2), 112–115.
- Alekseenko, E. V. (2013). *Innovatsionnye tekhnologii pererabotki yagodnogo syr'ya: nauchnye i prikladnye aspekty* [Doctoral Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Russia.
- Alekseenko, E. V., Bakumenko, O. E., Azarova, M. M., Isabaev, I. B., & Kurbanov, M. T. (2019). Vliyanie predvaritel'noi obrabotki yagod klyukvy na ekstraktsiyu antotsianovykh pigmentov, vykhod soka i ego antioksidantnuyu aktivnost' [The effect of pretreatment of cranberry berries on the extraction of anthocyanin pigments, juice yield and its antioxidant activity]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (4), 10–27. <https://dx.doi.org/10.36107/spfp.2019.200>
- Belova, E. A., Tritek, V. S., & Shul'gau, Z. T. (2020). Izuchenie fenol'nykh soedinenii yagod trekh vidov rastenii roda Vaccinium, proizrastayushchikh v Khanty-Mansiiskom avtonomnom okruge [The study of phenolic compounds of berries of three species of plants of the genus Vaccinium growing in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Materials], (1), 107–116. <https://dx.doi.org/10.14258/jcprm.2020014534>
- Bessarab, A. S., Dashkovskii Yu. A., & Pakhomova E. Yu. (2013). Innovatsionnye materialosberegayushchie, maloenergoemkie protsessy proizvodstva gomogenizirovannykh produktov i polufabrikatov [Innovative material-saving, low-energy-intensive processes for the production of homogenized products and semi-finished products]. *Pishchевaya promyshlennost': nauka i tekhnologii* [Food Industry: Science and Technology], (3), 69–77.
- Borisova, T. V., Zologina, V. G., & Levin, B. D. (2008). Osnovnye svoystva pishchevogo syr'ya, polufabrikatov produktov [Basic properties of food raw materials, semi-finished products]. Krasnoyarsk: Krasnoyarskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet.
- Butenko, L. I., & Podgornaya, Zh. V. (2016). Issledovaniya antotsianovogo kompleksa yagod, proshedshikh kriobrabotku [Studies of the anthocyanin complex of berries that have undergone cryoprocessing]. *Uspekhi sovremenno estestvoznaniya* [Successes of Modern Natural Science], 11(1), 14–17.
- Bystrova, E. A., & Alekseenko, E. V. (2017). Issledovanie komponentnogo sostava fenol'nykh soedinenii i antioksidantnoi aktivnosti brusnichnogo soka [Investigation of the component composition of phenolic compounds and antioxidant activity of cranberry juice]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [News of universities. Applied Chemistry and Biotechnology], 7(3), 19–26. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2017-7-3-19-26>
- Chetverikov, E. A., Moiseev, A. P., & Lyagina, L. A. (2016). Sovershenstvovanie sposobov возбуждения электромагнитного поля СВЧ-диапазона в установках сублимационной сушки [Improvement of methods of excitation of the electromagnetic field of the microwave range in stationary agricultural drying plants]. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal* [Agricultural Scientific Journal], (6), 70–72.
- Daudova, T. N., Isrigova, T. A., Daudova, T. A., & Omarova, M. M. (2021). Intensifikatsiya ekstraktsii antotsianovykh krasitelei ul'trazvukovoi obrabotkoi dikorastushchikh plodov [Intensification of anthocyanin dye extraction by ultrasonic treatment of wild fruits]. *Problemy razvitiya APK regiona* [Problems of Agro-Industrial Complex Development in the Region], (1), 160–163.
- Dubkova, N. Z., & Tukhbieva, E. Kh. (2010). Tekhnologiya polucheniya poroshka iz yagod cherniki [Technology of obtaining powder from blueberries]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Equipment and Technology of Food Production], (2), 65–69.
- Frum, A., Zheorzhescu, Ch., Byrke, A. G., Gligor, F. G., & Titse, O. (2016). Issledovanie kachestvennogo i kolichestvennogo sostava fenol'nykh soedinenii cherniki (Vaccinium Myrtillus L.) kak syr'ya dlya pishchevoi i farmatsevticheskoi promyshlennosti. Nauchnyi rezul'tat [Investigation of the qualitative and quantitative composition of phenolic compounds of blueberries (Vaccinium Myrtillus L.) as cheese for the food and pharmaceutical industry. Scientific result]. *Tekhnologii biznesa i servisa* [Business and Service Technologies], (2), 53–59. <https://doi.org/10.18413/2408-9346-2016-2-4-53-59>
- Gol'dina, I. A., Safronova, I. V., & Gaidul', K. V. (2015). Polifenol'nye soedineniya cherniki: osobennosti biologich-

- eskoj aktivnosti i terapevticheskikh svoystv [Polyphenolic compounds of blueberries: features of biological activity and therapeutic properties]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research], (10), 221–228.
- Gromova, I. A., Voronina, M. S., & Makarova, N. V. (2021). Issledovanie khimicheskikh kharakteristik produktov i otkhodov pererabotki yagod cherniki i chernoï smorodiny [Investigation of chemical characteristics of products and waste processing of blueberries and black currants]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Materials], (1), 251–257. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021017020>
- Guseinova, B. M. (2017). Vliyanie bystrogo zamorazhivaniya i posleduyushchego kholodnogo khraneniya na pishchevuyu tsennost' plodov dikorosov [The effect of rapid freezing and subsequent cold storage on the nutritional value of wild fruits]. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [News of the Timiryazev Agricultural Academy], (3), 127–137.
- Ivanova, O. V. (2018). Chernika i ee antotsiany [Blueberries and their anthocyanins]. In *Nauchnye issledovaniya i razrabotki 2018: XXXIV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Research and development 2018: 34th International scientific and practical conference] (pp. 15–16). Astrakhan': Olimp.
- Ivashchenko, M. V. (2015). Faktory, vliyayushchie na fermentoliz pektinsoderzhashchego rastitel'nogo syr'ya [Factors affecting the fermentolysis of pectin-containing plant raw materials]. In *Nizkotemperaturnye i pishchevye tekhnologii v XXI veke: Materialy konferentsii* [Low-temperature and food technologies in the 21st century: Conference materials] (pp. 305–308). S-Petersburg: Sankt-Peterburgskii natsional'nyi issledovatel'skii universitet informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki.
- Karzhavina, E. R., Bespamyatnykh, S. A., & Karzhavin, I. A. (2015). Sovremennye sposoby polucheniya soka iz dikorastushchego yagodnogo syr'ya Ural'skogo regiona [Modern methods of obtaining juice from wild berry raw materials of the Ural region]. In *Innovatsionnye tekhnologii v sfere pitaniya, servisa i trgovli: Sbornik statei III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Innovative technologies in the field of food, service and trade: Collection of articles of the 3rd international scientific and practical conference] (pp. 65–70). Ekaterinburg: Ural'skii gosudarstvennyi universitet.
- Khasanov, A. R., & Barakova, N. V. (2021). Issledovanie vliyaniya dozy vneseniya fermentnykh preparatov na vykhod polifenol'nykh veshchestv i antotsianov v plodovo-yagodnykh i ovoshchnykh sokakh [Investigation of the effect of the dose of enzyme preparations on the yield of polyphenolic substances and anthocyanins in fruit and berry and vegetable juices]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 83(2), 61–64. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-2-61-66>
- Khudonogova, E. G., Khudonogov, I. A. & Khudonogov, A. M. (2012). Vliyanie infrakrasno-konvektivno-vakuumnogo sposoba sushki na sodержание biologicheskii aktivnykh veshchestv v lekarstvennom rastitel'nom syr'e [The effect of the infrared-convective-vacuum drying method on the content of biologically active substances in medicinal plant raw materials]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], (5), 343–346.
- Konyukhova, O. M., & Merkusheva, N. N. (2021). Izuchenie sostava biologicheskii aktivnykh veshchestv v dikorastushchikh yagodakh roda Vaccinium v zavisimosti ot uslovii khraneniya [Study of the composition of biologically active substances in wild berries of the genus Vaccinium depending on storage conditions]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Volga State Technological University], (3), 100–108. <https://doi.org/0.25686/2306-2827.2021.3.100>
- Koreneva, I. V. (2013). Issledovanie khimicheskogo sostava i bezopasnosti produktov pererabotki cherniki i ispol'zovanie ee v konditerskoi promyshlennosti [Investigation of the chemical composition and safety of blueberry processing products and its use in the confectionery industry]. In *Molodezh' i nauka: Sbornik materialov IKh Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoi 385-letiyu so dnya osnovaniya g. Krasnoyarska* [Youth and science: A collection of materials of the IX All-Russian scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists with international participation, dedicated to the 385th anniversary of the founding of Krasnoyarsk] (Article 014). Krasnoyarsk: Sibirskii federal'nyi universitet.
- Kurkin, V. A., Ryazanova, T. K., & Petrukhina, I. K. (2011). Chernika obyknovennaya: sovremennye podkhody k standartizatsii syr'ya i sozdaniyu lekarstvennykh preparatov [Blueberries: modern approaches to the standardization of raw materials and the creation of medicines]. Samara: Ofort.
- Kuz'mina, N. A., Bolotova, K. S., Novozhilov, E. V., Falev, D. I., Emel'yanova, M. V., & Kanarskaya, Z. A. (2017). Vliyanie fermentatsii i liofil'nogo vysushivaniya na sokhrannost' vitaminov i karotina v yagodnykh sokakh [The effect of fermentation and freeze-drying on the preservation of vitamins and carotene in berry juices]. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 20(6), 154–156.
- Lozovskaya, T. S., & Osipova, L. A. (2011). Biologicheskii aktivnye veshchestva plodovo-yagodnogo syr'ya, perspektivnogo dlya proizvodstva napitkov i vin [Biologically active substances of fruit and berry raw materials, promising for the production of beverages and wines]. *Vinogradarstvo i vinodelie* [Viticulture and Winemaking], 41(2), 112–114.
- Magomedov, G. O., Savvin, P. N., Plotnikova, I. V., & Bakulina, O. V. (2016). Primenenie natural'nogo chernichnogo krasitelya v proizvodstve slivochnogo krema [The use of natural blueberry dye in the production of butter cream]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies], (1), 116–121. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-1-116-121>

- Makarova, N. V., & Ereemeeva, N. B. (2020). Sravnitel'noe izuchenie ul'trazvukovykh vozddeystvii na ekstraktsiyu antioksidantnykh soedinenii yagod cherniki (*Vaccinium Myrtillus* L.) [Comparative study of ultrasonic effects on the extraction of antioxidant compounds of blueberries (*Vaccinium Myrtillus* L.)]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Materials], (1), 167–177. <https://doi.org/10.14258/jcpm.2020014425>
- Makarova, N. V., Stryukova, A. D., & Chigireva, A. V. (2012). Vliyanie zamorazhivaniya na antioksidantnuyu aktivnost' yagod [The effect of freezing on the antioxidant activity of berries]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], (6), 44–46.
- Mikaberidze, M. Sh., Chakvetadze, Sh. M., & Pruidze, M. R. (2017). Intensifikatsiya protsessov sushki yagod v pole IK luchei [Intensification of berry drying processes in the field of infrared rays]. *Aekonomika: Ekonomika i sel'skoe khozyaistvo* [Aeconomics: Economics and Agriculture], (8), 5–14.
- Nilova, L. P., Ikramov, R. A., & Malyutenkova, S. M. (2019). Vliyanie SVCh-nagreva na opticheskie kharakteristiki yagodnykh ekstraktov [The effect of microwave heating on the optical characteristics of berry extracts]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 81(1), 218–224. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-218-224>
- Nuriakhmetova, I. A. (2019). Innovatsionnaya tekhnologiya polucheniya poroshka cherniki, bogatogo antotsianami [Innovative technology for obtaining blueberry powder rich in anthocyanins]. *Pishchevye tekhnologii i biotekhnologii* [Food Technologies and Biotechnologies], (1), 181–185.
- Petrov, A. N., Shishkina, N. S., & Karastoyanova, O. V. (2014). Primenenie vysokoeffektivnykh tekhnologii bystrogo zamorazhivaniya rastitel'noi produktsii dlya realizatsii i sozdaniya rezerva prodovol'stviya [The use of highly efficient technologies for fast freezing of plant products for the sale and creation of food reserves]. *Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva i khraneniya material'nykh tsennostei dlya gosudarstvennykh nuzhd* [Innovative Technologies of Production and Storage of Material Values for State Needs], 2(2), 186–193.
- Renzyaeva, T. V., Tubol'tseva, A. S., Ponkratova, E. K., Lugovaya, A. V., & Kazantseva, A. V. (2014). Funktsional'no-tekhnologicheskie svoystva poroshkoobraznogo syr'ya i pishchevykh dobavok v proizvodstve konditerskikh izdelii [Functional and technological properties of powdered raw materials and food additives in the production of confectionery]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Equipment and Technology of Food Production], (4), 43–49.
- Saifulina, Z. R. (2003). *Tovarovедно-tekhnologicheskaya kharakteristika dikorastushchikh cherniki i kaliny i produktov ikh kompleksnoi pererabotki* [Commodity and technological characteristics of wild blueberries and viburnum and products of their complex processing] [Candidate Dissertation, Sibirskii universitet potrebitel'skoi kooperatsii]. Novosibirsk, Russia.
- Semenov, G. V., Krasnova, I. S., & Petkov, I. I. (2017). Vyborezhimnykh parametrov vakuumnoi sublimatsionnoi sushki sukhikh termolabil'nykh materialov s zadannym urovнем kachestva [Selection of operating parameters of vacuum freeze drying of dry thermolabile materials with a given level of quality]. *Bulletin of the International Academy of Cold*. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda* [Bulletin of the International Academy of Cold], (1), 18–24. <https://dx.doi.org/10.21047/1606-4313-2017-16-1-18-24>.
- Sergunova, E. V. (2013). Sposob konservatsii i sodержanie biologicheskii aktivnykh veshchestv v plodakh i otvarakh cherniki [The method of preservation and the content of biologically active substances in fruits and decoctions of blueberries]. *Farmatsiya* [Pharmacy], (6), 21–23.
- Shkol'nikova, M. N., & Aver'yanova, E. V. (2021). Vyzhimki yagodnogo syr'ya kak istochnik antotsianovykh krasitelei [Extracts of berry raw materials as a source of anthocyanin dyes]. *XXI vek: Itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus* [21st Century: The Results of the Past and the Problems of the Present Plus], 10(1), 117–121.
- Tipsina, N. N., & Yakovchik, N. Yu. (2013). Issledovanie cherniki [Blueberry research]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], (11), 283–285.
- Tipsina, N. N., Muchkina, E. Ya., Strupan, E. A., & Korshunova, T. V. (2010). Issledovanie pishchevoi tsennosti poroshka cherniki obyknovЕННОI [Investigation of the nutritional value of blueberry powder]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], (5), 158–162.
- Vasiyarov, G. G., Drob', A. A., Titova, E. V., & Staroverov, S. M. (2019). Klasternyi analiz antotsianov cherniki metodom VEZhKh [Cluster analysis of blueberry anthocyanins by HPLC]. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy* [Sorption and Chromatographic Processes], 16(4), Article 1374.
- Vasyukova, A. T., & Narodov, A. (2008). Sovremennye napravleniya ispol'zovaniya dikorastushchikh rastenii dlya pishchevykh tselei [Modern directions of using wild plants for food purposes]. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya kooperativnogo sektora ekonomiki* [Fundamental and Applied Research of the Cooperative Sector of the Economy], (2), 136–138.
- Vorob'eva, I. V. (2015). Sovremennye dannye o roli antotsianozidov i flavonoidov v lechenii zabolevaniy glaz [Current data on the role of anthocyanosides and flavonoids in the treatment of eye diseases]. *Vestnik oftalmologii* [Bulletin of Ophthalmology], (5), 104–108. <https://doi.org/10.17116/oftalma20151315104-108>
- Aaby, K., Grimmer, S., & Holtung, L. (2013). Extraction of phenolic compounds from bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) press residue: Effects on phenolic composition and cell proliferation. *Food Science and Technology*, 54(1), 257–264. <https://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.031>
- Aliman, J., Michalak, I., Busatlic, E., Aliman, L., Kulina, M., Radovic, M., & Hasanbegovic, J. (2020). Study of the physicochemical properties of highbush blueberry and wild bilberry fruit in central Bosnia. *Turkish Journal of Agri-*

- culture and Forestry*, 44(2), 156–168. <https://dx.doi.org/10.3906/tar-1902-36>
- Ancillotti, C., Ciofi, L., Pucci, D., Sagona, E., Giordani, E., Bircolli, S., Gori, M., Petrucci, W. A., Giardi, F., Bartoletti, R., Chiuminatto, U., Orlandini, S., Mosti, S., & del Bubba, M. (2016). Polyphenolic profiles and antioxidant and anti-radical activity of Italian berries from *Vaccinium myrtillus* L. and *Vaccinium uliginosum* L. subsp. *gaultherioides* (Bigelow). S.B. Young. *Food Chemistry*, 204, 176–184. <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.106>
- Arevström L., Bergh, C., Landberg, R., H., Wu, H., Rodriguez-Mateos, A., Waldenborg, M., Magnuson, A., Blanc, S., & Frobert, O. (2019). Freeze-dried bilberry (*Vaccinium myrtillus*) dietary supplement improves walking distance and lipids after myocardial infarction: an open label randomized clinical trial. *Nutrition Research*, 62, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2018.11.008>
- Aura, A. M., Holopainen-Mantila, U., Sibakov, J., Kössö, T., Morkkila, M., & Kaisa, P. (2015). Bilberry and bilberry press cake as sources of dietary fibre. *Food & Nutrition Research*, 59(11), Article 28367. <https://doi.org/10.3402/fnr.v59.28367>
- Babova, O., Capuzzo, A., & Maffei, A. M. (2016). Extraction of bilberry (*Vaccinium myrtillus*) antioxidants using supercritical/subcritical CO₂ and ethanol as co-solvent. *Journal of Supercritical Fluids*, 107, 358–363. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.09.029>
- Bilbao-Sainz, C., Thai, S., Sinrod, A. J. G., Chiou, B. S., & McHugh, T. (2019). Functionality of freeze-dried berry powder on frozen dairy desserts. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(9), Article e14076. <https://dx.doi.org/10.1111/jfpp.14076>
- Colak, N., Primetta, A. K., Riihinen K. R., Jaakola, L., Gruz, J., Strnad, M., Torun, H., & Ayaz, F. A. (2017). Phenolic compounds and antioxidant capacity in different-colored and non-pigmented berries of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). *Food Bioscience*, 20, 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.06.004>
- Colak N., Torun H., Gruz J., Strnad M., Hermosín-Gutiérrez I., & Hayirlioglu-Ayaz S., & Ayaz, F. A. (2016). Bog bilberry phenolics, antioxidant capacity and nutrient profile. *Food Chemistry*, 201, 339–349. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.062>
- Costa, J. R., Tonon, R. V., Cabral, L., Gottschalk, L., Pastrana, L., & Pintado, M. E. (2020). Valorization of agricultural lignocellulosic plant byproducts through enzymatic and enzyme-assisted extraction of high-value-added compounds: A Review. *ACS Sustainable Chemical Engineering Journal*, 8, 13112–13125. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c02087>
- Díez-Sánchez, E., Quiles, A., & Hernando, I. (2021). Use of Berry Pomace to Design Functional Foods. *Food Reviews International*, 2021, 201–217. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2010217>
- Eliasson, L., Oliveira, G., Ehrnell, M., Höglund, E., & Alminger, M. (2019). Tailoring bilberry powder functionality through preprocessing and drying. *Food Science & Nutrition*, 7(4), 1379–1386. <https://doi.org/10.1002/fsn3.972>
- Grimm, A., Nyström, J., Mossing, T., Östman, U., & Geladi, P. (2020). Novel drying treatment to stabilize bilberry, blackcurrant, and cloudberry press cakes: Dryer performance and product quality characteristics. *Food Science and Technology*, 128, 109478. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109478>
- Höglund, E., Eliasson, L., Oliveira, G., Almli, V. L., Sozer, N., & Alminger, M. (2018). Effect of drying and extrusion processing on physical and nutritional characteristics of bilberry press cake extrudates. *LWT — Food Science and Technology*, 92, 422–428. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.042>
- Gil-Chávez, G. J., Villa, J. A., Ayala-Zavala, F. J., Heredia, B., Sepulveda, D., Yahia, E. M., & González-Aguilar, G. A. (2013). Technologies for extraction and production of bioactive compounds to be used as nutraceuticals and food ingredients: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(1), 5–23. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12005>
- Karam, M. C., Petit, J., Zimmer, D., Baudelaire Djantou, E., & Scher, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders. A review. *Journal of Food Engineering*, 188, 32–49.
- Lizárraga-Velázquez, C. E., Leyva-López, N., Hernández, C., Gutiérrez-Grijalva, E. P., Salazar-Leyva, J. A., Osuna-Ruiz, I., Martínez-Montaña, E., Arrizon, J., Guerrero, A., & Benítez-Hernández A., & Avalos-Soriano, A. (2020). Antioxidant molecules from plant waste: Extraction techniques and biological properties. *Processes*, 8(12), Article 1566. <https://doi.org/10.3390/pr8121566>
- Müller, D., Schantz, M., & Richling, E. (2012). High performance liquid chromatography analysis of anthocyanins in bilberries (*Vaccinium myrtillus* L.), blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.), and corresponding juices. *Journal of Food Science*, 77(4), C340–C345. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02605.x>
- Munzenmayer, P., Ulloa, J., Pinto, M., Ramirez, C., Valencia, P., Simpson, R., & Almonacid, S. (2020). Freeze-drying of blueberries: Effects of carbon dioxide (CO₂) laser perforation as skin pretreatment to improve mass transfer, primary drying time, and quality. *Foods*, 9(2), Article 211. <https://doi.org/10.3390/foods9020211>
- Olas, B. (2017). The multifunctionality of berries toward blood platelets and the role of berry phenolics in cardiovascular disorders. *Platelets*, 28(6), 540–549. <https://doi.org/10.1080/09537104.2016.1235689>
- Oliveira, G., Eliasson, L., Ehrnell, M., Höglund, E., Andlid, T., & Alminger, M. (2019). Tailoring bilberry powder functionality through processing: Effects of drying and fractionation on the stability of total polyphenols and anthocyanins. *Food Science Nutrition*, 7(3), 1017–1026. <https://dx.doi.org/10.1002/fsn3.930>
- Pataro, G., Bobinaitė, R., & Bobinas, Č., Satkauskas, S., Raudonis, R., Visockis, M., Ferarri, G., & Viskelis, P. (2017). Improving the extraction of juice and anthocyanins from blueberry fruits and their by-products by application of pulsed electric fields. *Food Bioprocess Technology*, 10, 1595–1605. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1928-x>

- Pires, T. C. S. P., Caleja, C., Santos-Buelga, C., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2020). Vaccinium myrtillus L. Fruits as a Novel Source of Phenolic Compounds with Health Benefits and Industrial Applications. — A Review. *Current Pharmaceutical Design*, 26(16), 1917–1928. <https://doi.org/10.2174/1381612826666200317132507>
- Poiana, M.-A., & Alexa, E. & Mateescu, C. (2012). Tracking antioxidant properties and color changes in low-sugar bilberry jam as effect of processing, storage and pectin concentration. *Chemistry Central Journal*, 6, Article 4. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-4>
- Prencipe, F. P., Bruni, R., Guerrini, A., Rossi, D., Benvenuti, S., & Pellati, F. (2014). Metabolite profiling of polyphenols in Vaccinium berries and determination of their chemopreventive properties. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 89, 257–267. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2013.11.016>
- Primetta, A. K., Jaakola, L., Ayaz, F. A., Inceer, H., & Riihinen, K. R. (2013). Anthocyanin fingerprinting for authenticity studies of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). *Food Control*, 30(2), 662–667. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.09.009>
- Puri M., Sharma, D., & Barrow, C. J. (2012). Enzyme-assisted extraction of bioactives from plants. *Trends in Biotechnology*, 30(1), 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.06.014>
- Ravi, H. K., Breil, C., Vian, M. A., Chemat, F., & Venskutonis, P. R. (2018). Biorefining of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) pomace using microwave hydrodiffusion and gravity, ultrasound-assisted, and bead-milling extraction. *ACS Sustain. Chemical Engineering Journal*, 6(3), 4185–4193. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b04592>
- Sagar, N. A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E. M., & Lobo, M. G. (2018). Fruit and vegetable waste: Bioactive compounds, their extraction, and possible utilization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(3), 512–531. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12330>
- Stanoeva, J. P., Stefova, M., Andonovska, K. B., Vankova, A., & Stafilov, T. (2017). Phenolics and mineral content in bilberry and bog bilberry from Macedonia. *International Journal of Food Properties*, 20(1), S863–S883. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1315592>
- Vaneková, Z., & Rollinger, J. M. (2022). Bilberries: curative and miraculous — A review on bioactive constituents and clinical research. *Frontiers in Pharmacology*, 13, Article 909914. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.909914>
- Zorenc, Z., Veberic, R., & Mikulic-Petkovsek, M. (2018). Are processed bilberry products a good source of phenolics? *Journal of Food Science*, 83(7), 1856–1861. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14209>

УДК 634.733: 663.8: 663.05

Исследование влияния характеристик отражателя на процесс сушки пищевых продуктов

Кузбасская государственная
сельскохозяйственная академия

В. А. Ермолаев

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Ермолаев Владимир Александрович

Адрес: 650056, Россия, г. Кемерово,
ул. Марковцева, 5

E-mail: ermolaevvla@rambler.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Ермолаев, В. А. (2023). Исследование влияния характеристик отражателя на процесс сушки пищевых продуктов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 45–56. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.313>

ПОСТУПИЛА: 11.12.2022

ПРИНЯТА: 06.03.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии
конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. Сушка представляет собой эффективную технологию консервирования пищевых продуктов. При использовании инфракрасных ламп одним из недостатков является неравномерность нагрева продукта по поверхности лотков, что вызывает перегрев в одной части лотка и недосушивания в другой части. Исследованиям в данной области уделяется мало внимания, поэтому поиск способов обеспечения равномерного нагрева лотков с продуктом при инфракрасной сушке является актуальной задачей.

Цель. Подбор геометрических характеристик отражателя для обеспечения более равномерного нагрева лотка с продуктом при инфракрасной сушке.

Материалы и методы. С помощью программы TracePro была смоделирована оптическая система подвода теплоты и исследовано распределение плотности потока теплового излучения по поверхности лотка. Был смоделирован источник излучения в виде цилиндрической инфракрасной лампы, диаметром 10 мм, длиной 400 мм и лоток с сырьем, размером 400х400 мм. Анализ траектории движения лучей проводили при количестве лучей 50 000.

Результаты. Подобраны параметры параболического излучателя: фокусное расстояние рефлектора 70 мм, глубина рефлектора 200 мм, расстояние между лотком и лампой 152 мм. Основными параметрами параболического отражателя является фокусное расстояние и глубина. Последняя характеристика была выбрана в 200 мм чтобы максимально сохранить весь поток излучения от лампы, направив его на лоток. Эксперименты по инфракрасной сушке винограда с использованием подобранного отражателя и без него показали, что без использования отражателя влагосодержание в продукте, расположенном на периферии, несколько выше, чем в ягодах, расположенных по центру лотка. При использовании отражателя эта разница существенно меньше. Таким образом, моделированный отражатель позволяет снизить разницу во влагосодержании сухого продукта, расположенного на периферии и в центре лотка.

Выводы. Предложенная в работе конструкция отражателя обеспечивает более равномерный нагрев продукта по всей площади лотка. Проведены эксперименты по сушке ягод винограда, подтверждающие результаты расчетов. Возможным направлением дальнейших исследований может быть исследование распределения светового потока в отражателях другой конструкции для обеспечения оптимальной равномерности падения световых лучей на площадь лотка при возможно наименьшем размере сушильной камеры и наименьшим потерям энергии излучателя в окружающую среду.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

инфракрасная сушка, лампы, отражатель, лучи

Study of the Influence of Reflector Characteristics on the Process of Drying Foodstuffs

Kuzbass State Agricultural Academy

Vladimir A. Ermolaev

CORRESPONDENCE:

Vladimir A. Ermolaev

5 Markovtseva Street, Kemerovo, 650056,
Russian Federation

E-mail: ermolaevvla@rambler.ru

FOR CITATIONS:

Ermolaev, V. A. (2023). Study of the influence of reflector characteristics on the process of drying foodstuffs. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 34–45. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.313>

RECEIVED: 11.12.2022

ACCEPTED: 06.03.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background. Drying is an efficient food preservation technology. When using infrared drying lamps, one of the disadvantages is the uneven heating of the product over the surface of the trays, which causes overheating in one part of the tray and underdrying in the other part. Little attention is paid to research in this area, so the search for ways to ensure uniform heating of product trays during infrared drying is an urgent task.

Purpose. The purpose of this work was to select the characteristics of the reflector of an infrared drying lamp, such as the focal length of the cylinder paraboloid, the depth of the parabola and the location of the source from the surface of the tray to ensure uniform heating of the tray with raw materials and increase the energy saving of infrared drying.

Materials and Methods. With the help of the program, an optical system of heat supply was modeled and the distribution of the thermal radiation flux density over the surface of the tray was studied. A radiation source was modeled in the form of a cylindrical infrared lamp, 10 mm in diameter, 400 mm long, and a tray with raw materials, 400x400 mm in size. The analysis was carried out with the number of rays 50,000.

Results. In the course of the study, the parameters of the parabolic radiator were selected: the focal length of the reflector is 70 mm, the depth of the reflector is 200 mm, the distance between the tray and the lamp is 152 mm. The main parameters of a parabolic reflector are focal length and depth. The last characteristic was chosen at 200 mm in order to preserve as much as possible the entire radiation flux from the lamp, directing it to the tray. Experiments were carried out on infrared drying of grapes using a selected reflector and without it. The simulated reflector makes it possible to reduce the difference in moisture content between the dry product located on the periphery and in the center of the tray.

Conclusions. The design of the reflector proposed in the work provides more uniform heating of the product over the entire area of the tray. Experiments on drying grape berries were carried out, confirming the results of calculations. A possible direction for further research may be to study the distribution of the light flux in reflectors of a different design to ensure optimal uniformity of the incidence of light rays on the area of the tray with the smallest possible size of the drying chamber and the lowest energy loss of the emitter to the environment.

KEYWORDS

infrared drying, lamps, reflector, rays

ВВЕДЕНИЕ

Сушка является одним из самых перспективных способов консервирования пищевых продуктов (Ermolaev, 2018; Grdzelishvili & Hoffman, 2012). При этом среди самых распространенных источников тепла в сушильных установках являются инфракрасные лампы (Ермолаев & Расщепкин, 2009; Просеков и соавт., 2010; Tysén et al., 2018; Baptestini et al., 2017; Sakare et al., 2020; Yan et al., 2019). Преимуществами такой сушки являются относительно высокая скорость сушки и низкое потребление электроэнергии, а также невысокая температура нагрева — как правило 40–60 °C (Ermolaev, 2020; Зудин и соавт., 2017; Черевко и соавт., 2015, Adak et al., 2017; Samani et al., 2018; Si et al., 2016; Xie et al., 2017; Rasane, 2016).

При использовании инфракрасных сушильных ламп одним из недостатков является неравномерность нагрева продукта по поверхности лотков (Yan et al., 2019). Неравномерность нагрева поверхности обусловлена геометрическими свойствами источника облучения. Как известно, интенсивность излучения (I) от источника малых размеров на элементарную площадку рассчитывается по следующей формуле (Yan et al., 2019):

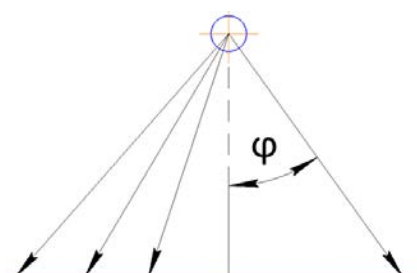
$$I = I_0 \frac{\cos(\varphi)}{\pi} d\omega, \quad (1)$$

где I_0 — интенсивность излучения источника в направлении, ортогональном поверхности, φ — угол между нормалью от источника к поверхности и вектором излучения, $d\omega$ — телесный угол видимости элементарной площадки точечным источником.

Если рассматривать инфракрасную лампу, то видно (Рисунок 1), что чем ближе она располагается к поверхности нагрева, тем более неравномерное

Рисунок 1

Схема распределения лучей



распределение интенсивности излучения будет наблюдаться на данной поверхности — наиболее интенсивное излучение будет в центральной части лотка, наименее интенсивное — на периферии (по бокам).

Для обеспечения более равномерного нагрева используют лампы с более широкой поверхностью излучения. При этом уменьшается угол φ и появляется возможность несколько снизить температуру источника. Однако с увеличением физических размеров источника излучения увеличивается доля конвективно-кондуктивного теплового потока от инфракрасной лампы, что увеличивает тепловые потери, и следовательно — энергоэффективность.

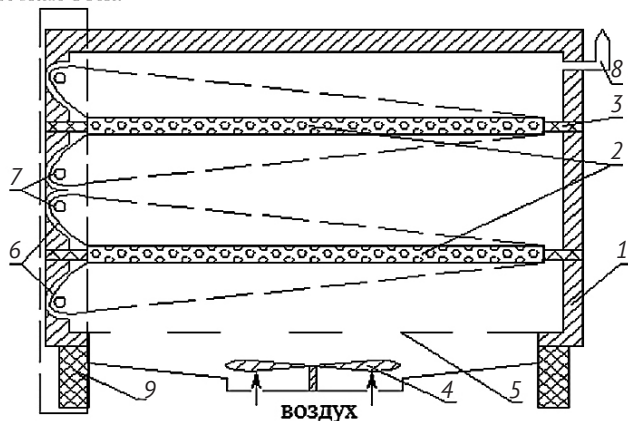
Частично решить эту проблему можно за счет замены одной большой лампы на несколько более мелких, применением отражателей различной конфигурации (Афонькина, 2012; Chen et al., 2017; Ermolaev et al., 2021a; Ermolaev et al., 2021b; Verspeek et al., 2020; Popov et al., 2019; Waghmare & Gulhane, 2016), а также использованием пленочных инфракрасных нагревателей (Aboltins & Palabinskis, 2017; Aboltins et al., 2017). Например, Завалий и Янович (2010) исследовал различные схемы подвода теплоты при инфракрасной сушке, в том числе установка с вынесенными рефлекторами инфракрасных сушильных ламп за пределы приемной поверхности (Рисунок 2). Такое техническое решение обеспечивает более равномерное температурное поле на нижней и верхней поверхностях лотка с сырьем, что дает возможность увеличить высоту слоя продукта и интенсифицировать процесс сушки без применения вибрации. Недостатками данной сушилки является трудность замены контактных дорожек излучателей, а также недостаточная равномерность нагрева продукта по всей длине лотка. Кроме того, вынесение рефлектора с одной стороны лотка увеличивает геометрические размеры и создает нетехнологическую зону со стороны рефлекторов (Рисунок 2).

Анализ литературы в данной области выявил недостаточный объем исследований по разработке технических решений, позволяющих обеспечить равномерное падение лучей на поверхность лотка с продуктом. Целью настоящей работы являлся анализ влияния геометрических характеристик отражателя на равномерность нагрева лотка с продуктом при инфракрасной сушке.

Рисунок 2

Схема инфракрасной сушильной установки с вынесенными рефлекторами за пределы приемной поверхности

Нетехнологическая зона



1 – теплоизолированный корпус; 2 – лотки с сырьем; 3 – направляющие; 4 – нагнетатель воздуха; 5 – решетки; 6 – рефлекторы; 7 – ИК-излучатели; 8 – патрубок для отвода влажного воздуха; 9 – стойка

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты

Объектами исследований выступали факторы, влияющие на равномерность нагрева лотка при сушке: форма отражателя, его фокусное расстояние и глубина, а также расстояние между лампой и лотком с продуктом.

Оборудование

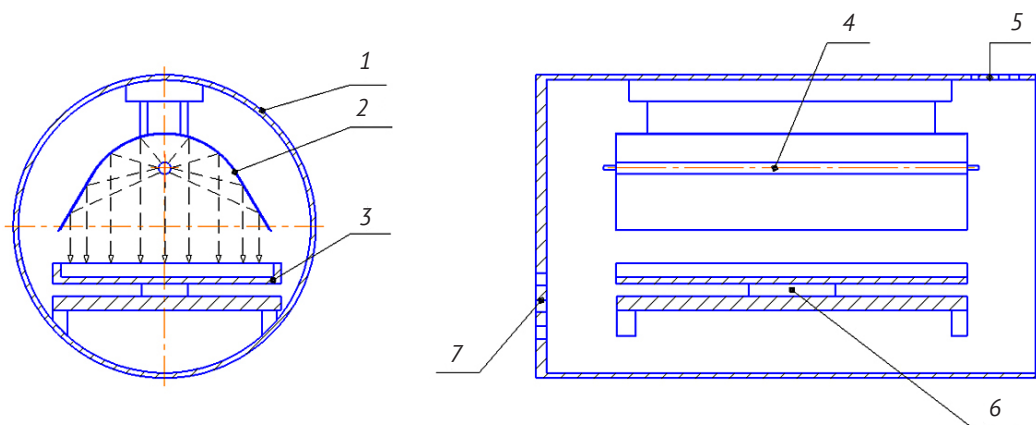
Схема установки, которая использовалась для сушки, представлена на Рисунок 3. В качестве источника теплоты использовалась инфракрасная лампа КГТ-220-1000 (4), мощностью 1000 Вт с параболическим отражателем 2, самостоятельно изготовленным из листа алюминия. Температура сушки контролировалась по термопаре, размещенной в центре лотка 3. Регистрация массы продукта осуществлялась с помощью тензодатчика веса 6, размещенного под лотком с продуктом. В данной установке влажный нагретый воздух удаляется из установки через отверстия в верхней части корпуса 5.

Методы и инструменты

Для анализа различных систем подвода теплоты использовалось программное обеспечение TracePro, предназначенное для проектирования и анализа оптических систем и систем освещения. Данная программа позволяет моделировать различные оптические системы и осуществлять анализ распределения светового потока по поверхностям. В программе моделируется источник освещения и геометрия объектов, на которые будет падать световой поток. Выбираются параметры как источников освещения, так и поверхности объектов с отражательными/поглощательными характеристиками. Далее устанавливается значение количества лучей и запускается процесс моде-

Рисунок 3

Схема экспериментальной установки для инфракрасной сушки



1 – корпус; 2 – отражатель; 3 – лоток с продуктом; 4 – инфракрасная сушильная лампа; 5 – отверстия для выхода влажного воздуха; 6 – тензодатчик веса; 7 – окна для притока воздуха

лирования. Программа рассчитывает траекторию перемещения лучей и строит карту распределения интенсивности излучения на выбранной поверхности объекта.

Отражатель конструировался из алюминия, толщиной 1 мм. При нагреве происходит незначительное изменение геометрических характеристик отражателя, однако в данной работе было принято допущение, что форма отражателя остается неизменной.

Для сушки ягод винограда (сорт Августин, урожай 2022 г.) использовалась сушильная инфракрасная лампа, размещенная над перфорированным лотком с высушиваемым продуктом. Температура нагрева контролировалась по показаниям термодатчиков, размещенных на лотке с продуктом в один сплошной слой. Сушку ягод винограда проводили до достижения содержания влаги 7,5–8,5%. Содержание влаги в ягодах винограда определяли путем анализа изменения массы продукта до и после сушки.

Процедура исследования

Вначале был смоделирован источник излучения в программе TracePro в виде цилиндрической инфракрасной лампы, диаметром 10 мм, длиной 400 мм и лоток с сырьем, размером 400 × 400 мм. Анализ проводили при количестве лучей 50 000. Был проведен анализ степени расхождения плотности теплового излучения между центром и периферией лотка. Далее в модель системы была добавлена модель отражателя с заданными характеристиками и проведен аналогичный анализ. После проводился подбор фокусного расстояния рефлектора и расстояния между лампой и лотком. Подбор фокусного расстояния производился итерационным путем: задавалось определенное значение фокусного расстояния, производился расчет оптической системы в программе TracePro и по полученной карте анализировалась степень расхождения плотности теплового потока между периферией и центром лотка. Далее менялось значение фокусного расстояния и расчет повторялся.

Завершающим этапом было проведение экспериментальных исследований по сушке ягод винограда с использованием сконструированного отража-

теля и без него. Ягоды укладывались в один слой на поддон, температура сушки составляла 40 °С, она контролировалась по термодатчику, размещенной в центре лотка. Масса продукта контролировалась по датчику веса, размещенному снизу лотка. После сушки с поддона выбирали ягоды с различных точек лотка на расстоянии 0, 60, 120 и 180 мм от продольной оси лотка (по 10 ягод для каждого расстояния) и определяли влагосодержание ускоренным методом на приборе Чижовой. Опыты проводили в 5-кратной повторности, за конечное значение принимали среднеарифметическое от всех 5 опытов.

Анализ данных

Данные обрабатывались на компьютере в программе TracePro. Обработка экспериментальных исследований по сушке ягод винограда осуществлялась в программной среде MS Excel, где производился расчет среднеарифметических показателей влагосодержания ягод винограда в различных точках лотка.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Моделирование карт распределения плотности потока теплового излучения

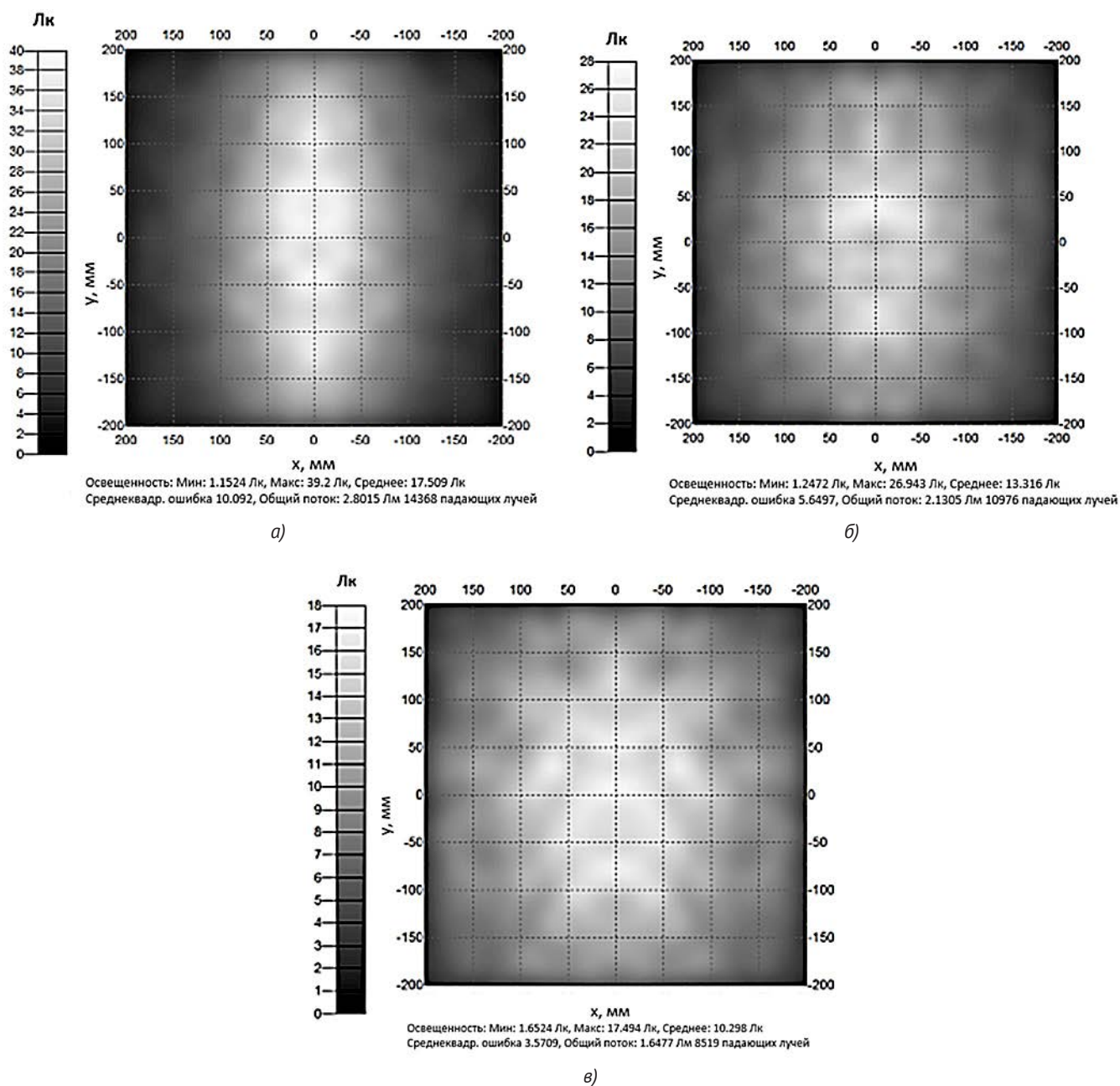
Вначале с помощью программы были получены карты распределения плотности потока теплового излучения без отражателя и при его наличии при различных расстояниях между лампой и лотком. Затем был произведен подбор геометрических характеристик отражателя для обеспечения равномерного нагрева лотка с продуктом. Проведены эксперименты по инфракрасной сушке винограда с использованием сконструированного отражателя.

На Рисунке 4 приведены карты распределения плотности потока теплового излучения при различных расстояниях от лампы до лотка.

Чем дальше лампа от лотка, тем обеспечивается более равномерное распределение плотности потока теплового излучения по поверхности лотка. Однако при этом снижается общий тепловой по-

Рисунок 4

Карта распределения плотности потока теплового излучения без отражателя при расстоянии между лампой и лотком



а – 100 мм, б – 150 мм, в – 200 мм

ток на поверхность лотка: при расстоянии 200 мм между лампой и лотком указанная характеристика в 1,7 ниже, чем при расстоянии 100 мм. Кроме того, увеличение расстояния между лампой и лотком увеличивает габаритные размеры сушильной камеры.

Для численной оценки степени равномерности падения лучей на лоток была проведена оценка яркости пикселей в различных точках полученных карт, представленных на Рисунке 4, и составлена таблица процентного отношения яркости в конкретной точке лотка к яркости в центральной точке (Таблица 1).

Таблица 1

Относительная яркость точек карт (Рисунок 4) распределения плотности потока теплового излучения

Расстояние от продольной оси, мм	Расстояние от центра до точки попе- речной оси, мм			
По карте на Рисунок 4а				
	0	60	120	180
0	100,0	98,7	92,6	70,0
60	73,0	73,0	58,3	50,4
120	44,8	44,3	39,1	30,0
180	30,4	25,2	25,2	22,6
По карте на Рисунок 4б				
	0	60	120	180
0	100	99	92	75,5
60	88,5	85,5	79	57,5
120	68	68,5	49,5	46,5
180	44	45	41,5	32
По карте на Рисунок 4в				
	0	60	120	180
0	100,0	94,4	87,1	61,4
60	86,7	85,0	76,8	57,1
120	67,8	62,7	66,5	48,5
180	51,5	48,5	40,8	34,8

Представленные в Таблице 1 данные свидетельствуют о том, что снижение плотности теплового потока по мере удаления от продольной оси лотка сильнее, чем от поперечной оси, что обусловлено геометрией самой лампы. Для комплексной оценки равномерности падения лучей по всему лотку было рассчитано среднее отклонение относительной яркости точек карт в исследованных точках от относительной яркости в центральной точке, значение которого было принято за 100 %, по следующей формуле:

$$\Delta_{\text{ср}} = 100 - \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{n}, \quad (2)$$

где n — количество исследованных точек (16); a_i — относительная яркость пиксела карты в конкретной точке, %.

Среднее отклонение относительной яркости точек карт, представленных на Рисунок 4а, 4б и 4в составили соответственно 45,1 %; 33,1 % и 33,0 %.

Подбор параметров отражателя

Обеспечить более равномерное распределение излучения на поверхность и использовать для сушки излучение не направленное на лоток можно за счет установки отражателя. Одной из наиболее эффективных конструкций отражателей для цилиндрических ламп является параболический отражатель (Рисунок 5).

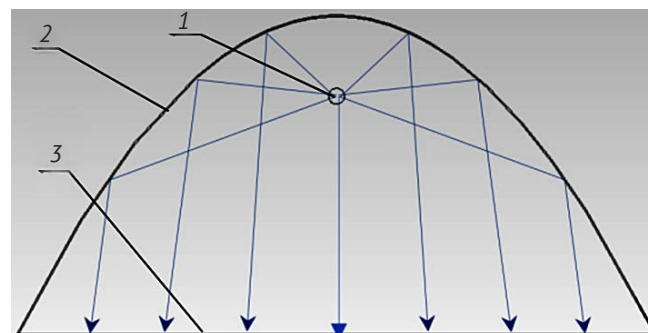
Основными параметрами параболического отражателя является фокусное расстояние и глубина. Последняя характеристика была выбрана в 200 мм чтобы максимально сохранить весь поток излучения от лампы, направив его на лоток. Фокусное расстояние было выбрано 50 мм — такое же как расстояние между лампой и отражателем (то есть лампа была помещена в фокус). Таким образом, кривизна рефлектора $k = 1/R$ составила 20 1/м. Расстояние между лотком и лампой составляло 150 мм.

На Рисунке 6 приведена карта распределения излучения по поверхности лотка при установке параболического отражателя с представленными выше параметрами.

Хоть установка данного отражателя и увеличивает общий поток излучения в 2,7 раза, но не обеспечивает достаточную степень равномерности распределения излучения по поверхности лотка: плотность потока теплового излучения на краях примерно в 2 раза ниже, чем по продольной оси лотка.

Рисунок 5

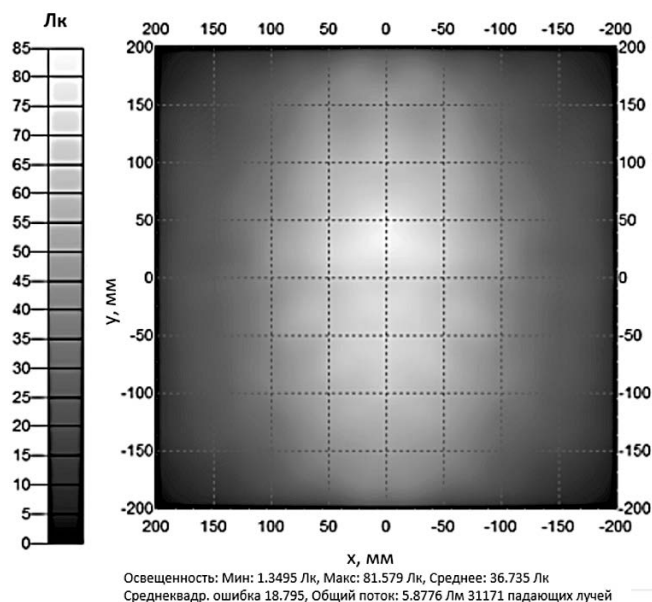
Схема с параболическим отражателем



1 — инфракрасная лампа; 2 — отражатель; 3 — лоток с сырьем

Рисунок 6

Карта распределения плотности потока теплового излучения



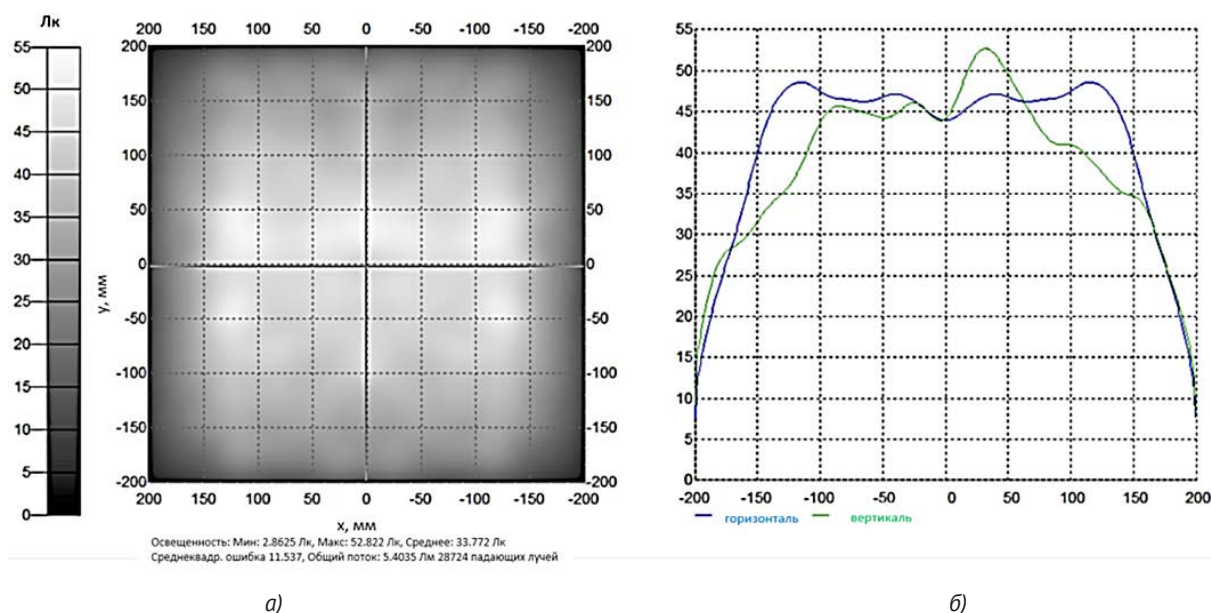
Примечание: расстояние между лотком и лампой 150 мм, фокусное расстояние рефлектора 50 мм, глубина рефлектора 200 мм

Для обеспечения равномерного падения светового потока на лоток был проведен подбор фокусного расстояния рефлектора, которое составило 70 мм, а также расстояние между лампой и лотком, составившее 152 мм. Оба параметра подбирались итерационным путем с шагом в 5 мм. Поток лучей при этом сделался расходящимся. На Рисунке 7 приведена карта распределения плотности потока теплового излучения подобранной излучательной системы, а также соответствующие графики плотности потока теплового излучения по продольному и поперечному сечению лотка.

Сравнительный анализ данных, представленных на Рисунок 6 и 7 позволяет установить, что выбранные параметры обеспечивают более равномерное падение светового потока на поверхность лотка. Для численной оценки данной характеристики была также составлена таблица относительной яркости точек карты, представленной на Рисунке 7 и рассчитано среднее отклонение относительной яркости точек карт по формуле (2), которое составило 18%. Стоит отметить, что в расчет при этом принималась область 180×180 мм. Если в расчет принимать область 120×120 мм, то указанное значение сокращается до 6%, что является высоким показателем эффективности.

Рисунок 7

Карта (а) и график (б) распределения плотности потока теплового излучения



Примечание: расстояние между лотком и лампой 152 мм, фокусное расстояние рефлектора 70 мм, глубина рефлектора 200 мм

Таблица 2

Относительная яркость точек карт (Рисунок 7) распределения плотности потока теплового излучения

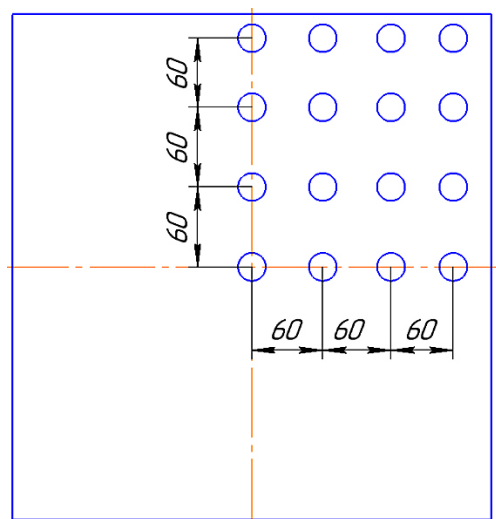
Расстояние от продольной оси, мм	Расстояние от центра до точки поперечной оси, мм			
	0	60	120	180
0	100,0	100,0	86,7	78,8
60	103,0	97,0	87,2	69,0
120	106,4	103,4	86,7	62,1
180	60,6	65,0	59,6	43,8

Экспериментальное подтверждение эффективности смоделированного отражателя

В рамках исследований были также проведены опыты по инфракрасной сушке винограда с наличием спроектированного отражателя и без него. Температура сушки составляла 40 °С, она контролировалась по термопаре, размещенной в толще ягоды в центре лотка. Изменение температуры термопары за счет ее собственного нагрева от излучения учитывалось по ее предварительной калибровке. Сушку вели до достижения влажности 7 % в ягоде, расположенной в центре лотка. Влаго содержание ягод оценивали по точкам, схема которых приведена на Рисунок 8.

Рисунок 8

Схема точек отбора ягод для анализа влагосодержания



В Таблице 3 приведены данные по влагосодержанию сухих ягод винограда в зависимости от расстояния между продольной и поперечной осями лотка и точкой замера.

Таблица 3

Влаго содержание сухих ягод винограда, %

Расстояние от продольной оси, мм	Расстояние от центра до точки поперечной оси, мм			
	<i>Без использования отражателя</i>			
	0	60	120	180
0	6,9	7,0	7,1	7,3
60	7,3	7,4	7,7	8,0
120	7,8	8,1	8,2	8,6
180	8,4	8,4	8,6	9,1
	<i>С использованием параболического отражателя</i>			
	0	60	120	180
0	7,1	7,2	7,3	7,4
60	7,2	7,2	7,3	7,5
120	7,4	7,5	7,7	7,9
180	7,6	7,8	7,9	8,1

Данные, представленные в Таблице 3 свидетельствуют о том, что без использования отражателя влагосодержание в продукте, расположенном на периферии, несколько выше, чем в ягодах, расположенных по центру лотка. При использовании отражателя эта разница существенно меньше. Содержание влаги во всех сушеных ягодах было менее 19 %, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 6882–88 «Виноград сушеный. Технические условия»¹.

Представленные выше результаты схожи с результатами проводимых ранее исследований (Chen et al., 2017; Verspeek et al., 2020; Popov et al., 2019; Waghmare et al., 2016; Черевко и соавт., 2015), подтверждающие эффективность использования параболического отражателя при инфракрасной сушке пищевых продуктов. Проведенные в работе исследования позволили разработать эффективный отражатель, который обеспечивает равномерный нагрев продукта по всей поверхности лотка и в конечном счете повышает качество сушки.

¹ ГОСТ 6882–88. (2009). Виноград сушеный. Технические условия. М.: Стандартинформ.

ВЫВОДЫ

В ходе данной работы были полностью достигнуты поставленные задачи. С помощью моделирования в программе TracePro и экспериментальными исследованиями была подтверждена эффективность разработанного параболического отражателя при инфракрасной сушке продуктов. Отражатель обеспечивает отклонение лучей таким образом, чтобы обеспечивать более равномерное падение теплового потока на всю площадь лотка с продуктом и более равномерную сушку.

Возможным направлением дальнейших исследований может быть исследование распределения светового потока в отражателях другой конструкции для обеспечения оптимальной равномерности

сти падения световых лучей на площадь лотка при возможно наименьшем размере сушильной камеры и наименьшим потерям энергии излучателя в окружающую среду. Ограничениями в такой работе являются допустимые геометрические размеры самих сушильных установок.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Ермолаев Владимир Александрович — формулирование исследовательских целей и задач; разработка или проектирование методологии исследования; создание модели исследования; проведение экспериментов; подготовка и создание рукописи, её комментирование и пересмотр.

ЛИТЕРАТУРА

- Афонькина, В. А. (2012). Теоретические аспекты обоснования выбора пленочных ИК — излучателей для сушки термолабильных культур. *Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии*, 62, 5–9.
- Ермолаев, В. А., & Расщепкин, А. Н. (2009). Определение температур вакуумной сушки твердых сыров. *Сыроделие и маслоделие*, (4), 44–45.
- Завалий, А. А., & Янович, И. В. (2010). Влияние формы отражающих поверхностей на равномерность облучения продукта сушки в инфракрасной сушильной камере. *Харчова наука і технологія*, (4), 91–95.
- Зудин, Е. С., Попов, Е. С., & Афонькина, В. А. (2017). К вопросу об инфракрасной сушке макаронных изделий. В *Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы VIII международной научно-практической конференции* (с. 89–92). Саратов: Саратовский ГАУ.
- Просеков, А. Ю., Ермолаев, В. А., & Солдатова, Л. С. (2010). Аминокислотный состав сыров до и после вакуумной сушки. *Сыроделие и маслоделие*, (1), 30–31.
- Черевко, А. И., Киптелая, Л. В., & Киптелая, А. Н. (2015). Разработка ИК-сушилки с оптимальной формой камеры. *Технологический аудит и резервы производства*, (3), 4–9.
- Aboltins A., Palabinskis, J., & Vartukapteinis, K. (2017). Studies of the berry drying process in infrared film dryers. In *Proceedings of the international scientific conference Latvia University of Agriculture* (pp. 1515–1520). Latvia: Latvia University of Agriculture. <https://doi.org/10.22616/ER-Dev2017.16.N341>
- Aboltins, A., & Palabinskis, J. (2017). Studies of vegetable drying process in infrared film dryer. *Agronomy Research*, 15(2), 1259–1266.
- Adak, N., Heybeli, N., & Ertekin, C. (2017). Infrared drying of strawberry. *Food Chemistry*, 219, 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.103>
- Baptistini, F. M., Correa, P. C., Oliveira, G. H. H. D., Botelho, F. M., & Oliveira, A. P. L. R. D. (2017). Heat and mass transfer coefficients and modeling of infrared drying of banana slices. *Revista Ceres*, 64(5), 457–464. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201764050002>
- Chen, J., Yang, L., Zhang, Z., Wei, J., & Yang, J. (2017). Optimization of a uniform solar concentrator with absorbers of different shapes. *Solar Energy*, 158, 396–406. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.09.061>
- Ermolaev, V. A. (2018). Research of vacuum drying peculiarities of wild berries. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 8(4), 3483–3489.
- Ermolaev, V. A. (2020). The study of the microstructure of cheese before and after vacuum drying. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 10(4), 6007–6014. <https://doi.org/10.33263/BRIAC104.007014>
- Ermolaev, V. A., Kechkin, I. A., Romanenko, A. I., Buzetti, K. D., Ivanov, M. V., & Makhacheva, E. V. (2021a). Study of temperature regime effect on the process of cheeses vacuum drying. *Earth and Environmental Science*, 640, Article 032040. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/3/032040>
- Ermolaev, V., Kechkin, I., Makhacheva, E., Yakovchenko, M., Gurkovskaya, E., & Glebova, I. (2021b). Selection of effective technological parameters for vacuum drying of hard cheeses. *Earth and Environmental Science*, 659, Article 012064. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/659/1/012064>
- Grzelishvili, G., & Hoffman, P. (2012). *Infrared drying of food products*. Prague: Czech Technical University in Prague.
- Popov, V., Afonkina, V., Levinskii, V., Zudin, E., & Krivosheeva, E. (2019). Designing the infrared drying machines of

- cylindrical type with an active reflector. *Earth and Environmental Science*, 403(1), Article 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012008>
- Rasane, P. (2016). Recent advances in conventional drying of foods: A review. *Journal of Food Technology and Preservation*, 1, 24–34.
- Sakare, P., Prasad, N., Thombare, N., Singh, R., & Chandra, S. (2020). Infrared Drying of Food Materials: Recent Advances. *Food Engineering Reviews*, 12, 381–398. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09237-w>
- Samani, B. H., Gudarzi, H., Rostami, S., Lorigooini, Z., Esmaeili, Z., & Jamshidi-Kia, F. (2018). Development and optimization of the new ultrasonic-infrared-vacuum dryer in drying *Kelussia odoratissima* and its comparison with conventional methods. *Industrial Crops and Products*, 123, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.053>
- Si, X., Chen, Q., Bi, J., Wu, X., & Li, Z. (2016). Effect of infrared drying on the drying characteristics, quality and antioxidant activity of raspberry. *Journal of food process engineering*, 16, 157–164. <https://doi.org/10.16429/j.1009-7848.2016.09.022>
- Tysén, A., Vomhoff, H., & Nilsson, L. (2018). Through air drying assisted by infrared radiation: the influence of radiator power on drying rates and temperature. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 33(4), 581–591. <https://doi.org/10.1515/npprj-2018-2002>
- Verspeek, S., Ribbens, B., Maldague, X., Steenackers, G. (2020). Optimisation of a heat source for infrared thermography measurements: Comparison to mehler engineering service-heater. *Applied Sciences*, 10(4), Article 1285. <https://doi.org/10.3390/app10041285>
- Waghmare, S. A., & Gulhane, N. P. (2016). Design and ray tracing of a compound parabolic collector with tubular receiver. *Solar Energy*, 137, 165–172. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.08.009>
- Xie, L., Mujumdar, A. S., Fang, X. M., Wang, J., Dai, J. W., Du, Z. L., Xiao, H. W., Liu, Y., & Gao, Z. J. (2017). Far-infrared radiation heating assisted pulsed vacuum drying (FIR-PVD) of wolfberry (*Lycium barbarum* L.): Effects on drying kinetics and quality attributes. *Food and Bioprocesses Processing*, 102, 320–331. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.01.012>
- Yan, J. K., Wu, L. X., Qiao, Z. R., Cai, W. D., & Ma, H. (2019). Effect of different drying methods on the product quality and bioactive polysaccharides of bitter melon (*Momordica charantia* L.) slices. *Food Chemistry*, 271, 588–596. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.012>
- ## REFERENCES
- Afon'kina, V. A. (2012). Teoreticheskie aspekty obosnovaniya vybora plenochnykh IK — izluchatelei dlya sushki termolabil'nykh kul'tur [Theoretical aspects of substantiation of the choice of film IR emitters for drying thermolabile cultures]. *Vestnik Chelyabinskoi gosudarstvennoi agroinzhenernoi akademii* [Bulletin of the Chelyabinsk State Agro-engineering Academy], 62, 5–9.
- Ermolaev, V. A., & Rasshchepkin, A. N. (2009). Opreделение temperatur vakuumnoi sushki tverdykh syrov [Determination of vacuum drying temperatures of hard cheeses]. *Syrodellie i maslodellie* [Cheese Making and Butter Making], (4), 44–45.
- Zavali, A. A., & Yanovich, I. V. (2010). Vliyanie formy otrazhayushchikh poverkhnostei na ravnomernost' oblucheniya produkta sushki v infrakrasnoi sushil'noi kamere [The influence of the shape of reflective surfaces on the uniformity of irradiation of the drying product in an infrared drying chamber]. *Kharchova nauka i tekhnologiya* [Food Science and Technology], (4), 91–95.
- Zudin, E. S., Popov, E. S., & Afon'kina, V. A. (2017). K Voprosu ob infrakrasnoi sushke makaronnykh izdelii [On the question of infrared drying of pasta]. In *Aktual'nye problemy energetiki APK: Materialy VIII mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Actual problems of agro-industrial energy: Materials of the 8th International Scientific and Practical Conference] (pp. 89–92). Saratov: Saratovskii GAU.
- Prosekov, A. Yu., Ermolaev, V. A., & Soldatova, L. S. (2010). Aminokislotnyi sostav syrov do i posle vakuumnoi sushki [Amino acid composition of cheeses before and after vacuum drying]. *Syrodellie i maslodellie* [Cheese Making and Butter Making], (1), 30–31.
- Cherevko, A. I., Kiptelaya, L. V., & Kiptelaya, A. N. (2015). Razrabotka IK-sushilki s optimal'noi formoi kamery [Development of an IR dryer with an optimal chamber shape]. *Tekhnologicheskii audit i rezervy proizvodstva* [Technological Audit and Production Reserves], (3), 4–9.
- Aboltins A., Palabinskis, J., & Vartukapeinis, K. (2017). Studies of berry drying process in infrared film dryer. In *Proceedings of the international scientific conference Latvia University of Agriculture* (pp. 1515–1520). Latvia: Latvia University of Agriculture. <https://doi.org/10.22616/ER-Dev2017.16.N341>
- Aboltins, A., & Palabinskis, J. (2017). Studies of vegetable drying process in infrared film dryer. *Agronomy Research*, 15(2), 1259–1266.
- Adak, N., Heybeli, N., & Ertekin, C. (2017). Infrared drying of strawberry. *Food Chemistry*, 219, 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.103>
- Baptistini, F. M., Correa, P. C., Oliveira, G. H. H. D., Botelho, F. M., & Oliveira, A. P. L. R. D. (2017). Heat and mass transfer coefficients and modeling of infrared drying of banana slices. *Revista Ceres*, 64(5), 457–464. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201764050002>
- Chen, J., Yang, L., Zhang, Z., Wei, J., & Yang, J. (2017). Optimization of a uniform solar concentrator with absorbers of different shapes. *Solar Energy*, 158, 396–406. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.09.061>

- Ermolaev, V. A. (2018). Research of vacuum drying peculiarities of wild berries. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 8(4), 3483–3489.
- Ermolaev, V. A. (2020). The study of the microstructure of cheese before and after vacuum drying. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 10(4), 6007–6014. <https://doi.org/10.33263/BRIAC104.007014>
- Ermolaev, V. A., Kechkin, I. A., Romanenko, A. I., Buzetti, K. D., Ivanov, M. V., & Makhacheva, E. V. (2021a). Study of temperature regime effect on the process of cheeses vacuum drying. *Earth and Environmental Science*, 640, Article 032040. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/3/032040>
- Ermolaev, V., Kechkin, I., Makhacheva, E., Yakovchenko, M., Gurkovskaya, E., & Glebova, I. (2021b). Selection of effective technological parameters for vacuum drying of hard cheeses. *Earth and Environmental Science*, 659, Article 012064. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/659/1/012064>
- Grdzeliashvili, G., & Hoffman, P. (2012). *Infrared drying of food products*. Prague: Czech Technical University in Prague.
- Popov, V., Afonkina, V., Levinskii, V., Zudin, E., & Krivosheeva, E. (2019). Designing the infrared drying machines of cylindrical type with an active reflector. *Earth and Environmental Science*, 403(1), Article 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012008>
- Rasane, P. (2016). Recent advances in conventional drying of foods: A review. *Journal of Food Technology and Preservation*, 1, 24–34.
- Sakare, P., Prasad, N., Thombare, N., Singh, R., & Chandra, S. (2020). Infrared Drying of Food Materials: Recent Advances. *Food Engineering Reviews*, 12, 381–398. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09237-w>
- Samani, B. H., Gudarzi, H., Rostami, S., Lorigooini, Z., Esmaeili, Z., & Jamshidi-Kia, F. (2018). Development and optimization of the new ultrasonic-infrared-vacuum dryer in drying *Kelussia odoratissima* and its comparison with conventional methods. *Industrial Crops and Products*, 123, 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.053>
- Si, X., Chen, Q., Bi, J., Wu, X., & Li, Z. (2016). Effect of infrared drying on the drying characteristics, quality and antioxidant activity of raspberry. *Journal of food process engineering*, 16, 157–164. <https://doi.org/10.16429/j.1009-7848.2016.09.022>
- Tysén, A., Vomhoff, H., & Nilsson, L. (2018). Through air drying assisted by infrared radiation: the influence of radiator power on drying rates and temperature. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 33(4), 581–591. <https://doi.org/10.1515/npprj-2018-2002>
- Verspeek, S., Ribbens, B., Maldague, X., Steenackers, G. (2020). Optimisation of a heat source for infrared thermography measurements: Comparison to mehler engineering service-heater. *Applied Sciences*, 10(4), Article 1285. <https://doi.org/10.3390/app10041285>
- Waghmare, S. A., & Gulhane, N. P. (2016). Design and ray tracing of a compound parabolic collector with tubular receiver. *Solar Energy*, 137, 165–172. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.08.009>
- Xie, L., Mujumdar, A. S., Fang, X. M., Wang, J., Dai, J. W., Du, Z. L., Xiao, H. W., Liu, Y., & Gao, Z. J. (2017). Far-infrared radiation heating assisted pulsed vacuum drying (FIR-PVD) of wolfberry (*Lycium barbarum* L.): Effects on drying kinetics and quality attributes. *Food and Bioprocess Processing*, 102, 320–331. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.01.012>
- Yan, J. K., Wu, L. X., Qiao, Z. R., Cai, W. D., & Ma, H. (2019). Effect of different drying methods on the product quality and bioactive polysaccharides of bitter melon (*Momordica charantia* L.) slices. *Food Chemistry*, 271, 588–596. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.012>

УДК 637.146

Оценка йогуртного продукта, выработанного с применением вторичного молочного сырья — пахты

¹ Российский государственный аграрный университет — МСХА

² Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности

К. А. Канина¹, О. Н. Красуля¹, Н. А. Жижин²

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Канина Ксения Александровна

Адрес: 127550, г. Москва,
ул. Тимирязевская, 48
E-mail: kseniya.kanina.91@mail.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Канина, К. А., Красуля, О. Н., & Жижин, Н. А. (2023). Оценка йогуртного продукта выработанного с применением вторичного молочного сырья — пахты. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 57–68. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.375>

ПОСТУПИЛА: 12.08.2022

ПРИНЯТА: 05.03.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. Физиологические нормы питания и поступление пищи обогащенными разными эссенциальными веществами является предметом изучения многих специалистов, в том числе и технологов. Поэтому важное значение имеет изучение свойств продуктов с применением функциональных групп веществ. Вторичное сырье является источником биологически и физиологически важных веществ, которое может применяться в обогащение продуктов питания, в том числе йогуртных продуктов, с целью уменьшения дефицита эссенциальных веществ, которые могут привести к нарушению пищевого статуса, а также нести положительный экономический эффект с точки зрения ресурсосберегающей технологии производства.

Цель. Изучение технологии производства продукта на основе вторичного молочного сырья — пахты и определение его качественных показателей.

Материалы и методы. Исследования проведены на кафедре технологии хранения и переработки продуктов животноводства РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева совместно с Всероссийским научно-исследовательским институтом молочной промышленности. Сырье для производства йогурта и йогуртного продукта поставлялось из зоостанции РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева. Для определения химических, микробиологических, органолептических показателей использовались стандартные методы согласно методикам и нормативам. Жирнокислотный состав оценивали по средством газовой хроматографии, принцип действия основан на разделении исследуемого образца на отдельные химические компоненты, и идентификация компонентов проводилась по средствам стандартных веществ. Витамины определяли с применением жидкостного хроматографа. Разделение компонентов смеси, основан на различии в равновесном распределении их между двумя несмешивающимися фазами, одна из которых неподвижна, а другая подвижна (элюент). Структурно-механические характеристики определяли с помощью анализатора текстуры, принцип действия анализатора основан на преобразовании датчиком нагрузки, приложенной к испытываемому образцу, в аналоговый электрический сигнал, изменяющийся пропорционально этой нагрузке.

Результаты. В выработанных продуктах были изучены физико-химические и реологические показатели. На основе полученных данных установлено, что йогуртный продукт, с применением вторичного сырья пахты обладает более низкой калорийностью по сравнению с классическим йогуртом из молока. Так же высокое содержание витаминов группы В в пахте, позволяет получать продукт с выраженными биологически активными свойствами. Установлено, что в исследуемых образцах йогуртного продукта присутствовала микрофлора, характерная для традиционного йогурта, это — *Str.thermophilus* и *Lbm.bulgaricus*. Жизнеспособность клеток высокая, на конец срока хранения и она составила в среднем $5,04 \cdot 10^7$ КОЕ/см³, что подтверждается показателем кислотообразования в продуктах — более 100 °Т

Вывод. Разработанная технология производства йогуртного продукта является не только ресурсосберегающей, но и относится к сфере бережного производства. Полученный продукт можно рекомендовать в качестве диетического питания, как источник биологически активных веществ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Пахта, йогурт, физико-химический состав, бережное производство, ресурсосберегающая технология, йогуртный продукт

Evaluation of a Yogurt Product Produced Using Secondary Dairy Raw Materials – Butter Milk

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

² All-Russian Scientific Research Institute of the Dairy Industry

Ksenia A. Kanina¹, Olga N. Krasulya¹, Nilolay A. Zhizhin²

CORRESPONDENCE:

Ksenia A. Kanina

Address: 48, Timiryazevskaya str., Moscow, 127550, Russia
E-mail: kseniya.kanina.91@mail.ru

FOR CITATIONS:

Kanina, K. A., Krasulya, O. N., & Zhizhin, N. A. (2023). Evaluation of a yogurt product produced using secondary dairy raw materials – Butter milk. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 57–68. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.375>

RECEIVED: 12.08.2022

ACCEPTED: 05.03.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background. The physiological norms of nutrition and the intake of food enriched with various essential substances are the subject of study by many specialists, including technologists. Therefore, it is important to study the properties of products using functional groups of substances. Secondary raw materials are a source of biologically and physiologically important substances that can be used in the fortification of food, including yogurt products, in order to reduce the deficiency of essential substances that can lead to a violation of nutritional status, and also have a positive economic effect from the point of view of resource-saving production technology.

Purpose. Study of the technology of production of a product based on secondary dairy raw materials – buttermilk and determination of its quality indicators.

Materials and Methods. The research was conducted at the Department of Technology of Storage and Processing of Animal Products of the Russian State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev together with the All-Russian Research Institute of Dairy Industry. Raw materials for the production of yogurt and yogurt product were supplied from the zoo station of the RGAU – MSHA named after K.A. Timiryazev. Studies of raw materials and dairy products were carried out according to generally accepted methods.

Results. Physicochemical and rheological parameters were studied in the developed products. Based on the data obtained, it was found that the yoguric product, with the use of secondary raw materials of buttermilk, has a lower calorie content compared to the classic yogurt made from milk. Also, the high content of B vitamins in buttermilk makes it possible to obtain a product with pronounced biologically active properties. It was found that the microflora characteristic of traditional yogurt was present in the studied samples of the yogurt product, these are *Str.thermophilus* and *Lbm.bulgaricus*. Cell viability is high, at the end of the shelf life and it averaged $5,04 \cdot 10^7$ CFU/cm³, which is confirmed by the indicator of acid formation in products – more than 100 ° T

Conclusions. The developed technology of yogurt product production is not only resource-saving, but also belongs to the field of careful production. The resulting product can be recommended as a dietary supplement, as a source of biologically active substances.

KEYWORDS

Buttermilk, yogurt, physico-chemical composition, careful production, resource-saving technology, yogurt product

ВВЕДЕНИЕ

Кисломолочные продукты имеют важное значение в питании человека. Они обладают высокой пищевой и биологической ценностью. В их состав входят эссенциальные вещества, которые необходимы в питании людей. Кроме того, они содержат различные консорциумы микроорганизмов, так называемую «полезную микрофлору», которая поддерживает иммунитет организма человека (Макарова & Намазова-Баранова, 2015). Расширение ассортимента кисломолочных напитков, обуславливается экономической целесообразностью (эффективностью) их производства. Применение различных пищевых ингредиентов в технологическом процессе выработки кисломолочных продуктов, в качестве управляющих воздействий, способствует расширению линейки продуктов на молочном рынке.

Известно, что самым востребованным кисломолочным продуктом у потребителей является кефир, затем следует йогурт (Канина & Робкова, 2015). Одним из вариантов расширения йогуртных продуктов является применение вторичного белково-углеводного сырья, такого как пахта (Вышемирский, 2011; Turcot et al., 2001). Белки пахты представлены лактоальбумином — 0,4%, лактоглобулином — 0,1–0,35% (Огнева и соавт., 2018, Vasbinder & de Kruif, 2003). Известно, что в своем составе она имеет водорастворимые витамины группы В, С и жирорастворимые витамины группы А, Д и Е, биологически активные белки — лейцитин, ангиогенин, которые обладают фактором роста кровеносных сосудов, иммуномодулирующими свойствами, последний участвует как ингибитор синтеза меланина (Макаренко, 2018). При производстве сливочного масла в пахту переходят фосфолипиды — около 75%, которые участвуют в активизации работы ферментов. Кроме того, из-за активизации работы ферментов и содержания легкоусвояемого белка, пахта обладает атерогенными свойствами (Чекалева & Острецова, 2012). Целевые соединения, находящиеся в составе белкового-углеводного сырья, полностью переходят в продукт, тем самым обогащая его дополнительными микроэлементами. Среди российских ученых, которые в своих работах изучали функционально-технологические свойства пахты, следует отметить работы (Евдокимова, 2010; Храмцов, 2018) и др., а также результаты исследований зарубежных ученых (Negussie Gebreselassie et al., 2016, Ye et al., 2004; Zisu et al., 2009), и др.

Проблема комплексной переработки всех составных частей молока и их рационального использования остается актуальной. Так как различные составные части молока при производстве молочных продуктов остаются невостребованными в дальнейшем технологическом процессе, в том числе и пахта, которая является побочным продуктом от производства сливочного масла. При этом постоянное стремление предприятий к устранению различных видов потерь является актуальной задачей, а также экономически обосновано. Кроме того, вторичное сырье является важным резервом увеличения объемов производства молочных продуктов (Макаренко, 2018). Необходимость рационального применения вторичного молочного сырья является сущностью «бережливого производства», обеспечивающего конкурентоспособность предприятия (Камарова & Хавкин, 2017).

Цель исследования, оценка йогуртного продукта, выработанного с применением вторичного сырья — пахты. Для установления целесообразности использования пахты в технологии производства йогуртных продуктов, а также оценки его как источника целевых соединений, которые могут потенциально обогатить йогурт как продукт.

При выполнении исследования использовали стандартные методы исследования физико-химического состава, как сырья, так и молочных продуктов. Структурно-механические показатели йогурта и йогуртных продуктов определяли с помощью прибора фирмы Brookfield. Исследования витаминного состава провели с применением жидкостного хроматографа 1260 фирмы Agilent (США). Экспериментальные исследования проводили в трехкратной повторности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты и материалы

Исследования проводились на кафедре технологии хранения и переработки продуктов животноводства РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. Все показатели состава и свойств молока и пахты, а также продуктов на их основе определяли в соответствии с существующими стандартными методами и использованием приборной базы кафедры совместно со Всероссийским институтом молочной промышленности.

ленности (ВНИМИ). Объектами исследования являлись: (1) йогуртный продукт, выработанный на основе белкового-углеводного сырья — пахты (100%), (2) йогуртный продукт из смеси молока — коровьего и пахты в соотношении 50 %:50 % (1:1), (3) йогурт, выработанный из коровьего молока (100%) по традиционной технологии.

Для сквашивания молочного сырья использовалась закваска отечественного производства (ВНИМИ), с консорциумом микроорганизмов *Lbm.bulgaricus*; *Str. Thermophilus*. Коровье молоко — сырье поставлялось из зоостанции РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева.

Оборудование

Анализ жирнокислотного состава проводили с использованием газового хроматографа «Кристаллюкс 4000М», оснащенный пламенно-ионизационным детектором (ПВД) — с пределами детектирования $1,1 \times 10^{12}$ г С/с по пропану. Анализ проводили при помощи кварцевой колонки $100 \text{ м} \times 0,25 \text{ мм ID}$, $0,2 \text{ мкм}$ с неподвижной фазой FFAP. Для идентификации смеси использовали стандарт метиловых эфиров жирных кислот Supelco FAMEmix 37 components. В качестве газа — носителя использовали азот, при следующей температурной программе разделения: температура T_1 колонки 140°C с выдержкой 5 мин, T_2 колонка 240°C со скоростью 4 гр/мин; температура испарения 230°C ; объем вводимой пробы 1 мкл. Для управления режимами анализа, записи хроматограмм и обработки полученной информации использовалось программное обеспечение «NetChrom». Расчет состава метиловых эфиров жирных кислот проводили методом внутренней нормализации.

Структурно-механические характеристики определяли с помощью Анализатора текстуры СТ-3 фирмы Brookfield. Характеристика зонда — Т4 с ди-

аметром 38,1 мм. Испытания проводили при температуре 20°C

Исследование состава витаминов группы В проводилось с применением жидкостного хроматографа 1260 фирмы Agilent (США). Хроматограф оснащен бинарной насосной системой для возможности проведения градиентного элюирования анализируемых компонентов. Термостатом колонок и автосамплером. В качестве детектора использован масс-спектрометр с тройным квадруплом Ultivo LC/TQ Agilent (США). Разделение аналитов проведено на хроматографической колонке Agilent InfinityLab 120 Poroshell 120 Phenyl-Hexyl, $3,0 \times 100 \text{ мм}$, $2,7 \text{ мкм}$ с предколонкой.

Методы

Использовались следующие методы определения физико-химических, микробиологических, органолептических и структурно-механических показателей молока-сырья и пахты: (1) плотность, кг/м^3 — ареометрическим методом в соответствии с ГОСТ Р 54758–2011 «Молоко и продукты переработки молока. Методы определения плотности»¹; (2) содержание жира, % — кислотным методом в соответствии с ГОСТ 5867–90 «Молоко и молочные продукты. Методы определения жира»²; (3) содержание белка, % — методом формольного титрования в соответствии с ГОСТ 25179–2014 «Молоко и молочные продукты. Методы определения массовой доли белка»³; (4) ГОСТ 34454–2018 «Определение массовой доли белка методом Кьельдаля»⁴; (5) СОМО, % — в соответствии с ГОСТ Р 54668–2011 «Молоко и молочная продукция. Методы определения массовой доли влаги и сухого вещества»⁵; (6) титруемая кислотность, $^\circ\text{T}$ — методом с применением индикатора фенолфталеина в соответствии с ГОСТ 3624–92 «Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности»⁶; (7) вкус и запах, внешний вид и консистенция, цвет — в соответствии с ГОСТ 34354–2017

¹ ГОСТ Р 54758–2011. (2011). *Молоко и продукты переработки молока. Методы определения плотности*. М.: Стандартинформ.

² ГОСТ 5867–90. (2017). *Молоко и молочные продукты. Методы определения жира*. М.: Стандартинформ.

³ ГОСТ 25179–2014. (2019). *Молоко и молочные продукты. Методы определения массовой доли белка*. М.: Стандартинформ.

⁴ ГОСТ 34454–2018. (2018). *Определение массовой доли белка методом Кьельдаля*. М.: Стандартинформ.

⁵ ГОСТ Р 54668–2011. (2011). *Молоко и молочная продукция. Методы определения массовой доли влаги и сухого вещества*. М.: Стандартинформ.

⁶ ГОСТ 3624–92. (2017). *Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности*. М.: Стандартинформ.

«Пахта и напитки на ее основе. Технические условия»⁷; (8) ГОСТ 33951–2016 Молоко и молочная продукция. Методы определения молочнокислых микроорганизмов⁸; (9) жирнокислотный состав анализировали согласно ГОСТ 32915–2014⁹.

Содержание витаминов группы В анализировали с применением метода высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (ВЭЖХ-МС). Экстракцию витаминов проводили по схеме: 1 г образца + 4 мл воды + 5 мл метанола + 0,1 г аскорбиновой кислоты (антиокислитель) обработка ультразвуком 30 мин. центрифугирование 3500 об/мин 10 мин. вымораживание жировой фазы, а затем фильтрация (размер пор фильтра 0,22 мкм) ВЭЖХ-МС. (Morelli, B. 1995).

Хроматографирование проводили в режиме градиентной подачи элюента. Элюент А 20 мМоль формиата аммония + 0,1 % р-ра муравьиной кислоты в воде. Элюент Б метанол + 0,1 % муравьиной кислоты. Для масс-спектрометрического детектора применялись следующие параметры: Сканирование велось в режиме мониторинга множественных реакций (MRM), источник ионов — ионизация электрораспылением (ESI), Температура осушающего газа 270 °С, Скорость потока осушающего газа 13 л/мин, Давление распылителя 2,76 бар, Напряжение на капилляре 2500 В, Напряжение сопла 0 В. (Chassaigne & Lobinski, 1998, Morelli, 1995; Kumar et al., 2010).

Процедура исследования

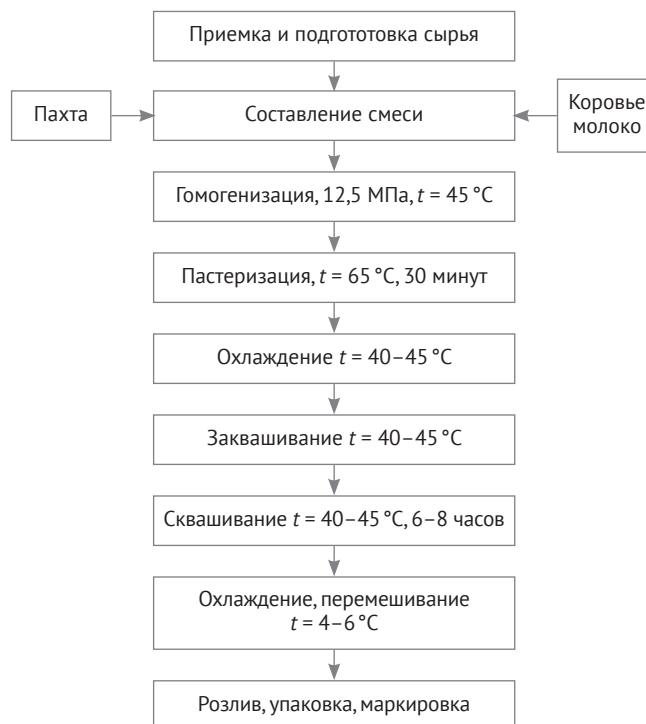
Выработка модельных образцов йогуртных продуктов производилось согласно следующей схеме (см. Рисунок 1).

Анализ данных

Статистический анализ полученных результатов произведен с применением программы Statistica 2.0., вероятностного калькулятора Probability Calculator.

Рисунок 1

Технологическая схема производства йогуртных продуктов с применением вторичного сырья — пахты



РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные результаты оценки физико-химических показателей качества пахты свидетельствуют, что массовая доля жира минимальна и составляет в среднем 0,5 %. Согласно А.В. Чекалеву и др. (2012) пахта является низкокалорийным продуктом и имеет хорошие вкусовые показатели, поэтому имеет предпосылки в создании на его основе комбинированных молочных продуктов. В пахте содержание белка, представленного, в основном, белково-лецитиновыми оболочками, составило 3,3 %. Белок, полученный из оболочек жировых шариков, является легкоусвояемым и рекомендуется в питании людей пожилого возраста, уменьшая появления холестерина низкой липопротеидной плотности. В последние несколько лет появляется все больше свидетельств того, белково-лейцитиновая оболочка шариков молочного жира может играть очень важную роль в здоровье желудочно-кишечного трак-

⁷ ГОСТ 34354–2017. (2017). *Пахта и напитки на ее основе. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

⁸ ГОСТ 33951–2016. (2016). *Молоко и молочная продукция. Методы определения молочнокислых микроорганизмов*. М.: Стандартинформ.

⁹

та и обладают полезными свойствами, такими как ингибирование роста раковых клеток (Snow et al., 2010), ингибирование адгезии патогена (Guri et al., 2012) и антимикробные свойства (Spitsberg, 2005; Sanchez-Juanes et al., 2009). Показатель титруемой кислотности пахты, обусловленный концентрацией слабой молочной кислоты, находился на уровне 18 °Т, является показателем развития микрофлоры.

Таблица 1

Физико-химические показатели белкового углеводного сырья — пахты

Показатель	Значение показателя			
	1	2	3	$M \pm m$
Плотность, кг/м ³	1029	1030	1030	1029,67 ± 0,6
Массовая доля, %:				
– жира,	0,5	0,4	0,4	0,43 ± 0,06
– белка,	3,2	3,3	3,3	3,27 ± 0,06
– СОМО	8,6	8,5	8,5	8,53 ± 0,06
Титруемая кислотность, °Т	18	18	18	18 ± 1,9

Результаты, приведенные в Таблице 1, свидетельствуют, что качество используемой пахты соответствует требованиям ГОСТ 34354–2017 «Пахта и напитки на ее основе. Технические условия»¹⁰, по-

этому ее можно использовать для производства йогуртных продуктов.

Анализ результатов оценки физико-химических показателей комбинированного молочного продукта (соотношение молока и пахты 1:1) показал, что массовая доля жира — не более 2%. Йогуртный продукт, выработанный на основе пахты имел минимальную массовую долю жира (0,33%), в связи с чем, продукт можно рекомендовать для диетического питания, так как его энергетическая ценность имеет значение около 35 ккал, по сравнению с двумя другими молочными продуктами (см. Таблицу 2).

Витамины группы В важны для функционирования организма человека. Из-за того, что витамины группы В не депонируют в организм человека в значительных количествах, они должны поддерживаться на адекватных уровнях за счет поступления с пищей, в том числе, и за счет обогащения продуктов. Недостаток данной группы витаминов, приводит к различному заболеванию.

При анализе состава витаминов группы В были получены результаты, отображенные в Таблице 3. Анализ данных показал, что йогурт выработанный из пахты имеет высокие показатели содержания витаминов группы В по сравнению с контролем: с применением вторичного сырья — пахты в нем повысилось содержание витамина В₁ на — 37%,

Таблица 2

Физико-химические показатели продуктов и их энергетическая ценность

Показатель	Значение показателя в контрольных и опытных образцах		
	Йогурт из молока (контроль)	Йогуртный продукт, выработанный на основе пахты (опытный образец 1)	Йогуртный продукт, выработанный из смеси молока и пахты в соотношении 1:1 (опытный образец 2)
Кислотность, °Т	100,3 ± 1,9	99,3 ± 1,9	99,7 ± 1,9
Массовая доля, %			
– жира,	2,90 ± 0,10	0,33 ± 0,06	1,87 ± 0,06
– белка,	3,07 ± 0,06	3,30 ± 0,00	3,23 ± 0,06
– СОМО	9,47 ± 0,06	8,67 ± 0,06	8,63 ± 0,06
КМАФАнМ, КОЕ/см ³	4,8 · 10 ⁷	5,14 · 10 ⁷	5,2 · 10 ⁷
Калорийность, ккал/100 г	48,06	35,4	43,31

¹⁰ ГОСТ 34354–2017. (2017). *Пахта и напитки на ее основе. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

Таблица 3

Состав витаминов группы В в продуктах

Продукт	Витамины, мкг/100 г (n = 3)						
	B ₁	B ₂	B ₅	B ₆	B ₇	B ₉	B ₁₂
Йогуртный продукт, выработанный на основе пахты (опытный образец 1)	62,18	206,675	529,898	47,244	3,459	7,624	0,871
Йогуртный продукт, выработанный из смеси молока и пахты в соотношении 1:1 (опытный образец 2)	55,006	190,015	428,003	40,398	3,265	7,150	0,541
Йогурт из молока (контроль)	35,41	167,010	370,401	32,808	3,007	6,203	0,362

на 13 % — витамина B₂ и B₅, на 23 % — B₆, на 14,5 % — B₉, на 38 % — B₁₂.

Насыщенные жирные кислоты, которые содержатся в молочных продуктах являются источником энергетического материала. Их избыток в питании приводит к нарушению метаболизма организма потребителя (Зайцева, 2010, El-Loly, 2011). Согласно данным (Огнева и соавт., 2018) и др. пахта обогащена жирными кислотами: масляной, муравьиной, уксусной, а также тетраеновыми, триеновыми и диариновыми жирными кислотами с конъюгированными связями.

Анализ данных жирнокислотного состава показал (См. Таблицу 4), что при высоком содержании полиненасыщенных жирных кислот, а также насыщенных жирных кислот комбинированный йогурт,

выработанных из молока и пахты (1:1) остается неизменным жирнокислотным профилем и идентичен йогурту, выработанному из молока, он практически не обогащается дополнительными жирными кислотами. Что связано с низким содержанием жира в сырье-пахте, за счет этого в том числе снижается калорийность йогуртных продуктов.

При микрокопировании образцов контрольных и опытных образцов, подтверждено наличие характерной микрофлоры для йогурта, в нем присутствовали консорциум микроорганизмов *Lbm. bulgaricus*, *Str. Thermophilus*. Количество жизнеспособных клеток на конец срока хранения в контрольных и опытных образцах составило $5,04 \cdot 10^7$. В фиксированном препарате видны бактериальные культуры кокков, клетки располагаются поодиночке и в виде коротких цепочек (См. Рисунок 2— сле-

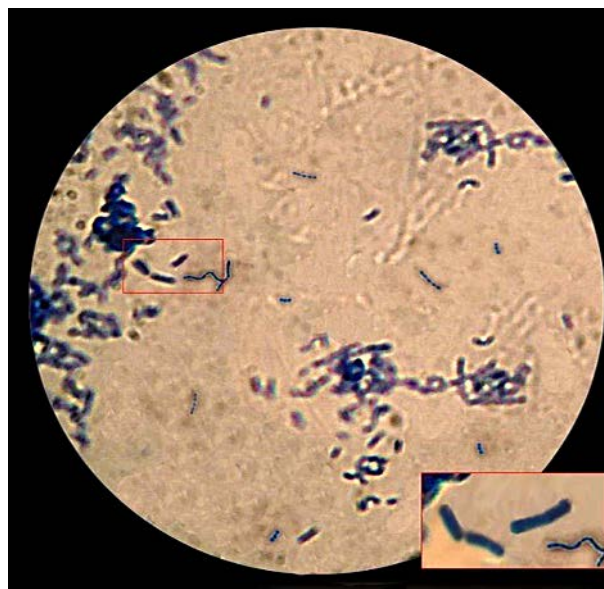
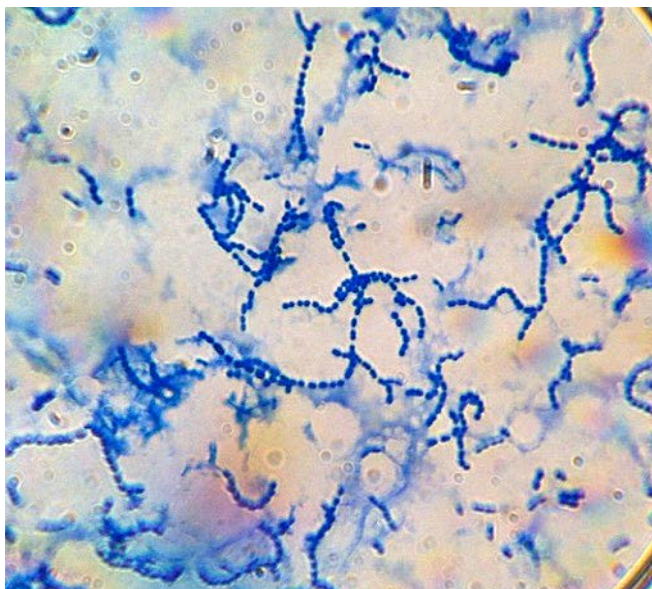
Таблица 4

Жирнокислотный состав продуктов

Жирные кислоты, % от суммы жирных кислот	Продукт (n = 3)		
	Йогурт из молока (контроль)	Йогуртный продукт, выработанный на основе пахты (опытный образец 1)	Йогуртный продукт, выработанный из смеси молока и пахты в соотношении 1:1 (опытный образец 2)
Насыщенные	66,04	66,01	67,12
Мононенасыщенные	3,45	3,34	3,21
Диеновые	2,8	1,68	2,8
Полиненасыщенные, в том числе:	3,59	2,04	3,21
— линолевая	2,8	1,68	2,79
— линоленовая	0,39	0,33	0,40
— арахидоновая	0,04	0,02	0,039
CLA	0,014	0,0053	0,010

Рисунок 2

Фиксированный препарат комбинированного йогуртного продукта в соотношении молока и пахты 1:1 с наличием *Lbm. bulgaricus*; *Str. Thermophilus*



ва) и болгарская палочка (См. Рисунок 2– справа), довольно крупная по размеру, она находится в виде отдельных клеток и цепочек.

При проведении дегустационной оценки образцов, отмечены более насыщенный цвет, вкус и аромат опытных по сравнению с контрольными. Отмечена заметная разница в показателе «консистенция» образцов. Образец, в технологии которого присутствует пахта (100%) был более жидким, по срав-

нению с продуктом, содержащим композицию пахты и молока (1:1), а также контрольного образца — йогурта, выработанного из цельного коровьего молока (см. Таблицу 5). Кроме того, наблюдалось небольшое отделение сыворотки (синерезис) в йогуртном продукте, содержащем смесь молока и пахты в соотношении 1:1. Для нивелирования эффекта синерезиса, возможно применение пахты в сухом виде, что позволит уменьшить количество свободной влаги в конечном продукте.

Таблица 5

Результаты органолептической оценки молочных продуктов

Продукт	Цвет	Консистенция	Запах	Вкус
Йогурт из молока (контроль)	Белый	Густая, однородная	Свойственный йогурту, без посторонних запахов	Кисломолочный, приятный мягкий
Йогуртный продукт, выработанный на основе пахты (опытный образец 1)	Имеет кремовый оттенок	Менее густая, чем у йогурта из молока, присутствует отделение сыворотки	Свойственный йогурту, без посторонних запахов	Приятный, с привкусом сливочного масла
Йогуртный продукт, выработанный из смеси молока и пахты в соотношении 1:1 (опытный образец 2)	Белый с желтоватым оттенком	Менее густая, чем у йогурта из молока, но не настолько жидкая, как у йогурта из пахты; отделение сыворотки присутствует, но незначительное	Свойственный йогурту, без посторонних запахов	Приятный, со сливочными нотками

Таблица 6

Результаты измерения структурно-механических показателей молочных продуктов

Показатель ($n = 3$)	Йогурт из молока (контроль)	Йогуртный продукт, выработанный на основе пахты (опытный образец 1)	Йогуртный продукт, выработанный из смеси молока и пахты в соотношении 1:1 (опытный образец 2)
Пенетрационное давление, г/см ²	64,5	25,5	32,0
Деформация, мм	14,7	14,9	14,9
Работа, мДж	6,91	3,01	3,33
Финальная нагрузка, г/см ²	64,0	20,5	30,5

При сравнении структурно-механических характеристик образцов продуктов (см. Таблицу 6) их значения отличаются. Более высокие показатели, свидетельствуют о более плотной и связанной консистенции продукта Daubert, (Hudson et al., 2006). Йогурт, выработанный из молока — 64 г финальная нагрузка, обладал густой консистенцией. Йогуртный продукт в соотношении 1:1 был менее связанной консистенцией — финальная нагрузка — 30,5 г, также как йогурт, выработанный из пахты — 20 г финальная нагрузка. Это предполагает для йогуртных продуктов, выработанного на основе пахты и в соотношении (1:1) можно отнести к типу питьевых продуктов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты исследователей (Чекалева & Острцова, 2012, Negussie Gebreselassie et al., 2016, Огнева и соавт., 2018) свидетельствуют о том, что пахта является сырьем, содержащим множество ценных биологических компонентов, которые возможно использовать для получения новых продуктов. Предложенный авторами вариант технологии йогуртного продукта, показывает, что применение вторичного сырья — пахты позволяет получить продукт с пониженной калорийностью и функциональной нагрузкой, обусловленной обогащением витаминами группы В. При изучении физико-химических, реологических и органолептических свойств полученных йогуртных продуктов, выяснено, что смесь пахты с молоком имеет приближенные к классическому йогурту показатели. Отмечено достаточно высокое количество жизнеспособных клеток всех заквасочных микроорганизмов в обоих образцах сквашенной молочной основы: термо-

фильного стрептококка и болгарской палочки. Что важно для аромата и вкуса кисломолочных продуктов. Кроме того, анализ данных, представленных в Таблице 2, свидетельствует о том, что комбинированная основа с долей концентрата пахты 1:1 служит более ценным источником биологически активных веществ, необходимых для развития исследуемой заквасочной микрофлоры в выбранных соотношениях. Из-за положительной динамики развития индикаторной микрофлоры продуктов на основе пахты повышается количество витаминов группы В, что положительно влияет на химический состав данных продуктов. Высокая концентрация витаминов отмечается в продукте, выработанном на основе пахты, что скорее связано с доступностью субстрата для микрофлоры во вторичном сырье. В связи с этим развитие способов использования, побочных продуктов в технологии молочной продукции является перспективным направлением, позволяющим полноценно использовать все компоненты молока.

ВЫВОДЫ

Целью исследования была оценка качества йогуртного продукта с применением вторичного сырья — пахты. Согласно рабочей гипотезе возможное применение вторичного сырья в технологии получения йогуртных продуктов, которые могли бы повысить объемы производства кисломолочной продукции. Применение такого сырья позволит снизить калорийность продукта, а также обогатить его витаминами группы В. Дальнейшие исследования в данном направлении целесообразно направить на изучение экономической эффективности данного производства.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Красуля Ольга Николаевна — формулирование исследовательских целей и задач, разработка или проектирование методологии исследования, подготовка и создание рукописи, её комментирование или пересмотр, ответственность за управление и координацию.

Канина Ксения Александровна — подготовка и создание черновика рукописи, в частности написание первоначального текста рукописи.

Жижин Николай Анатольевич — формулирование исследовательских целей и задач, ответственность за управление и координацию.

ЛИТЕРАТУРА

- Вышемирский, Ф. А. (2011). Пахта: минимум калорий — максимум биологической ценности. *Молочная промышленность*, (8), 54–56.
- Евдокимов, И. А. (2010). Реальные мембранные технологии. *Молочная промышленность*, (2), 49–50.
- Зайцева, Л. В. (2010). Роль различных жирных кислот в питании человека при производстве пищевых продуктов. *Пищевая промышленность*, (12), 60–63.
- Камарова, О. Н., & Хавкин, А. И. (2017). Кисломолочные продукты в питании детей: пищевая и биологическая ценность. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*, 62(5), 80–85. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2017-62-5-80-86>
- Канина, К. А., & Робкова, Т. О. (2015). Выявление качественного и востребованного йогурта на молочном рынке. В *Интенсивные технологии производства продукции животноводства: Сборник статей Международной научно-практической конференции* (с. 112–114). Пенза: Межотраслевой научно-информационный центр Пензенской государственной сельскохозяйственной академии.
- Макаренко, В. В. (2018). Вторичное молочное сырьё — одно из перспективных направлений развития молочной промышленности на инновационной основе. *Международный технико-экономический журнал*, (5), 17–20.
- Макарова, С. Г., & Намазова-Баранова Л. С. (2015). Кишечная микробиота и использование пробиотиков в практике педиатра. Что нового? *Педиатрическая фармакология*, 12 (1), 38–45. <https://doi.org/10.15690/pf.v12i1.1245>
- Огнева, О. А., & Чеснокова, А. А., Гладкая, О. О. (2018). Использование молочной сыворотки и пахты в производстве функциональных напитков. В *Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Сборник статей по материалам IV научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых* (с. 16–22). Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина.
- Храмцов, А. Г. (2018). Логистика формирования нового технологического уклада молочной отрасли пищевой индустрии АПК в условиях ограниченных ресурсов традиционного сырья. *Индустрия питания*, (3), 8–22. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2018-3-4-1>
- Чекалева, А. В., & Острецова, Н. Г. (2012). Использование концентратов пахты, полученных обратным осмосом и нанофильтрацией, производстве йогурта. *Молочно-хозяйственный вестник*, (3), 77–83.
- Chassaigne, H., & Lobinski, R. (1998). Direct species-selective determination of cobalamins by ionspray mass spectrometry and ionspray tandem mass spectrometry. *Analyt. Royal Society of Chemistry*, 123(1), 131–137. <https://doi.org/10.1039/a704698g>
- Daubert, C. R., Hudson, H. M., Foegeding, A. E., & Prabhasankar, P. (2006). Rheological characterization and electrokinetic phenomena of charged whey protein dispersions of defined size. *LWT — Food Science and Technology*, 39(3), 206–215.
- El-Loly, M. M. (2011). Composition, properties and nutritional aspects of milk fat globule membrane — A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 61(1), 7–32. <https://doi.org/10.2478/v10222-011-0001-0>
- Negussie Gebreselassie, N., Abrahamsen, R. K., Beyene, F., Abay, F., Narvhus, J. A. (2016). Chemical composition of naturally fermented buttermilk. *International Journal of Dairy Technology*, 69(2), 200–208. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12236>
- Kumar, S. S., Chouhan, R. S., & Thakur, M. S. (2010). Trends in analysis of vitamin B12. *Analytical Biochemistry*, 398(2), 139–149. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2009.06.041>
- Morelli, B. (1995). Determination of a quaternary mixture of vitamins B6, B1, and B12 and uridine 5'-triphosphate by derivative spectrophotometry. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 84(1), 34–37. <https://doi.org/10.1002/jps.2600840109>
- Turcot, S., Turgeon, S. L., & St-Gelais, D. (2001). Effet de la concentration en phospholipides de babeurre dans le lait de fromagerie sur la production et la composition de fromages allégés de type Cheddar. *Lait*, 81(3), 429–442. <https://doi.org/10.1051/LAIT:2001142>
- Vasbinder, A. J., & de Kruif, C. G. (2003). Casein–whey interactions in heated milk: The influence of pH. *International*

- al Dairy Journal*, 13(8), 669–677. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00120-1](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00120-1)
- Ye, A., Singh, H., Oldfield, D. J., & Anema, S., (2004). Kinetics of heat-induced association of b-lactoglobulin and a-lactalbumin with milk fat globule membrane in whole milk. *International Dairy Journal*, 14(5), 389–398. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.09.004>
- Zisu, B., Bhaskaracharya, R., Kentish, S., & Ashokkumar, M. (2009). Ultrasonic processing of dairy systems in large scale reactors. *Ultrasonic Sonochemistry*, 17(6), 1075–1081. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.10.014>
- ## REFERENCES
- Vyshemirsky, F. A. (2011). Buttermilk: Minimum calories — maximum biological value. *Dairy Industry*, (8), 54–56.
- Evdokimov, I. A. (2010). Real'nye membrannye tekhnologii [Real membrane technologies]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy Industry], (2), 49–50.
- Kamarova, O. N., & Khavkin, A. I. (2017). Kislomolochnye produkty v pitanii detei: pishchevaya i biologicheskaya tsennost' [Fermented milk products in children's nutrition: nutritional and biological value]. *Rossiiskii vestnik perinatologii i pediatrii* [Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics], 62(5), 80–85. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2017-62-5-80-86>
- Kanina, K. A., & Robkova, T. O. (2015). Vyyavlenie kachestvennogo i vostrebovannogo iogurta na molochnom rynke [Identification of high-quality and in-demand yogurt in the dairy market]. In *Intensivnye tekhnologii proizvodstva produktsii zhivotnovodstva: Sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Intensive technologies for the production of livestock products: Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference] (pp. 112–114). Penza: Mezhotraslevoi nauchno-informatsionnyi tsentr Penzenskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii.
- Khramtsov, A. G. (2018). Logistika formirovaniya novogo tekhnologicheskogo uklada molochnoi otrasli pishchevoi industrii APK v usloviyakh ogranichenykh resursov traditsionnogo syr'a [Logistics of the formation of a new technological structure of the dairy industry of the food industry of the agro-industrial complex in conditions of limited resources of traditional raw materials]. *Industriya pitaniya* [Food Industry], (3), 8–22. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2018-3-4-1>
- Makarenko, V. V. (2018). Vtorichnoe molochnoe syr'e — odno iz perspektivnykh napravlenii razvitiya molochnoi promyshlennosti na innovatsionnoi osnove [Secondary dairy raw materials are one of the promising directions for the development of the dairy industry on an innovative basis]. *Mezhdunarodnyi tekhniko-ekonomicheskii zhurnal* [International Technical and Economic Journal], (5), 17–20.
- Makarova, S. G., & Namazova-Baranova L. S. (2015). Kishechnaya mikrobiota i ispol'zovanie probiotikov v praktike pediatri [Intestinal microbiota and the use of probiotics in pediatrician's practice]. *Chto novogo? Pediatriceskaya farmakologiya* [What's new? Pediatric Pharmacology], 12(1), 38–45. <https://doi.org/10.15690/pf.v12i1.1245>
- Ogneva, O. A., & Chesnokova, A. A., Gladkaya, O. O. (2018). Ispol'zovanie molochnoi syvorotki i pakhty v proizvodstve funktsional'nykh napitkov [The use of whey and buttermilk in the production of functional beverages]. In *Sovremennye aspekty proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaistvennoi produktsii: Sbornik statei po materialam IV nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Modern aspects of production and processing of agricultural products: A collection of articles based on the materials of the IV scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists] (pp. 16–22). Krasnodar: Kubanskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet imeni I. T. Trubilina.
- Khramtsov, A. G. (2018). Logistics of the formation of a new technological structure of the dairy industry of the food industry of the agro-industrial complex in conditions of limited resources of traditional raw materials. *Food Industry*, (3), 8–22. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2018-3-4-1>
- Zaitseva, L. V. (2010). Rol' razlichnykh zhirnykh kislot v pitanii cheloveka pri proizvodstve pishchevykh produktov [The role of various fatty acids in human nutrition in food production]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], (12), 60–63.
- Chassaigne, H., & Lobinski, R. (1998). Direct species-selective determination of cobalamins by ionspray mass spectrometry and ionspray tandem mass spectrometry. *Analyst, Royal Society of Chemistry*, 123(1), 131–137. <https://doi.org/10.1039/a704698g>
- Daubert, C. R., Hudson, H. M., Foegeding, A. E., & Prabhasankar, P. (2006). Rheological characterization and electrokinetic phenomena of charged whey protein dispersions of defined size. *LWT — Food Science and Technology*, 39(3), 206–215.
- El-Loly, M. M. (2011). Composition, properties and nutritional aspects of milk fat globule membrane — A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 61(1), 7–32. <https://doi.org/10.2478/v10222-011-0001-0>
- Negussie Gebreselassie, N., Abrahamsen, R. K., Beyene, F., Abay, F., Narvhus, J. A. (2016). Chemical composition of naturally fermented buttermilk. *International Journal of Dairy Technology*, 69(2), 200–208. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12236>
- Kumar, S. S., Chouhan, R. S., & Thakur, M. S. (2010). Trends in analysis of vitamin B12. *Analytical Biochemistry*, 398(2), 139–149. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2009.06.041>

- Morelli, B. (1995). Determination of a quaternary mixture of vitamins B6, B1, and B12 and uridine 5'-triphosphate by derivative spectrophotometry. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 84(1), 34–37. <https://doi.org/10.1002/jps.2600840109>
- Turcot, S., Turgeon, S. L., & St-Gelais, D. (2001). Effet de la concentration en phospholipides de babeurre dans le lait de fromagerie sur la production et la composition de fromages allégés de type Cheddar. *Lait*, 81(3), 429–442. <https://doi.org/10.1051/LAIT:2001142>
- Vasbinder, A. J., & de Kruif, C. G. (2003). Casein–whey interactions in heated milk: The influence of pH. *International Dairy Journal*, 13(8), 669–677. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00120-1](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00120-1)
- Ye, A., Singh, H., Oldfield, D. J., & Anema, S., (2004). Kinetics of heat-induced association of b-lactoglobulin and a-lactalbumin with milk fat globule membrane in whole milk. *International Dairy Journal*, 14(5), 389–398. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.09.004>
- Zisu, B., Bhaskaracharya, R., Kentish, S., & Ashokkumar, M. (2009). Ultrasonic processing of dairy systems in large scale reactors. *Ultrasonic Sonochemistry*, 17(6), 1075–1081. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.10.014>

УДК 664.6 : 664.662

Исследования хлебопекарных свойств муки ржаной хлебопекарной обдирной, поставляемой на хлебопекарные предприятия РФ

Научно-исследовательский институт
хлебопекарной промышленности

М. В. Носова, Г. Ф. Дремучева

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Носова Марина Владимировна

Адрес: 107553, г. Москва,
ул. Большая Черкизовская, д. 26А, стр. 1
E-mail: m.nosova@gosnihp.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Носова, М. В., & Дремучева, Г. Ф. (2023).
Исследования хлебопекарных свойств
муки ржаной хлебопекарной обдир-
ной, поставляемой на хлебопекарные
предприятия РФ. *Хранение и перера-
ботка сельхозсырья*, (1), 69–82. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.385>

ПОСТУПИЛА: 18.11.2022

ПРИНЯТА: 02.03.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. В РФ хлеб из ржаной муки — традиционный продукт питания, который является источником многих ценных для человека пищевых веществ: витаминов В₁, В₂, В₉, РР, минеральных веществ — фосфора, железа, марганца, меди, селена и др. В настоящее время, по данным ФГАНУ НИИХП, Роскачества РФ и средств массовой информации, в торговые предприятия для реализации населению поступает определенная доля хлебобулочных изделий из ржаной муки и смеси ее с пшеничной с дефектами (малым объемом, не эластичным, крошащимся или комкующимся при разжевывании мякишем, не выраженным запахом и др.). Для оценки хлебопекарных свойств муки необходимы методы, позволяющие получить критерии, которые с высокой степенью достоверности обеспечивают объективную характеристику того или иного свойства муки. По мнению ученых ФГАНУ НИИХП и технологов хлебопекарных предприятий некоторые методы определения хлебопекарных свойств ржаной муки, установленных стандартом качества, недостаточно информативны. Целесообразна верификация показателей хлебопекарных свойств ржаной муки, а также включение дополнительных показателей и методов для более полной оценки хлебопекарных свойств ржаной муки.

Цель. Исследование хлебопекарных свойств 41-й пробы муки ржаной хлебопекарной обдирной, поставленной на ряд хлебопекарных предприятий РФ и обоснование необходимости совершенствования методологической базы с целью повышения качества хлебобулочных изделий.

Материалы и методы. В работе использовали 41 пробу ржаной хлебопекарной обдирной муки, предоставленных в ФГАНУ НИИХП хлебопекарными предприятиями РФ. Качество муки определяли по методам, предусмотренным стандартами ГОСТ (массовую долю влаги, белизну, число падения, зольность, крупность помола, цвет, запах, вкус и наличие минеральной примеси). Дополнительно определяли амилолитическую активность муки на приборе Амилограф и содержание белка.

Результаты. Исследуемые пробы муки по влажности и органолептическим показателям отвечают требуемым показателям качества, однако по физико-химическим показателям, а также по содержанию белка, соответствуют требованиям только четыре пробы муки, остальные пробы не соответствуют стандарту от одного до четырех показателей.

Выводы. Проведенные исследования свидетельствуют также о том, что методы определения крупности и автолитической активности муки не обеспечивают должную информативность характеристик указанных показателей, что вызывает необходимость корректировки их или разработки новых более репрезентативных методик.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

мука ржаная хлебопекарная, зольность, крупность помола, число падения, белизна, автолитическая активность, амилограмма, максимальная амилографическая вязкость

Studies of the Baking Properties of Rye Flour, Delivered to Baking Enterprises of the Russian Federation

Federal State Autonomous Scientific Institution "Scientific Research Institute of the Bakery Industry"

CORRESPONDENCE:

Marina V. Nosova

Address: 26A/1, BolshayaCherkizovskaya str., Moscow, 107553, Russian Federation
E-mail: m.nosova@gosnihp.ru

FOR CITATIONS:

Nosova, M.V., & Dremucheva, G.F. (2023) Studies of the baking properties of rye flour, delivered to baking enterprises of the Russian Federation. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 69–82. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.385>

RECEIVED: 18.11.2022

ACCEPTED: 02.03.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

Marina V. Nosova, Galina F. Dremucheva

ABSTRACT

Background. In the Russian Federation, rye flour bread is a traditional food product, which is a source of many valuable nutrients for humans: vitamins B₁, B₂, B₉, PP, minerals – phosphorus, iron, manganese, copper, selenium, etc. Currently, according to the data of the Scientific Research Institute of the Bakery Industry, the "Roskachestvo" of the Russian Federation and the mass media, a certain proportion of bakery products from rye flour and its mixture with wheat with defects (small volume, not elastic, crumbling or crumbling when chewing crumb, not pronounced odor, etc.) is supplied to commercial enterprises for sale to the population. To evaluate the baking properties of flour, methods are needed to obtain criteria that provide an objective characteristic of a particular property of flour with a high degree of reliability. According to the scientists of the Scientific Research Institute of the Bakery Industry and technologists of bakery enterprises, some methods for determining the baking properties of rye flour, established by the quality standard, are not informative enough. It is advisable to verify the indicators of the baking properties of rye flour, as well as the inclusion of additional indicators and methods for a more complete assessment of the baking properties of rye flour.

Purpose. The study of the baking properties of the 41st sample of rye baking flour, supplied to a number of baking enterprises of the Russian Federation and the justification of the need to improve the methodological base in order to improve the quality of bakery products.

Materials and Methods. The work used 41 samples of rye baking flaked flour, provided to the Scientific Research Institute of the Bakery Industry by baking enterprises of the Russian Federation. The quality of flour was determined by the methods provided for by GOST standards (mass fraction of moisture, whiteness, number of drops, ash content, coarseness of grinding, color, smell, taste and presence of mineral impurities). Additionally, the amylolytic activity of flour on the Amylograph device and the protein content were determined.

Results. The studied flour samples meet the required quality indicators in terms of moisture and organoleptic parameters, however, only four flour samples meet the requirements in terms of physical and chemical indicators, as well as protein content, the remaining samples do not meet the standard from one to four indicators.

Conclusions. The conducted studies also indicate that the methods for determining the size and autolytic activity of flour do not provide the proper information content of the characteristics of these indicators, which makes it necessary to adjust them or develop new more representative methods.

KEYWORDS

baking rye flour, ash content, grinding fineness, number of drops, whiteness, acidity, autolytic activity, amylogram, maximum amylographic viscosity



ВВЕДЕНИЕ

В научно-исследовательском институте хлебопекарной промышленности (ФГАНУ НИИХП) ежегодно проводят мониторинг показателей качества ржаной муки, поставляемой на хлебопекарные предприятия. Термин «хлебопекарные свойства муки» впервые сформулирован в начале XX в. (Hosney, 2012). С тех пор исследованиями отечественных и зарубежных ученых расширены и уточнены данные о роли ряда факторов в оценке хлебопекарных свойств ржаной муки (Hosney, 2012; Пучкова и соавт., 2005; Cauvain, 2012). В результате предложены основные показатели муки и их нормы, обеспечивающие характерные органолептические и физико-химические показатели качества хлебобулочных изделий из ржаной муки и смеси ее с пшеничной, изложенных в соответствующих ГОСТ. В Российской Федерации в настоящее время требования к качеству муки ржаной хлебопекарной изложены в ГОСТ 7045–2017¹.

В производстве хлеба из ржаной муки и смеси ее с пшеничной используют различные способы приготовления теста: на густых, жидких, концентрированных и других заквасках, в том числе без и с применением заквасок (Поландова и соавт., 2008; Пучкова и соавт., 2005; Cauvain, 2012; Ауэрман, 2005), реализацию которых осуществляют в различном машинно-аппаратурном оформлении. Промышленная эволюция технологических систем с высокой механизацией и автоматизацией повысила требования к критериям эффективности эксплуатации производственных линий, известный опыт функционирования которых в РФ и за рубежом свидетельствует о необходимости использования сырья с заданными и стабильными характеристиками (Пучкова и соавт., 2005; Поландова и соавт., 2008; Панфилов, 2007). В РФ действуют преимущественно хлебозаводы, на которых вырабатывают широкий ассортимент хлебобулочных изделий, в т.ч. с высокой степенью механизации производственных процессов. Для таких предприятий стабильность качества используемого сырья чрезвычайно важный фактор в реализации технологических процессов на постоянном уровне целостности.

В Научно-исследовательском институте хлебопекарной промышленности (ФГАНУ НИИХП) ежегодно исследуют хлебопекарные свойства муки, поставляемой на хлебопекарные предприятия РФ. Данная практика согласуется с международной, обусловленной необходимостью снабжения хлебопечков информацией об особенностях качества зерна нового урожая и хлебопекарных свойствах вырабатываемой из него муки. На основании полученных данных выдают рекомендации по организации технологического процесса и повышению качества хлеба из муки с пониженными хлебопекарными свойствами (Поландова и соавт., 2010; Дремучева, 2005; Дремучева и соавт., 2013). При этом систематический мониторинг качества муки актуален и для оценки уровня информативности предусмотренных показателей в оценке хлебопекарных свойств муки.

Многочисленными исследованиями доказано, что хлебопекарные свойства муки — основного сырья, как по доле в рецептуре изделия, так и функциональному значению, являются важнейшим фактором в технологической надежности потока и выработке хлебобулочных изделий надлежащего качества (Hosney, 2012; Пучкова и соавт., 2005; Cauvain, 2012; Ауэрман, 2005; Cauvain & Young, 2007; Шкваркина и соавт., 1968; Strubbe et al., 2019; Rozs, 1976). Использование нестандартного сырья обуславливает систематическую погрешность производства, нарушает целостность технологической системы и приводит к выработке нестандартной продукции (Панфилов, 2007).

В настоящее время для оценки качества ржаной муки в соответствии с ГОСТ 7045–2017² приняты следующие показатели: органолептические — цвет, запах, вкус, наличие минеральной примеси и физико-химические: влажность, масса металломагнитной примеси, число падения, крупность помола, зольность и белизна. При этом «белизна» действует взамен показателя «зольность» на предприятиях, оснащенных лабораторными приборами и аппаратурой по ГОСТ 26361³. Согласно ГОСТ 7045–2017⁴ по договору с потребителем муки ржаной хлебопекарной может быть ограничен верхний предел

¹ ГОСТ 7045–2017. (2019). *Мука ржаная хлебопекарная. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

² Там же

³ ГОСТ 26361–2013. (2014). *Мука. Метод определения белизны*. М.: Стандартинформ.

⁴ ГОСТ 7045–2017. (2019). *Мука ржаная хлебопекарная. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

числа падения — не более 220 с, а мука с числом падения (ЧП) более 220 с может быть использована в подсортировку к хлебопекарной ржаной муке с более низким числом падения.

До 1990 г. в число необходимых показателей муки включали кислотность, отражающую в определенной степени выход, условия и срок хранения муки. Кислотность определяли методом титрования водно-мучной болтушки по ГОСТ 27493–87⁵ (действующим и в настоящее время) (Поландова и соавт., 2010; Шкваркина и соавт., 1968).

Целесообразность наличия данного показателя, обуславливалась тем, что кислотность муки в существенной мере зависит от количества в зерне кислореагирующих веществ: аминокислот, содержащих карбоксильные группы и связывающих щелочь, фосфорной кислоты в виде различных соединений, а также жирных, органических (яблочная, щавелевая, молочная, аконитовая и др.) и других свободных жирных кислот — продуктов расщепления жиров под действием липазы. Помимо этого на кислотность зерна влияет химический состав почвы, на которой произрастала культура и другие факторы. К примеру, при внесении физиологически кислых удобрений в результате подкисления почв, вызванным природным почвообразовательным процессом, поступлением загрязняющих веществ из атмосферы и с осадками, и другими видами антропогенного воздействия (ГОСТ 27593–88)⁶. Нормальное здоровое зерно характеризуется низкой кислотностью (от 1,0 до 3,0 град).

При неблагоприятных условиях хранения: нарушении установленных режимов, чрезмерной продолжительности и других негативных факторов кислотность зерна повышается. К примеру, в результате самосогревания в зерне и муке резко возрастает количество уксусной и молочной кислот (Пучкова и соавт., 2005).

Исследованиями, проведенными в Научно-исследовательском институте хлебопекарной промышленности, установлено, что кислотность муки, определенная титрованием водно-мучной болтушки, достаточно достоверно характеризует све-

жесть муки (Поландова и соавт., 2010; Шкваркина и соавт., 1968).

При хранении в зерне и муке происходят биохимические процессы, в результате которых повышается кислотность, что затем сказывается на технологических свойствах муки. Одновременно в ряде случаев мука при хранении приобретает неприятный, горьковато-едкий привкус.

Вследствие указанных факторов использование муки с повышенной кислотностью может стать причиной появления посторонних неприятных вкусов, снижения объема хлеба, ухудшения структуры мякиша и внешнего вида корки хлеба. По данным Шкваркиной Т.Н. (Шкваркина и соавт., 1968) неприятные посторонние привкусы, появляющиеся в хлебе из муки с повышенной кислотностью, устранить полностью технологическими приемами не удастся.

Необходимость включения кислотности в перечень обязательных показателей качества ржаной муки подтверждает также установленный учеными Санкт-Петербургского филиала ФГАНУ НИИХП факт наличия в некоторых пробах товарной ржаной муки пищевых добавок с щелочной реакцией среды.

Сравнительная оценка экспериментальных данных показала, что, к примеру, введение добавки Rowelit G в количестве 0,1% от массы муки с целью стабилизации хлебопекарных свойств муки с низким ЧП приводит к повышению зольности, снижению кислотности и ферментативной активности муки, повышению ЧП. Установили, что в самоосахаренных заварках из такой муки замедляется накопление непосредственно редуцирующих сахаров, а отсутствие в удостоверении качества на муку информации об использовании добавок для корректировки хлебопекарных свойств муки приводит к проблемам при ведении технологического процесса на хлебозаводах (Кузнецова и соавт., 2021).

Большое значение в технологии хлебобулочных изделий имеет и крупность частиц муки. Размер частиц муки в определенной степени влияет на автотитическую и водопоглонительную способность

⁵ ГОСТ 27493–87. (2007). *Мука и отруби. Метод определения кислотности по болтушке*. М.: Стандартинформ.

⁶ ГОСТ 27593–88. (2006). *Почвы. Термины и определения*. М.: Стандартинформ.

муки, и, следовательно, на интенсивность биохимических и коллоидных процессов при приготовлении полуфабрикатов хлебопекарного производства, а затем на органолептические (состояние мякиша, вкус, запах и др.) и физико-химические (объем, свойств мякиша) показатели качества хлеба (Поландова и соавт., 2010).

Доказано влияние размера частиц муки на реологические свойства полуфабрикатов хлебопекарного производства, органолептические и физико-химические показатели качества хлебобулочных изделий: объем, формоустойчивость, вкус и запах, а также на эластичность и крошковатость мякиша, продолжительность сохранения свежести изделий (Strubbe et al., 2019; Панкратов, 2015; Урлапова, 2004; Марков и соавт., 2019; Акиенко, 2019). Чрезмерно крупная мука кажется более темной, хуже поглощает воду, т.к. крупные частицы муки медленнее набухают и время образования теста увеличивается. Сахарообразующая способность крупнодисперсной муки снижена, вследствие чего понижается интенсивность молочнокислого и спиртового брожения. В результате не обеспечивается достаточный объем хлеба, формируется грубая толстостенная пористость мякиша, корка хлеба — бледно окрашена, хлеб — не ароматный. Изделия, приготовленные из излишне измельченной (перетертой) муки характеризуются пониженным объемом, чрезмерно темными коркой и мякишем, быстро черствеющим при хранении хлеба, подовые изделия — расплывшейся формой.

За рубежом и в России широко применяют прибор Амилограф для оценки хлебопекарных свойств ржаной муки (Ауэрман, 2005). Рекомендовано, что при использовании ржаной муки с высокой максимальной амилографической вязкостью следует увеличить продолжительность замеса теста и использовать приемы, способствующие повышению набухания ее частиц. Однако увеличение количества воды с целью компенсации пониженной водопоглощательной способности муки приводит к снижению объема хлеба, крошковатости мякиша, ухудшению вкуса и сокращению срока хранения хлеба в свежем виде.

При использовании муки с повышенной автолитической активностью важно, как можно быстрее повысить кислотность теста, чтобы в начале клейстеризации набухший крахмал и белки не превра-

тились под действием ферментов в растворимые соединения. При этом, как отмечает Huber (Huber, 1980), хотя и хорошо известны средства и приемы для снижения ферментативной активности муки, но какой производитель при получении новой партии муки сможет быстро изменить рецептуру и режим тестоприготовления?

На европейском мукомольном рынке в оценке качества муки приоритетным является показатель — «зольность», которую тщательно контролируют, так как на основе ее определяют сорт муки. Белизна муки во многом зависит от естественных свойств, сорта и региона произрастания зерна, состава почвы, количества солнечных дней и других факторов и не всегда коррелирует с белизной мякиша хлеба. В связи с этим, в странах ЕС мукомолы не определяют белизну, поскольку цвет мякиша в большей степени зависит от собственных ферментов зерна — эстеразы и фосфолипазы, которые содержатся в субалейроновом слое эндосперма. Приоритетное использование в течение многих лет показателя белизны, определяемого экспресс-методом, вместо зольности, — более объективного и сложного в исполнении метода, привело к структурным изменениям на российском мукомольном рынке. Изменился не только подход к оценке качества, но и режимы производства муки. Именно применение экспресс-показателя белизны привело к излишнему измельчению муки на российских мельницах, так как белизна более мелкой муки выше, поскольку разрушенный крахмал лучше отражает свет, чем крахмальные зерна в цельной белковой оболочке (Strubbe et al., 2019).

Белизна муки напрямую не коррелирует с зольностью. Для обеспечения необходимого цвета муки и более низкой зольности европейские мукомолы сосредотачиваются на совершенствовании подготовки зерна к помолу (Strubbe et al., 2019; Марков и соавт., 2019; Акиенко, 2019; Недилько, 2018).

На европейских мельницах контролируют ЧП зерна для того, чтобы определить крупность помола, необходимого для конкретной партии зерна, а также чтобы мука смогла обеспечить стабильность теста и требуемый процесс брожения. Логика довольно проста — чем ниже ЧП, тем крахмал более доступен для собственных амилаз зерна и амилолитических ферментных препаратов в составе хлебопекарных улучшителей. Соответственно, чем ниже ЧП зерна,

тем крупнее будет применен помол для снижения доступности крахмала. Такой способ нивелирования ЧП на мельнице позволяет вырабатывать муку с оптимальной автолитической активностью, что положительно влияет на стабильность технологического процесса и выпуск хлеба с требуемыми показателями качества (Strubbe et al., 2019; Марков и соавт., 2019; Акиенко, 2019).

В чрезмерно мелкой муке слишком высокое содержание разрушенных зерен крахмала, что нежелательно в технологии хлеба, вследствие повышения количества субстрата для амилаз и ферментных систем хлебопекарных дрожжей (Baldwin, 2001; Goesaert et al., 2008). В связи с чем, для характеристики автолитической активности хлебопекарной муки целесообразен конкретный допустимый предел данного показателя, при котором процесс брожения во времени происходит более предсказуемо. В этом случае на российских мельницах предпочитают не укрупнять муку, как это часто делают в Европе, а вносят в готовую муку специальные добавки для повышения ЧП, особенно, если в помольной смеси есть проросшее или морозобоинное зерно. Как правило, это ингибиторы амилаз для торможения процесса осахаривания крахмала. Однако, если у муки высокое ЧП, то для снижения ЧП на мельнице могут добавлять солодовые амилазы (Strubbe et al., 2019; Марков и соавт., 2019). Указанные авторы также отмечают, что хотя применение подобных добавок корректируют ЧП в соответствии со спецификацией заказчика, но при этом не повышаются водопоглотительная способность муки и объем хлебобулочных изделий, а также не достигается равномерная пористость мякиша. Более того, такие добавки могут блокировать или снижать действие других хлебопекарных улучшителей, которые применяют на хлебопекарном предприятии при производстве хлебобулочных изделий» (Strubbe et al., 2019; Марков и соавт., 2019).

Цель исследования — обоснование необходимости совершенствования методологической базы определения хлебопекарных свойств муки ржаной хлебопекарной обдирной, в т.ч за счет расширения перечня показателей качества муки и разработки

более информативных методик определения дисперсности частиц муки, а также уточнения предела ЧП. Для осуществления цели необходимо:

- определить органолептические и физико-химические показатели качества проб ржаной хлебопекарной муки, предоставленных хлебопекарными предприятиями РФ;
- сравнить полученные характеристики с нормами, предусмотренными ГОСТ 7045⁷;
- обосновать дополнительные показатели хлебопекарных свойств ржаной муки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования

41 проба муки ржаной хлебопекарной обдирной, предоставленные во ФГАНУ НИИХП в период апрель 2020 — май 2022 гг. хлебопекарными предприятиями гг. Барнаула, Владивостока, Геленджика, Липецка, Казани, Кирова, Кирово-Чепецка, Москвы, Орла, Нижнего Новгорода, С-Петербурга, Серпухова, Стерлитамака, Твери, Тольятти, Челябинска, Южно-Сахалинска и гг. Александрова, Волоколамска, Воскресенска, Дедовска и Калининграда Московской обл., г. Лесозаводска Приморского края, Пгт. Красногвардейское Республики Крым. Производители муки — мукомольные предприятия из гг. Барнаула, Владимира, Казани, Кирова, Рязани, Самары, С.-Петербурга, Тольятти, Томска, Тулы, г. Алейска Алтайского края, Мичуринска Тамбовской обл., и гг. Луховиц, Ногинска и Пушкина Московской обл., с. Подгорное Липецкой обл, Пгт. Красногвардейское Республики Крым, г. Миллерово Ростовской обл. и г. Орша Республики Беларусь.

Согласно предоставленным удостоверениям качества все пробы муки по качеству соответствуют требованиям ГОСТ 7045⁸.

Методы

Методы оценки качества муки на соответствие требованиям ГОСТ 7045–2017⁹: массовая доля вла-

⁷ ГОСТ 7045–2017. (2019). *Мука ржаная хлебопекарная. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

⁸ Там же.

⁹ Там же.

ги — по ГОСТ 9404–88¹⁰, белизна — по ГОСТ 26361–2013¹¹, число падения — по ГОСТ 27676–88¹², зольность — по ГОСТ 27494–2016¹³, крупность помола — по ГОСТ 27560–87¹⁴, цвет, запах, вкус и наличие минеральной примеси — по ГОСТ 27558–87¹⁵; количество белка — по ГОСТ Р 54390–2011/ISO/TS 16634–2:2009¹⁶. Дополнительно определяли амилолитическую активность на приборе Амилограф по ГОСТ ISO 7973–2013¹⁷.

Процедура исследования

Исследовали хлебопекарные свойства муки ржаной хлебопекарной обдирной. Полученные данные сравнивали с нормами исследуемых показателей, предусмотренных ГОСТ 7045–2017¹⁸, а также характеристиками, установленными на приборе Амилограф, с рекомендуемыми в источниках научно-технической литературы; содержание белка в исследуемых пробах — со средним значениям количества белка в 100 г муки ржаной хлебопекарной обдирной, приведенных в Приложении А «Средние значения пищевой и энергетической ценности» в ГОСТ 7045–2017¹⁹.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследований определяли органолептические и физико-химические показатели качества муки ржаной обдирной. Затем сравнивали полученные данные с нормами показателей,

установленными ГОСТ 7045–2017²⁰. На основании полученных результатов выявили пробы, которые по показателям качества не соответствуют требованиям ГОСТ 7045–2017. На втором этапе определяли характеристики проб муки с использованием прибора амилограф и интерпретировали полученные данные. После чего оценку амилолитической активности проб муки по ЧП сравнивали с характеристиками, полученные с использованием Амилографа, с целью выявления наиболее информативного и объективного показателя автолитической активности ржаной муки.

Установили, что по цвету, запаху, вкусу и наличию минеральной примеси все исследуемые пробы муки ржаной хлебопекарной обдирной соответствуют требованиям ГОСТ 7045–2017²¹. Физико-химические показатели качества проб муки и нормы показателей приведены в Таблице 1, амилолитическая активность — в Таблице 2.

Из данных Таблицы 1 видно, что зольность проб варьирует от 1,02 до 1,67%. Зольность пяти проб (15, 16, 19, 20, 21) — выше нормы и составляет от 1,47 до 1,67%.

По белизне муки (от 6,0 до 16,0 ед.пр. РЗ-БПЛ) 23 пробы соответствуют требованиям ГОСТ 7045–2017²², но у 18 проб муки (3, 6, 7, 8, 10, 12, 16, 19, 25, 27, 29, 33, 34, 35, 36, 39, 40 и 41) — показатель ниже нормы (от 1,0 до 5,0 ед.пр. РЗ-БПЛ). Следовательно, 44% проб по данному показателю не соответствуют требованиям ГОСТ.

¹⁰ ГОСТ 9404–88. (2007). *Мука и отруби. Метод определения влажности*. М.: Стандартинформ.

¹¹ ГОСТ 26361–2013. (2014). *Мука. Метод определения белизны*. М.: Стандартинформ.

¹² ГОСТ 27676–88. (2009). *Зерно и продукты его переработки. Метод определения числа падения*. М.: Стандартинформ.

¹³ ГОСТ 27494–2016. (2019). *Мука и отруби. Метод определения зольности*. М.: Стандартинформ.

¹⁴ ГОСТ 27560–87. (2007). *Мука и отруби. Метод определения крупности*. М.: Стандартинформ.

¹⁵ ГОСТ 27558–87. (2007). *Мука и отруби. Метод определения цвета, запаха, вкуса и хруста*. М.: Стандартинформ.

¹⁶ ГОСТ Р 54390–2011/ISO/TS 16634–2:2009. (2013). *Продукты пищевые. Определение общего содержания азота путем сжигания по методу Дюма и расчет содержания белка*. М.: Стандартинформ.

¹⁷ ГОСТ ISO 7973–2013. (2019). *Зерно и зернопродукты. Определение вязкости с применением амилографа*. М.: Стандартинформ.

¹⁸ ГОСТ 7045–2017. (2019). *Мука ржаная хлебопекарная. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

¹⁹ Там же.

²⁰ Там же.

²¹ Там же.

²² Там же.

Таблица 1

Физико-химические показатели качества ржаной хлебопекарной обдирной муки и содержание белка

Номер пробы	Показатели					
	Влажность, % (не более 15,0)	Зольность, % (не более 1,45)	Белизна, ед. пр. (не менее 6,0)	Число падения (ЧП), с (не менее 150)	Крупность помола, %, остаток на сите №045 (не более 2,0)/ проход через сито № 46ПА-60 (не менее 60,0)	Количество белка, г (не менее 8,9)
1	12,2	1,40	16,0	190	2,0/55,0	7,7
2	11,6	1,45	13,0	188	5,0/61,0	8,9
3	12,2	1,30	1	200	3,0/50,0	7,6
4	10,9	1,40	12,0	236	0,2/59,0	8,1
5	12,6	1,30	9,0	164	1,0/61,0	8,9
6	12,6	1,45	2,0	208	2,0/60,0	9,0
7	12,8	1,45	1	144	2,0/51,0	9,2
8	11,0	1,30	1	251	2,0/55,0	8,9
9	12,0	1,45	14,0	209	0,1/63,0	9,4
10	11,8	1,45	1	219	3,0/52,0	9,1
11	11,2	1,45	11,0	174	3,0/62,0	9,0
12	11,6	1,45	4,0	206	3,0/61,0	9,1
13	11,4	1,40	14,0	180	3,0/65,0	8,9
14	11,9	1,38	13,0	211	1,0/42,0	8,0
15	11,7	1,67	9,0	259	2,0/36,0	7,6
16	12,1	1,63	1,0	221	1,0/33,0	8,8
17	12,6	1,45	6,0	240	1,0/57,0	7,6
18	12,5	1,45	16,0	182	4,7/60,0	8,9
19	10,0	1,57	1	249	1,0/54,0	8,5
20	12,0	1,59	7,0	206	0,2/78,0	8,0
21	11,3	1,47	14,0	290	0,1/67,0	8,9
22	9,6	1,39	10,0	240	0,5/63,0	8,6
23	11,6	1,40	16,0	250	0,4/65,0	6,9
24	10,7	1,44	13,0	222	0,3/62,0	8,1
25	12,3	1,40	1,0	218	2,0/61,0	7,7
26	11,9	1,45	12,0	192	0,3/69,0	7,7
27	11,7	1,45	1,0	207	2,0/52,0	8,4
28	9,3	1,44	10,0	213	0,1/68,0	8,9
29	9,0	1,40	5,0	197	0,2/69,0	8,8
30	12,9	1,39	6,0	184	1,0/71,0	8,1

Окончание Таблицы 1

Номер пробы	Показатели					
	Влажность, % (не более 15,0)	Зольность, % (не более 1,45)	Белизна, ед. пр. (не менее 6,0)	Число падения (ЧП), с (не менее 150)	Крупность помола, %, остаток на сите №045 (не более 2,0)/ проход через сито № 46ПА-60 (не менее 60,0)	Количество белка, г (не менее 8,9)
31	12,0	1,29	14,0	242	0,1/71,0	7,6
32	11,3	1,40	6,0	231	0,2/67,0	8,7
33	11,5	1,44	3,0	235	6,0 /65,0	8,2
34	12,4	1,02	2,0	260	1,0/ 56,0	7,5
35	11,1	1,23	1,0	200	0,5/ 47,0	8,9
36	12,1	1,38	1,0	256	2,0/61,0	8,3
37	11,4	1,40	10,0	232	0,5/69,0	8,5
38	11,0	1,11	13,0	258	0,6/60,0	9,1
39	11,5	1,28	2,0	241	2,9 / 57,0	9,6
40	11,1	1,08	4,0	256	0,6/61,4	8,4
41	11,2	1,44	5,0	159	0,8/60,5	10,8

Примечание: в головке таблицы в скобках указаны нормы, красным цветом выделены показатели, не соответствующие нормам, предусмотренным ГОСТ 7045–2017²³.

По крупности помола — остатку на сите № 045 — девять проб (2, 3, 10, 11, 12, 13, 18,33 и 39), т. е. примерно четвертая часть от общего числа исследуемых проб, не отвечают требованиям ГОСТ 7045–2017²⁴. Данный показатель у проб 3, 10, 11, 12 и 13 равняется 3,0%, пробы 2–5,0%, пробы 18–4,7%, пробы 33–6,0%, пробы 39–2,9%, что свидетельствует о повышенном количестве крупных частиц, остающихся после просеивания на сите № 045.

По проходу через сито № 46 ПА-60 удовлетворительным показателем (от 60,0 до 78,0%) характеризуются 27 проб, остальные 14 (1, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 19, 27, 34, 35 и 39 — пониженным показателем (от 33,0 до 59,0%), т. е. повышенным количеством крупных частиц муки.

Помимо этого три пробы (3, 10 и 39) не отвечают требованиям ГОСТ 7045–2017²⁵, как по превышен-

ному остатку на сите № 045 (3,0; 3,0 и 2,9%), так и пониженному проходу через сито № 46 ПА-60 (50,0; 52,0 и 57,0%), что свидетельствует о превышении доли крупных частиц в них. Такое заключение подтверждает и низкая белизна (1,0; 1,0 и 2,0 ед. пр.) этих проб. Однако число падения данных проб муки 200, 219 и 241 с — удовлетворительное, что позволяет предположить, что производители муки за счет крупности регулировали автолитическую активность муки.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что примерно 70% из исследуемых проб по крупности частиц муки не соответствуют требованиям ГОСТ 7045–2017²⁶, что может быть следствием несоблюдения оптимального технологического режима измельчения зерна, неисправности сит и др.

Число падения исследуемых проб муки представлено в широком интервале — от 144 до 290 с.

²³ ГОСТ 7045–2017. (2019). *Мука ржаная хлебопекарная. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

²⁴ Там же.

²⁵ Там же.

²⁶ Там же.

Согласно ГОСТ 7045–2017²⁷ характеристикой автолитической активности муки является число падения (норма для муки ржаной обдирной — не менее 150 с); таким образом, автолитическая активность проб, кроме пробы 7 (ЧП 144 с) — удовлетворительная.

Следует отметить, что в результате исследований, проведенных в СПБФ ФГАНУ НИИХП Л.И. Кузнецовой и др. установлено, что ЧП ржаной обдирной муки удовлетворительного качества должно варьировать от 150 до 220 с, а по данным В.Я Черныха (Черных, 2019) — ЧП 175 ± 15 с. Исходя из таких оценок, у 17 проб (4, 8, 15, 16, 17, 19, 21, 22, 23, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 38 и 39), т.е. примерно у 42 % показатель удовлетворительный, у остальных проб (за исключением пробы 7 с ЧП 144 с) с высоким ЧП (от 231 до 290 с) — пониженная автолитическая активность.

В Таблице 2 приведены показатели амилограмм водно-мучных суспензий из исследуемых проб ржаной обдирной муки, на рисунке 1 — амилограммы четырех проб муки (5, 11, 35 и 40).

Данные Таблицы 2 показывают, что характеристики мучных суспензий, определенные на Амилографе, существенно разнятся, так начало клейстеризации водно-мучных суспензий происходит при температуре от 55,0 (проба 3) до 60,6 °С (проба 27), температура достижения максимальной вязкости составляет от 57,0 (проба 21) до 72,3 °С (пробы 38 и 39), максимальная амилографическая вязкость (МаксАВ) — от 172 (проба 5) до 720 AU (проба 21). Две пробы муки (21 и 40) характеризуются пониженной (более 600 AU), десять проб (5, 6, 7, 12, 16, 19, 25, 27, 29 и 35) — повышенной (менее 300 AU), остальные пробы — удовлетворительной (300–600 AU) амилолитической активностью.

На Рисунке 1 представлены амилограммы четырех проб муки, свидетельствующие о том, что на хлебопекарные предприятия поставляют муку ржаную обдирную в достаточно широком диапазоне амилолитической активности. К примеру, пробы 5 и 35 характеризуются повышенной амилолитической активностью (МаксАВ — 172 и 275 AU, ЧП — 164 и 200 с), проба 11 — удовлетворительной амилолитической активностью (МаксАВ — 417 AU, ЧП 174 с)

Таблица 2

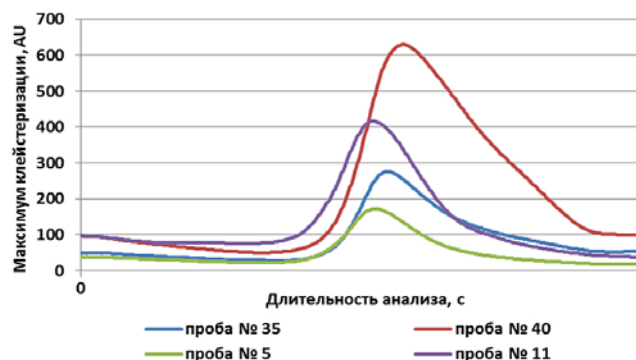
Показатели амилограмм водно-мучных суспензий из ржаной обдирной муки

Но- мер- про- бы	Температура начала клей- стеризации, °С	Температура достижения максимальной вязкости, °С	Максимальная амилографиче- ская вязкость, AU
1	56,8	67,4	364
2	55,1	67,0	403
3	55,0	67,8	426
4	58,4	68,9	445
5	58,4	66,6	172
6	59,1	69,6	202
7	58,0	67,4	282
8	55,3	69,3	470
9	58,8	68,4	361
10	56,0	69,4	322
11	55,6	66,6	417
12	59,0	69,9	267
13	56,3	67,5	371
14	58,6	69,3	344
15	57,0	70,8	438
16	58,9	69,9	211
17	55,6	68,8	430
18	58,2	67,6	308
19	58,4	68,9	268
20	57,4	67,9	309
21	56,6	57,0	720
22	57,0	68,5	398
23	56,1	69,6	529
24	57,9	69,5	401
25	57,8	69,6	278
26	57,5	68,9	300
27	60,6	71,4	261
28	56,4	70,5	389
29	58,5	69,3	271
30	59,1	68,3	300
31	58,6	70,5	442
32	57,1	72,1	322
33	58,3	69,9	342
34	59,3	70,6	333
35	59,4	68,3	275
36	59,3	68,4	327
37	56,1	68,8	485
38	58,5	72,3	377
39	57,0	72,3	331
40	57,6	70,4	630
41	56,6	67,6	383

²⁷ Там же.

Рисунок 1

Амилограммы 5, 11, 35 и 40 проб муки ржаной хлебопекарной обдирной



и проба 40 — с пониженной амилолитической активностью (МаксАВ — 630 AU, ЧП — 256 с).

Амилограммы свидетельствуют также о достаточно разной максимальной вязкости мучных суспензий исследуемых проб муки, и, соответственно, о разной амилолитической активности. Однако по ЧП, согласно ГОСТ 7045–2017²⁸, амилолитическая активность этих проб классифицируется одинаково, как удовлетворительная.

Таким образом, сравнение характеристики амилолитической активности муки по ЧП и МаксАВ свидетельствует о разной ее оценке. Так, по МаксАВ пробы муки 5, 6, 7, 12, 16, 19, 25, 27, 29 и 35 имеют повышенную амилолитическую активность (МаксАВ — 172, 202, 282, 267, 211, 268, 278, 261, 271 и 275 AU соответственно). Однако по нормам ГОСТ 7045–2017²⁹ (ЧП — 164, 208, 144, 206, 221, 249, 218, 207, 197 и 200 с) указанные пробы, за исключением пробы 7 (ЧП — 144 с), по амилолитической активности удовлетворительны. Согласно данному ГОСТ у пробы муки 21 (ЧП — 290 с) — удовлетворительная амилолитическая активность, а по МаксАВ (720 AU) — низкая. И только одна проба 7 и по ЧП — 144 с и по АА — 282 AU квалифицируется однозначно: неудовлетворительной амилолитической активностью: фактически высокой, свойственной муке, смолотой из зерна с заметной долей проросших зерен.

Установленное несоответствие оценки амилолитической активности муки: по ЧП и характеристикам амилограмм, обусловлено различными условиями проведения анализов. При определении ЧП масса пробы — 6–7 г, количество воды — 25 см³, продолжительность анализа — 120–300 с, при анализе с использованием амилографа — 80–90 г, 440–460 см³, 50 мин соответственно.

Очевидно, что вследствие большей массы муки и более продолжительного анализа на амилографе влияние крупности муки на водопоглощение теста, активность амилаз муки и доступность крахмала для их действия более заметны. Следует еще раз подчеркнуть, что метод определения активности α -амилазы зерна и муки по ЧП, принятый во многих странах мира, не используют для характеристики амилолитической активности муки — суммарного показателя, отражающего состояние углеводного комплекса и активность амилолитических ферментов (Мелешкина & Лындина, 2008).

Е.П. Мелешкина и М.И. Лындина (2008) приводят мнение зарубежных исследователей о том, что показатели амилограмм можно использовать не только для оценки хлебопекарных свойств ржаной муки, но и для выбора оптимального способа приготовления теста из нее (на дрожжах, на заквасках или на том и другом вместе). Исходя из предложенной оценки, мякиш хлеба из проб муки 5, 6, и 16 (101–250 AU) будет влажный и липкий. Пробы муки — 7, 10, 12, 14, 18, 19, 20, 25, 26, 27, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 36 и 39 (251–350 AU) пригодны при кислом ведении теста, а у хлеба, приготовленного на дрожжах мякиш будет влажным. Пробы муки — 1, 2, 3, 4, 8, 9, 11, 13, 15, 17, 22, 23, 24, 28, 31, 37, 38, 40 и 41 (351–650 AU) — удовлетворительны по качеству и пригодны при приготовлении теста на закваске и на дрожжах. Проба 21 (720 AU) пригодна при приготовлении теста только на дрожжах, поскольку при приготовлении теста на закваске мякиш будет сухой, и крошащийся.

Следует отметить, что в РФ в производстве хлеба из ржаной муки и смеси ее с пшеничной применяют, преимущественно, традиционные технологии, предусматривающие использование ржаных заквасок (Поландова и соавт., 2008). Хлеб, пригото-

²⁸ ГОСТ 7045–2017. (2019). *Мука ржаная хлебопекарная. Технические условия*. М: Стандартинформ.

²⁹ Там же.

ленный с использованием ускоренных способов тестирования на подкислителях, не пользуется заметным спросом у покупателей.

Приведенное выше заключение отличается от классификации амилалитической активности муки, рекомендуемой российским ученым В. Я. Черным (Черных, 2019): максимальная вязкость мучной суспензии — менее 300 AU свидетельствует о повышенной ферментативной активности, 300–650 AU — удовлетворительной и более 650 AU — пониженной. Исходя из классификации, предложенной В.Я. Черным (Черных, 2019), следует, что повышенной амилалитической активностью характеризуются 10 проб — 5, 6, 7, 12, 16, 19, 25, 27, 29 и 35, пониженной (более 650 AU) — одна проба — 21, удовлетворительной (30 проб — 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 20, 22, 23, 24, 26, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40 и 41, то есть, примерно, 73% от числа всех исследуемых объектов.

Проведенные нами исследования по определению амилалитической активности значительного числа проб ржаной обдирной муки различными методами и сравнительный анализ интерпретирования полученных данных, а именно, исходя из нормы показателя, включенной в ГОСТ 7045–2017, и мнения ряда ученых, свидетельствуют как о низкой информативности ЧП, так и не корректной норме этого показателя, включенной в указанный ГОСТ.

Полученные данные свидетельствуют также о том, что одно и то же мукомольное предприятие реализует партии муки ржаной хлебопекарной, отличающиеся несоответствием требованиям ГОСТ по разным показателям. Вследствие чего технологи хлебопекарных предприятий вынуждены корректировать технологический процесс при переработке каждой новой партии муки, поскольку, к примеру, повышенная или пониженная активность амилаз, протеаз, ксиланаз и других ферментов муки, размер и однородность частиц, количество отрубей заметно влияют на водопоглотительную способность муки, реологические свойства заквасок и теста, интенсивность биохимических и коллоидных процессов, а также активность микроорганизмов полуфабрикатов хлебопекарного производства.

Для выработки ржаной муки также необходимо качественное сырье — зерно ржи. Однако, если технология муки основывается преимущественно на физических процессах, то в хлебопекарном производстве — на совокупности физических, биохимических и микробиологических процессов с участием хлебопекарных дрожжей и молочнокислых бактерий.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований хлебопекарных свойств муки ржаной хлебопекарной обдирной на соответствие ее требованиям действующего ГОСТ 7045–2017 «Мука ржаная хлебопекарная»³⁰ получены новые данные, свидетельствующие о необходимости корректировки норм числа падения как минимальной, так и максимальной допустимых норм. Целесообразно расширение области исследований в части уточнения показателей, характеризующих амилалитическую активность других видов и сортов муки, используемых для производства хлебобулочных изделий.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Носова Марина Владимировна — формулирование исследовательских целей и задач; подготовка и создание рукописи, её комментирование или пересмотр; ответственность за управление и координацию.

Дремучева Галина Федоровна — разработка или проектирование методологии исследования; подготовка и создание черновика рукописи, в частности написание первоначального текста рукописи.

³⁰ ГОСТ 7045–2017. (2019). *Мука ржаная хлебопекарная. Технические условия*. М: Стандартинформ.

ЛИТЕРАТУРА

- Акиенко, Т. И. (2019). Анализ применения международных стандартов DEMETER. *Хлебопродукты*, (7), 30–31. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-29-7-30-31>
- Ауэрман, Л. Я. (2005). *Технология хлебопекарного производства*. СПб.: Профессия.
- Дремучева, Г. Ф. (2005). О проблемах переработки муки на хлебопекарных предприятиях и их решение. В *Хлебопеки и кондитеры Сибири: Сборник материалов форума* (с. 59–61). Барнаул.
- Дремучева, Г. Ф., Быковченко, Т. В., & Бердышников, О. Н. (2013). Влияние цвета муки и технологических свойств сырья на цвет мякиша хлебобулочных изделий. *Хлебопечение России*, (5), 22–23.
- Кузнецова, Л. И., Бурыкина, М. С., Парахина, О. И., Нутчина, М. А., & Лаврентьева Н. С. (2021). Анализ качества муки ржаной обдирной, выработанной мукомольными предприятиями России в 2020 г. *Хлебопечение России*, (2), 36–43. <https://doi.org/10.37443/2073-3569-2021-1-2-36-43>
- Марков, Ю. Ф., Ереско, Л. Г., & Буряк А. Н. (2019). Современные методы, средства и нормативы в области оценки качества зерна и зернопродуктов. *Хлебопродукты*, (7), 23–25.
- Мелешкина, Е. П., & Лындина, М. И. (2008). Анализ хлебопекарного качества зерна и муки из ржи с использованием приборов, применяемых для оценки свойств теста. *Хлебопродукты*, (6), 34–35.
- Недилько, Л. А. (2018). Экономическая эффективность использования земель сельскохозяйственного назначения при внедрении менеджмента на принципах ХФССП. *Хлебопродукты*, (2), 43–45.
- Панкратов, Г. Н. (2015). Гранулометрический состав продуктов размола. *Хлебопродукты*, (5), 46–49.
- Панфилов, В. А. (2007). *Теория технологического потока*. М.: Колос.
- Поландова, Р. Д., Дремучева, Г. Ф., Карчевская, О. Е., & Лукач Е. Н. (2010). *Технологические рекомендации по улучшению качества хлебобулочных изделий из муки с пониженными хлебопекарными свойствами*. М.: Вторая типография.
- Поландова, Р. Д., Кузнецова, Л. И., & Шлеленко, Л. А. (2008). *Сборник современных технологий хлебобулочных изделий*. М.: ГНУ ГосНИИ хлебопекарной промышленности.
- Пучкова, Л. И., Поландова, Р. Д., & Матвеева, И. В. (2005). *Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий*. СПб.: ГИОРД.
- Урлапова, И. Б. (2004). *Влияние гранулометрического состава на качество пшеничной хлебопекарной муки* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Черных, В. Я. (2019). *Регулирование сахарообразующей способности хлебопекарной муки*. М.: Буки Веди.
- Шкваркина, Т. И., Чижова К. Н., & Лукач Е. Н. (1968). *Влияние повышенной кислотности муки на ее хлебопекарные свойства*. М.: ЦИТИПищепром.
- Baldwin, P. M. (2001). Starch granule-associated proteins and polypeptides: A review. *Staarke*, 53(10), 475–503. [https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200110\)53:10<475::AID-STAR475>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/1521-379X(200110)53:10<475::AID-STAR475>3.0.CO;2-E)
- Strubbe, B., Veeke, K., Орлов, А. Е., & Петриченко, В. В. (2019). Секреты европейских мукомолов. *Хлебопродукты*, (10), 41–43.
- Cauvain, S. P. (2012). *Breadmaking: Improving quality*. Woodhead publishing.
- Cauvain, S. P., & Young, L. S. (2007). *Technology of Breadmaking*. Springer Business & Multimedia.
- Goesaert, H., Leman, P., & Delcour, J. A. (2008) Model approach to starch functionality in bread making. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(15), 6423–6431. <https://doi.org/10.1021/jf800521x>
- Hosney, R. C. (1994). *Principles of cereal science and technology*. St. Paul Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Huber, H. (1980). Mehlqualitätsschwankungen sind tin losbares Problem. *Deutsche Muller — Zeitung*, (6), 81–84.
- Rozs, T. A. (1976). *Rye milling*. In *Rye: Production, Chemistry, and Technology*. St. Paul, MN.

REFERENCES

- Akienko, T. I. (2019). Analiz primeneniya mezhdunarodnykh standartov DEMETER [Analysis of the application of DEMETER international standards]. *Khleboпродукты [Bread Products]*, (7), 30–31. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-29-7-30-31>
- Auerman, L. Ya. (2005). *Tekhnologiya khlebopekarnogo proizvodstva [The technology of bakery production]*. S-Petersburg: Professiya.
- Chernykh, V. Ya. (2019). *Regulirovanie sakharoobrazuyushchei sposobnosti khlebopekarnoi muki [Regulation of the sugar-forming ability of baking flour]*. Moscow: Buki Vedi.
- Dremucheva, G. F. (2005). O problemakh pererabotki muki na khlebopekarnykh predpriyatiyakh i ikh reshenie [About the problems of flour processing at bakery enterprises and their solution]. In *Khlebopeki i konditery Sibiri: Sbornik materialov foruma [Bakers and confectioners of Siberia: A collection of materials of the forum]* (pp. 59–61). Barnaul.
- Dremucheva, G. F., Bykovchenko, T. V., & Berdyshnikova, O. N. (2013). Vliyanie tsveta muki i tekhnologicheskikh svoystv syr'ya na tsvet myakisha khlebobulochnykh izdelii [The effect of flour color and technological properties of raw materials on the color of the crumb of bakery products]. *Khlebopechenie Rossii [Bakery of Russia]*, (5), 22–23.
- Kuznetsova, L. I., Burykina, M. S., Parakhina, O. I., Nutchina, M. A., & Lavrent'eva N. S. (2021). Analiz kachestva muki rzhanoi obdirnoi, vyrabotannoi mukomol'nymi predpriyatiyami Rossii v 2020 g [Analysis of the quality of rye floured flour produced by flour milling enterprises of Russia in 2020]. *Khlebopechenie Rossii [Baking of Russia]*, (2), 36–43. <https://doi.org/10.37443/2073-3569-2021-1-2-36-43>
- Markov, Yu. F., Eres'ko, L. G., & Buryak A. N. (2019). Sovremennyye metody, sredstva i normativy v oblasti otsenki kachestva zerna i zernoproduktov [Modern methods, tools and standards in the field of grain and grain products quality assessment]. *Khleboпродукты [Bread Products]*, (7), 23–25.
- Meleshkina, E. P., & Lyndina, M. I. (2008). Analiz khlebopekarnogo kachestva zerna i muki iz rzhi s ispol'zovaniem priborov, primenyaemykh dlya otsenki svoystv testa [Analysis of the baking quality of grain and rye flour using devices used to evaluate the properties of the dough. Bread products]. *Khleboпродукты [Bread Products]*, (6), 34–35.
- Nedil'ko, L. A. (2018). Ekonomicheskaya effektivnost' ispol'zovaniya zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya pri vnedrenii menedzhmenta na printsipakh KhFSSP [Economic efficiency of agricultural land use in the implementation of management based on the principles of HFSSP]. *Khleboпродукты [Bread Products]*, (2), 43–45.
- Panfilov, V. A. (2007). *Teoriya tekhnologicheskogo potoka [Technology Flow Theory]*. Moscow: Kolos.
- Pankratov, G. N. (2015). Granulometricheskii sostav produktov razmola [Granulometric composition of grinding products]. *Khleboпродукты [Bread Products]*, (5), 46–49.
- Polandova, R. D., Dremucheva, G. F., Karchevskaya, O. E., & Lukach E. N. (2010). *Tekhnologicheskie rekomendatsii po uluchsheniyu kachestva khlebobulochnykh izdelii iz muki s ponizhennymi khlebopekarnymi svoystvami [Technological recommendations for improving the quality of bakery products made of flour with reduced baking properties]*. Moscow: Vtoraya tipografiya.
- Polandova, R. D., Kuznetsova, L. I., & Shlelenko, L. A. (2008). *Sbornik sovremennykh tekhnologii khlebobulochnykh izdelii [Collection of modern technologies of bakery products]*. Moscow: GNU GosNII khlebopekarnoi promyshlennosti.
- Puchkova, L. I., Polandova, R. D., & Matveeva, I. V. (2005). *Tekhnologiya khleba, konditerskikh i makaronnykh izdelii [Technology of bread, confectionery and pasta]*. S-Petersburg: GIOR.
- Shkvarkina, T. I., Chizhova K. N., & Lukach E. N. (1968). *Vliyanie povyshennoi kislotnosti muki na ee khlebopekarnyye svoystva [The effect of increased acidity of flour on its baking properties]*. Moscow: TsITIPishcheprom.
- Urlapova, I. B. (2004). *Vliyanie granulometricheskogo sostava na kachestvo pshenichnoi khlebopekarnoi muki [Influence of granulometric composition on the quality of wheat baking flour]* [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Russia.
- Baldwin, P. M. (2001). Starch granule-associated proteins and polypeptides: A review. *Staarke*, 53(10), 475–503. [https://doi.org/10.1002/1521-379X\(200110\)53:10<475::AID-STAR475>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/1521-379X(200110)53:10<475::AID-STAR475>3.0.CO;2-E)
- Strubbe, B., Veeke, K., Орлов, А. Е., & Петриченко, В. В. (2019). Секреты европейских мукомолов. Хлебопродукты, (10), 41–43.
- Cauvain, S. P. (2012). *Breadmaking: Improving quality*. Woodhead publishing.
- Cauvain, S. P., & Young, L. S. (2007). *Technology of Breadmaking*. Springer Business & Multimedia.
- Goesaert, H., Leman, P., & Delcour, J. A. (2008) Model approach to starch functionality in bread making. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(15), 6423–6431. <https://doi.org/10.1021/jf800521x>
- Hosney, R. C. (1994). *Principles of cereal science and technology*. St. Paul Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Huber, H. (1980). Mehlqualitätsschwankungen sind tin losbares Problem. *Deutsche Muller — Zeitung*, (6), 81–84.
- Rozs, T. A. (1976). *Rye milling*. In *Rye: Production, Chemistry, and Technology*. St. Paul, MN.

УДК 663.813

Evaluation of Antioxidant Properties of Commercial Pomegranate Juices

Peter the Great St.Petersburg
Polytechnic University

Liudmila P. Nilova, Svetlana M. Malyutenkova, Polina S. Lebedeva

CORRESPONDENCE:

Liudmila P. Nilova

Address: 195251, Russia, St.Petersburg,
Polytechnicheskaya, 29
E-mail: nilova_l_p@mail.ru

FOR CITATIONS:

Nilova, L.P., Malyutenkova, S.M., &
Lebedeva, P.S. (2023). The Role of
Biologically Active Substances in the
Formation of Antioxidant Properties
of Pomegranate Juice. *Storage and
Processing of Farm Products*, (1), 83–96.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2023.401>

RECEIVED: 23.01.2023

ACCEPTED: 06.03.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background. Consumers consider pomegranate juice one of the most beneficial for health. The limited production of pomegranates in Russia cannot meet the needs of Russian consumers with juices of its own production. Pomegranate juices are produced from concentrates or pasteurized direct-squeezed juices imported from different countries, there is no information about their antioxidant properties.

Purpose. Study of the content of the main biologically active substances and antioxidant activity of pomegranate juice of various brands on the consumer market, and their influence on the formation of antioxidant properties.

Materials and Methods. The objects of research were freshly pressed juice from pomegranate fruits (control) and samples of commercial pomegranate juices produced using different technologies: "Grande", "Benature", "Grante" — direct-squeezed juice; "Swell", "O'кей", "Rich", "Gold Brand" — reconstituted pomegranate juice; "Nar" — reconstituted juice with the addition of direct-squeezed juice. In juices, the total content of phenolic compounds, anthocyanin, flavonoids, tannins and vitamin C was determined. The antioxidant activity of juices was determined by two methods: FRAP and coulometric titration based on the measurement results of which the antioxidant index was calculated.

Results. Juices of industrial production differed significantly in the amount of biologically active substances, the spread of values in their content between juices was 40–50 %, they contained significantly less total anthocyanin and total flavonoids than freshly-pressed juice. Total tannins prevailed in the composition of phenolic compounds of all juices (40–75 %). The antioxidant activity of juices varied depending on the method of determination. The FRAP test showed the highest values of antioxidant activity in the reconstituted pomegranate juice "Rich", and the coulometric titration showed the highest values in the direct-squeezed pomegranate juice "Benature". Juices had the highest antioxidant index Rich>Benature>Grante, the values of which were more than 85 %. The antioxidant properties of pomegranate juices depend on the total amount of phenolic compounds ($R^2 > 0.772$) and total tannins ($R^2 > 0.538$).

Conclusions. The formation of antioxidant properties of pomegranate juices depends on the amount of total phenolic compounds and total tannins. The results of the evaluation of the antioxidant properties of commercial pomegranate juices can be used in the development of functional beverages.

KEYWORDS

pomegranate juice, brands, total phenolic compounds, total flavonoids, total anthocyanins, total tannins, vitamin C, antioxidant activity

Оценка антиоксидантных свойств коммерческих гранатовых соков

Санкт-Петербургский политехнический университет

Л. П. Нилова, С. М. Малютенкова, П. С. Лебедева

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Нилова, Л.П.

Адрес: Санкт-Петербург,
Политехническая улица, д. 29, 195251,
Россия
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., & Лебедева, П.С. (2023). Роль биологически активных веществ в формировании антиоксидантных свойств гранатового сока. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 83–96. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.401>

ПОСТУПИЛА: 23.01.2023

ПРИНЯТА: 06.03.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. Гранатовый сок среди потребителей считается одним из самых полезных для здоровья. Ограниченное производство гранатов в России не может обеспечить потребности российских потребителей соками собственного производства. Гранатовые соки производят из концентратов или пастеризованных соков прямого отжима, импортируемых из разных стран, информация об их антиоксидантных свойствах отсутствует.

Цель. Исследовать содержания основных биологически активных веществ и антиоксидантной активности гранатового сока различных брендов, реализуемых на потребительском рынке, и их влияние на формирование антиоксидантных свойств.

Материалы и методы. Объектами исследований являлись свежеотжатый сок из плодов граната (контроль) и образцы коммерческих гранатовых соков, выработанные по разным технологиям: прямого отжима «Grande»; «Benature»; «Grante»; восстановленного гранатового сока «Swell»; «ОКей»; «Rich»; «GoldBrand»; восстановленного сока с добавлением сока прямого отжима «Nar». В соках определяли общее содержание фенольных соединений, антоцианов, флавоноидов, танинов и витамин С. Антиоксидантная активность соков была определена двумя методами: FRAP и кулонометрическим титрованием, по результатам измерений которых, был рассчитан антиоксидантный индекс.

Результаты. Соки промышленного производства значительно различались количеством биологически активных веществ, разброс значений которых между соками составлял 40–50%, содержали значительно меньше антоцианов и флавоноидов, чем свежеотжатый сок. В составе фенольных соединений всех соков преобладали танины (40–75 %). Антиоксидантная активность соков изменялась в зависимости от метода определения. FRAP-тест показал самые высокие значения антиоксидантной активности у восстановленного гранатового сока «Rich», а кулонометрическое титрование — у гранатового сока прямого отжима «Benature». Наиболее высоким антиоксидантным индексом отличались соки Rich>Benature>Grante, значения которых были больше 85%. Антиоксидантные свойства гранатовых соков зависят от общего количества фенольных соединений ($R^2 > 0,772$) и танинов ($R^2 > 0,538$).

Выводы. Формирование антиоксидантных свойств гранатовых соков происходит под влиянием общих фенольных соединений и танинов. Результаты оценки антиоксидантных свойств коммерческих гранатовых соков могут быть использованы при разработке функциональных напитков.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

гранатовый сок, бренды, фенольные соединения, флавоноиды, антоцианы, танины, витамин С, антиоксидантная активность

INTRODUCTION

Among fruit juices, pomegranate juice is in particular demand among consumers due to its high taste properties and established opinion of its health benefits. In many countries of the world, pomegranate fruits and pomegranate juice are recommended for strengthening the immune status and preventing cardiovascular, oncological, degenerative and other diseases (Karomatov et al., 2018; Sahar et al., 2019; Morittu et al., 2020; Pepe et al., 2020; Khalimova, 2022). Pomegranate fruits and juice are classified as "super fruits" rich in antioxidants (Martins et al., 2019; Hegazi et al., 2021). Its antioxidant activity can be up to three times that of red wine and green tea (Gil et al., 2000). The antioxidant properties of pomegranate juice are provided by various groups of phenolic compounds — flavonoids, anthocyanin, condensed and hydrolysable tannins, phenolic acids, which make up the majority of known bioactive compounds. The high variability in the quantitative composition of pomegranate phenolic compounds under the influence of internal and external factors, juice production technology did not allow the European Food Safety Authority (EFSA) to establish a causal relationship between the consumption of pomegranate juice and the submitted claims for its health benefits (Giménez-Bastida et al., 2021).

The composition of biologically active substances of pomegranate fruits

Nowadays, more than 500 compounds have been isolated and identified from pomegranate fruits, including ellagitannins, gallotannins, anthocyanin, flavanol-anthocyanin adducts, flavonoids, phenolic acids, and other phenolic compounds (Yisimayili & Chao, 2022). The amount of the main phenolic compounds in pomegranate fruits varies greatly depending on the botanical variety and growing location (Türkyilmaz & Özkan, 2014; Nuncio-Jáuregui et al., 2015; Legua, et al., 2016; Topalović et al., 2020). Juice wild-growing pomegranates can contain 4387–8461 mg/l of phenolic compounds, and exceed their amount in cultivated varieties by five or more times (Topalović et al., 2020).

The total phenolic content in pomegranate juice of cultivated varieties depends both on the botanical variety and on the place of growth and varies: in Spain — 900–1450 mg/L (Legua et al., 2016; Topalović et al., 2020); in Florida — 365.7–1167.4 mg/L (Shahkooma-

hally et al., 2021); in North Africa — 2890–4500 mg/L (Fawole et al., 2012). Pomegranate fruits cultivated in Iran (5264–7874 mg/L) and China (3151–7428 mg/L) contain the most phenolic compounds (Zarei et al., 2010; Li et al., 2015; Asadi-Gharneh et al., 2017).

The composition of phenolic compounds is affected by the amount of solar energy received in the process of fruit growth. On the example of pomegranate juice of the "Dentedi Cavallo" variety grown in different regions of Sicily, differences in the content of certain groups of phenolic compounds depending on the cardinal direction were established. The maximum amount of flavonoids and anthocyanin contains juice from pomegranates grown in the south of Sicily, tannins — in the west, hexosides of phenolic acids — in the north. The juice from pomegranates grown on the western side contains the least phenolic compounds (Di Stefanoe et al., 2020). Botanical varieties of pomegranates of the same name grown in China and Spain differ in the amount of anthocyanins with a predominance in Chinese fruits (Chen et al., 2022).

During the ripening of pomegranate fruits, the amount of individual phenolic compounds changes: the content of tannins decreases by 6–27 %, while the content of flavonoids and anthocyanin increases by 3.2–3.5 and 1.5–2 times, respectively (Mphahlele et al., 2014). There is the evidence of more pronounced changes as pomegranate fruits ripen — a decrease in phenolic compounds by 3–7 times due to the hydrolysis of tannins and the content of ellagic acid and its derivatives. It reduces their antioxidant activity: test with ABTS (2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline)-6-sulfonic acid) and DPPH (diphenylpicrylhydrazil) radicals — 1.6–2.0 times, FRAP test (Ferric reducing antioxidant power) — 5 times (Legua et al., 2016; Nuncio-Jáuregui et al., 2015).

The influence of technology on the antioxidant properties of pomegranate juices

The amount of phenolic antioxidants and the antioxidant activity of pomegranate juice also depend on the technology (direct squeezing, reconstituted, cold bottling, alternative technologies) (Tezcan et al., 2009; Türkyilmaz & Özkan, 2014; Conidi et al., 2020; Di Stefano et al., 2020). As a result, commercial varieties of pomegranate juice differ significantly in the content of total phenolic compounds and their individual repre-

sentatives (Tezcan et al., 2009; Mphahlele et al., 2014; Li et al., 2015; Mphahlele et al., 2016; Morittu et al., 2020; Esposto et al., 2021). This has a direct impact on its antioxidant activity and, accordingly, therapeutic and prophylactic properties.

Pomegranate juice can be obtained by squeezing whole fruits or halves, from bags arils or pomegranate arils plus seeds, which affects the composition of phenolic compounds. When using whole fruits for squeezing juice, it contains less flavonoids compared to juice from half fruits, and there are more a monomeric anthocyanins. The largest amount of phenolic compounds passes into the juice from pomegranate halves due to tannins, the amount of which increases by 1.7 times compared to juice from pomegranate seeds and increases antioxidant activity by 2.2 times (Mphahlele et al., 2016). Compared with juice from pomegranate arils plus seeds, the content of hydrolysable tannins in juice from whole fruits increases by 6.55 times, increasing the antioxidant activity of juices by 21.8 % (Muhacir-Güzel et al., 2014). With the increase in the duration of pressing and the increase in pressure, a more intense transition of tannins occurs. Strong positive linear correlations were found between pressing pressure and antioxidant activity ($r = 0.973$) and total phenolic content ($r = 0.979$) (Türkyilmaz et al., 2013).

Freshly pressed juice made from pomegranate seeds contains more anthocyanins and significantly less condensed tannins and ellagic acid than commercial juice from concentrates. The amount of hydrolyzable tannins remains almost the same regardless of the method of juice production (Gil et al., 2000).

Further changes in the composition of phenolic compounds in pomegranate juices can occur during their purification and heat treatment. Sedimentation leads to a greater loss of tannins (more than 50 %), the amount of anthocyanins decreases by 4–6 % (Muhacir-Güzel et al., 2014; Erkan-Koc et al., 2015). When clarifying juices with polysaccharide-based agents (chitosan, xanthan gum), the loss of phenolic compounds is higher than with protein-based agents (albumin, casein, gelatin), reducing the antioxidant activity of juices by 2.4–26.6 % (Erkan-Koc et al., 2015). Losses of phenolic antioxidants can be less when membrane technologies are used for clarification of pomegranate juice: for polyphenols, flavonoids and anthocyanins they are no more than 4 %. Largely, when using mem-

brane technologies, vitamin C is destroyed — by 32 % (Morittu et al., 2020).

Pasteurization of juices leads to further losses of biologically active substances, especially vitamin C — up to 50 %, and for some phenolic acids (gallic, chlorogenic), campferol, rutin, catechins exceed 50 % (Akyildiza et al., 2020). Anthocyanin losses are 8–14 % for non-clarified juices and about 2 % for clarified ones (Vegara et al., 2013).

Changes in the antioxidant properties of pomegranate juices during storage

Antioxidant properties of pomegranate juices depend not only on raw materials and juice technology, but also on the type of packaging and storage conditions before and after bottling. The influence of technology on the change in the content of phenolic antioxidants during storage of juices has been established. In clarified juices, when stored under different conditions for 6 months, the content of total phenolic compounds practically does not change, in contrast to non-clarified ones, in which it drops sharply, especially under the influence of light (Mena et al., 2014). High-temperature pasteurization during further storage of pomegranate juices contributes to a lower loss of total phenolic compounds and vitamin C than long-term low-temperature pasteurization. Anthocyanins, ellagitannins and punicalagin are the first to degrade. For 120 days of storage of pomegranate juices at +5°C before bottling, more than 40 % of anthocyanins degrade (Vegara et al., 2013). After bottling into consumer packaging, the degradation of anthocyanins continues, because of which their amount can be only 35–40 % of the original content before bottling (Gafizov & Gafizov, 2015). Anthocyanin monoglucosides are the most unstable (Mena et al., 2014).

The influence of the type of consumer packaging on the change in the content of phenolic antioxidants in pomegranate juice is ambiguous. According to Pérez-Vicente et al. (Pérez-Vicente et al., 2004) the type of consumer packaging has a significant impact on the degradation of anthocyanins. When storing pomegranate juice in bottles of transparent and green glass for 160 days at room temperature, the degradation of anthocyanins was 77–78 %, and in paperboard carton with polyethylene layers (Minibrik-200) — 95 %. At the same time, the degradation of total phenolic com-

pounds was 20%, regardless of the type of consumer packaging of pomegranate juice. An increase in storage temperature and exposure to light do not significantly affect the change in the content of total phenolic compounds and the antioxidant activity determined by the TEAC and FRAP methods of pomegranate juice (Mena et al., 2014).

Freshly pressed, cold-pressed and unpressurized juices are associated by consumers with healthy and natural products (Martins et al., 2019). This is facilitated by studies of the antioxidant properties of commercial pomegranate juices in a number of countries and the publication of the results in the open press (Tezcan et al., 2009; Esposto et al., 2021). In Russia, studies of the antioxidant properties of commercial pomegranate juices have not been conducted. TR TS 022/2011 "Food products in terms of their labeling" do not provide for information on the content of natural antioxidants in juices in the labeling. The situation is complicated by the fact that in Russia the production of pomegranates is limited and cannot meet the needs of Russian consumers with juices of its own production. Pomegranate juices are imported or produced from concentrates or pasteurized direct-squeezes juices after storage. The variability of the content of biologically active substances in pomegranate juices and the lack of informa-

tion about their content in various types of commercial pomegranate juices does not allow recommending them to the consumer as a healthy drink.

The aim of the research was to determine the content of the main biologically active substances of pomegranate juice of various brands sold on the consumer market and their influence on the formation of antioxidant properties.

MATERIALS AND METHODS

Objects of study

To conduct research in the retail trade of St. Petersburg, samples of pomegranate juice were purchased, made using different technologies (Table 1). All direct-squeezed juices were produced in the second half of September 2022 according to the information in the labeling. Reconstituted juices were selected with the date of production, so that the period of their presence in retail trade until the time of research was comparable to direct-squeezed juices and did not exceed 30 days. Freshly pressed pomegranate juice from Azerbaijan was used as a control. Juice was pressed from pomegranate seeds.

Table 1

Samples of commercial pomegranate juice

Type of juice	Brand	Producer	Country
Pomegranate direct-squeezed juice	Grande	LLC "NAR", city Slantsy, Leningrad region	Russia
	Benature	LLC "Azgranata"	Azerbaijan
	Grante	CJSC "Aznar"	Azerbaijan
Pomegranate reconstituted juice	Swell	PC "Leader", Moscow region, Lyubertsy	Russia
	O'Keй	LLC "NAR", city Slantsy, Leningrad region	Russia
	Rich	JSC "Multon", St. Petersburg	Russia
	Gold Brand	LLC "AZ-SERVICE", Baku, manufactured by LLC "ANTARIO-CITY", Moscow	Russia Azerbaijan
Pomegranate reconstituted juice with direct-squeezed juice	Nar	LLC "NAR", city Slantsy, Leningrad region	Russia

Equipment

Spectrophotometer "UNICO-2800", USA, glass cuvettes with a layer thickness of 1 cm.

Coulometer "Expert-006-antioxidants", Russia.

Methods

In pomegranate juices, the total content of phenolic compounds, anthocyanins, flavonoids, tannins, vitamin C, and antioxidant activity were determined by two methods — FRAP and coulometric titration.

The total content of phenolic compounds was determined spectrophotometrically using the Folin-Ciocalteu reagent, after the reaction of which with the studied juice, the optical density was measured at the wavelength of 750 nm (Tezcan et al., 2009). The calibration curve was built on gallic acid.

The total content of anthocyanins was determined by pH-differentiated spectrophotometry according to GOST 32709–2014¹. The mass concentration of anthocyanins in terms of cyanidin-3-glucoside in pomegranate juice was determined based on changes in the absorption of light with the wavelength of 510 nm with a change in the acidity of juice solutions pH from 1 to 4.4.

The total content of flavonoids was determined spectrophotometrically by reaction with aluminum chloride at the wavelength of 420 nm according to GOST R 55312–2012². The calibration curve was built according to the routine.

Total tannins were determined by titration of pomegranate juice with potassium permanganate with the participation of indigo carmine as an indicator according to GOST 19885–74³.

The determination of vitamin C was carried out by the titrimetric method with a solution of sodium 2,6-dichlorophenolindophenolate according to GOST 24556–89⁴.

Determination of antioxidant activity

Antioxidant activity by the FRAP method (Ferric reducing antioxidant power) was determined by the ability of ferric chloride (III) to oxidize antioxidants. In this case, ferric chloride (III) is reduced to ferric chloride (II), the amount of which is determined by the change in color intensity when *O*-phenanthroline is added. The light absorption of the extract was measured at the wavelength of 505 nm against a solution of 96 % ethanol on the UNICO-2800 spectrophotometer, USA. Antioxidant activity was determined from the calibration curve and expressed in terms of ascorbic acid⁵.

Antioxidant activity was determined by coulometric titration on an Expert-006-antioxidants coulometer. As a titrant, electro-generated bromine was used, the electro-generation of which was carried out at a constant current of 50.0 mA from an aqueous 0.2 M solution of potassium bromide in a 0.1 M solution of sulfuric acid with the determination of the end of titration by potentiometric indication. The time, second, spent on titration of the volume of the aliquot of the studied juice, introduced into the measuring cell, was recalculated into the amount of electricity in coulombs. The electrolytic cell of the coulometer was calibrated with ascorbic acid.

The antioxidant index, percentage, of each juice was calculated as the arithmetic mean of the sum of the ranked scores of antioxidant activity determined by different methods. Ranking of scores from 0 to 1 was performed using the Harington desirability function methodological approach. To do this, the maximum value of the antioxidant activity of juices was assigned 1 point, and then the scores for the remaining juices were calculated as the ratio of the value of their antioxidant activity to the maximum value in the data series for each method separately (Madrigal-Carballo et al., 2009; Nilova et al., 2011).

¹ GOST 32709–2014. (2014). *Juice products. Methods for the determination of anthocyanins*. M.: Standartinform.

² GOST 55312–2012. (2012). *Propolis. Methods for determination of flavonoid compounds*. M.: Standartinform.

³ GOST 19885–74. (2009). *Tea. Methods for determining the content of tannin and caffeine*. M.: Standartinform.

⁴ GOST 24556–89. (2011). *Processed products of fruits and vegetables. Methods for determining vitamin C*. M.: Standartinform.

⁵ Rogozhin V.V., Rogozhina T.V. (2016) *Workshop on the biochemistry of agricultural products*. S-Petersburg: GIORD.

Research Procedure

One pomegranate juice sample was analyzed daily for all parameters according to the methods outlined above; minimizing sample preparation time between analyzes to prevent oxidation of antioxidants.

Data analysis

The studies were carried out in triplicate of two samples of each juice. The results were expressed as mean $\pm$ standard deviation. The assessment of the reliability of the results was carried out using the Student's t-test. The difference was considered significant at a probability of 95 %. Pearson correlation coefficient was used to determine the effect of each biologically active substance on antioxidant activity. Statistical processing of experimental data was carried out using the Microsoft Excel 2010 software package.

RESULTS

The content of biologically active substances in commercial pomegranate juices

The studied samples of pomegranate juice significantly differed in the quantitative composition of biologically

active substances (Table 2). Freshly pressed pomegranate juice contained by an order more total anthocyanins and total flavonoids than industrially manufactured juices, and the amount of vitamin C in it could differ by more than 3 times ("Grande", "O'Кей", "Gold Brand"). The amount of total phenolic compounds and total tannins in all juices was of the same order of magnitude. Despite this, the spread of values for all biologically active substances, even in the series of commercially produced juices, could reach 40–50%, although there were no statistically significant differences in the data series for some juices. Thus, statistically significant differences were established in the content of: total phenolic compounds between freshly pressed juice and juices "Swell" and "Nar"; total flavonoids between "Benature", "O'Кей" and "Nar" juices; total tannins between freshly pressed juice and "Swell" juice and between "Rich" and "Nar" juice.

In the composition of total phenolic compounds of all studied juice samples, total tannins prevailed, ranging from 40 to 75 %. Their number was not affected by the method of making juices. In direct-squeezed juices, the amount of total tannins was in the range of 166.3–353.3 mg / 100 ml, and in reconstituted juices — 103.9–328.6 mg / 100 ml. The method of making juice did not affect the content of other biologically active substances — total anthocyanins, total flavonoids and vitamin C. For example, direct-squeezed juices contained less total

Table 2

The content of biologically active substances, mg / 100 ml, in various samples of pomegranate juice

Juice Samples	Total phenolic compounds	Total anthocyanins	Total flavonoids	Total tannins	Vitamin C
Freshly-pressed	411.2 $\pm$ 8.2	10.59 $\pm$ 0.05	25.22 $\pm$ 0.60	205.5 $\pm$ 10.6	40.12 $\pm$ 1.2
Direct-squeezed juice brands:					
Grande	280.5 $\pm$ 6.8	0.64 $\pm$ 0.01	7.68 $\pm$ 0.20	166.3 $\pm$ 8.3	12.8 $\pm$ 0.2
Benature	494.8 $\pm$ 6.2	0.68 $\pm$ 0.02	6.26 $\pm$ 0.10	290.9 $\pm$ 7.5	31.3 $\pm$ 0.7
Grante	468.0 $\pm$ 7.6	0.50 $\pm$ 0.02	13.90 $\pm$ 0.65	353.3 $\pm$ 5.6	24.4 $\pm$ 0.4
Reconstituted juice brands:					
Swell	426.1 $\pm$ 8.0	1.27 $\pm$ 0.04	16.0 $\pm$ 0.20	187.0 $\pm$ 9.0	29.4 $\pm$ 0.3
O'Кей	304.7 $\pm$ 6.0	1.00 $\pm$ 0.04	6.21 $\pm$ 0.25	124.7 $\pm$ 3.5	9.6 $\pm$ 0.5
Rich	511.8 $\pm$ 9.0	0.31 $\pm$ 0.01	16.5 $\pm$ 0.20	328.6 $\pm$ 9.6	20.4 $\pm$ 0.6
Gold Brand	222.3 $\pm$ 5.5	0.45 $\pm$ 0.02	4.93 $\pm$ 0.10	103.9 $\pm$ 3.5	12.0 $\pm$ 0.4
Reconstituted juice with direct-squeezed juice					
Nar	418.0 $\pm$ 7.0	0.89 $\pm$ 0.03	6.45 $\pm$ 0.10	311.7 $\pm$ 9.0	19.2 $\pm$ 0.9

anthocyanins than reconstituted "Swell" and "O'Кей" juices, but more than reconstituted juices "Rich" and "Gold Brand".

Antioxidant activity of commercial pomegranate juices

The antioxidant activity of juices, as well as the amount of biologically active substances, did not depend on the method of juice production and changed in a series of values obtained by the FRAP method: Rich > Benature > Grante > Swell > freshly pressed juice > O'Кей > Nar > Grande > Gold Brand (Table 3). When using coulometric titration to determine the antioxidant activity of juices, the antioxidant series changed somewhat: Benature > Swell > Grante > Rich > >Nar > freshly pressed juice > O'Кей > Grande > Gold

Brand. For an objective assessment of the antioxidant properties of juices, the antioxidant index was calculated.

Rich>Benature>Grante juices had the highest antioxidant index, the values of which were more than 85%. The antioxidant index in the range of 50–85% had juices: Swell>Nar>freshly pressed juice>O'Кей. The direct-squeezed juice "Grande" and the reconstituted juice "Gold Brand" had an antioxidant index less than 50% and amounted to 48.7 and 30.45%, respectively.

Effect of biologically active substances on the antioxidant activity of commercial pomegranate juices.

Establishing the influence of the studied biologically active substances on the antioxidant activity of pomegranate juices is presented in Table 4.

Table 3

Indicators of antioxidant activity of pomegranate juice

Juice samples	FRAP, mg / 100 ml	Coulometric titration, mg / 100 ml	Antioxidant index, %
Freshly pressed	49.10 ± 1.20	69.89 ± 0.80	63.55
<i>Direct-squeezed juice brands</i>			
Grande	41.92 ± 1.00	46.98 ± 0.64	48.70
Benature	62.84 ± 1.50	112.91 ± 1.30	91.81
Grante	60.87 ± 1.25	106.31 ± 1.36	87.58
<i>Reconstituted juice brands:</i>			
Swell	52.94 ± 0.90	110.68 ± 1.43	84.23
O'Кей	46.55 ± 1.10	48.34 ± 0.90	52.38
Rich	75.15 ± 1.83	97.76 ± 1.15	93.29
Gold Brand	34.63 ± 0.92	16.74 ± 0.65	30.45
<i>Reconstituted juice with direct-squeezed juice</i>			
Nar	43.62 ± 1.00	83.00 ± 0.86	65.78

Table 4

Correlation coefficients (R²) between some biologically active substances and indicators of antioxidant activity of the studied samples of pomegranate juice ($p < 0.05$)

Indicators	Total phenolic compounds	Total anthocyanins	Total flavonoids	Total tannins	Vitamin C
FRAP	0.772	0.002	0.152	0.538	0.152
Coulometric titration	0.879	0.163	0.131	0.610	0.387
Antioxidant Index	0.934	0.002	0.153	0.649	0.324

Total phenolic compounds ($R^2 > 0.772$) and total tannins ($R^2 > 0.538$) demonstrate the most marked characteristic between the amount of biologically active substances and the antioxidant activity of juices. The low content of total anthocyanins and flavonoids in commercial pomegranate juices produced using different technologies does not allow us to determine their effect on antioxidant activity.

DISCUSSION OF THE RESULTS

A significant spread of values in the content of biologically active substances in the studied pomegranate juices is not accidental. Basically, their bottling was carried out in Russia from direct-squeezed juices or concentrates obtained from different sources, which increases the uncertainty of the influence of botanical varieties of pomegranate, the region of growth and the degree of ripeness of fruits, technology and the duration of transportation and storage of semi-finished products before bottling. Commercial varieties of pomegranate juice can contain total phenolic compounds from 1379 to 10086 mg/L (Mphahlele et al., 2016; Morittu et al., 2020; Esposto et al., 2021).

Total tannins, the amount of which can reach up to 71–85% (Esposto et al., 2021), dominate the composition of phenolic compounds. Depending on the degree of maturity of pomegranates and the technology for making juices, the content of total tannins in them can vary widely from 1 to 376 mg/100 ml (Türkyılmaz et al., 2013; Li et al., 2015; Khomich et al., 2019). Freshly pressed juice from pomegranate seeds can contain more than 300 mg/100 ml of tannins (Erkan-Koc et al., 2015). In juice from unripe pomegranate fruits, the amount of total tannins is 4–27% more than from fruits of full ripeness. Fluctuations depending on the botanical variety of immature pomegranates are 88.7% (Mphahlele et al., 2014). The use of whole or halved pomegranates for high-pressure pressing increases the amount of total tannins in pomegranate juice (Türkyılmaz et al., 2013; Mphahlele et al., 2014; Mphahlele et al., 2016). Therefore, it is difficult to establish the cause of the scatter in the values of the amount of total tannins in the studied juices. The studied commercial juices differed significantly in total anthocyanin content compared to freshly pressed juice. The total amount of anthocyanins in them ranged from 0.31–1.27 mg / 100 ml, and in freshly pressed juice, it was 10.59 mg / 100 ml. These results are con-

sistent with published scientific studies. The amount of total anthocyanins in freshly pressed pomegranate juice is usually in the range of 10.9–128.4 mg/100 ml. Their content is increased in the juice from mature red pomegranate seeds grown on the sunny side (Vegara et al., 2013; Conidi, et al., 2020; Di Stefano et al., 2020; Yuan et al., 2022). In freshly pressed juice from pomegranate seeds growing in Azerbaijan, the content of total anthocyanins is 13.93–15.35 mg/100 ml (Hafizov & Hafizov, 2021), which is close to the values we obtained in freshly pressed juice from pomegranate seeds. Commercial varieties of pomegranate juice sold in Russia contain total anthocyanins from 0.2 to 2.24 mg/100 ml (Khomich et al., 2019). Differences in total anthocyanin content between freshly pressed and commercial pomegranate juices may be due to the technological stages of industrial production. Pasteurization at +90°C reduces the total amount of anthocyanins in clarified pomegranate juice by 5% and in non-clarified pomegranate juice by 35–40% (Akyıldız et al., 2020). Commercial juices from concentrates can contain total anthocyanins in the range of 0.8–2.9 mg/L (Esposto et al., 2021). When storing juices before bottling, further degradation of anthocyanins occurs, reducing their amount by 2 times at a temperature of +5°C in 120 days and by 12 times at room temperature in 45 days. At the end of the shelf life before bottling, the anthocyanin content of pomegranate juice can be 1–2 mg/100 ml (Vegara et al., 2013).

Differences in total flavonoid and vitamin C content between freshly pressed juice and commercial types of pomegranate juice were not as significant compared to total anthocyanins. The amount of total flavonoids in pomegranate juices can range from 4.5–142.2 mg/100 ml, increasing in juices from mature pomegranates by 3–4 times (Morittu et al., 2020; Di Stefano et al., 2020). In freshly pressed juice from 10 botanical varieties of pomegranate grown in 4 different regions of China, the amount of total flavonoids ranged from 4.5 to 33.5 mg/100 ml (Li et al., 2015). Commercial juices sold in Russia contain about 10 mg/100 ml of total flavonoids (Khomich et al., 2019).

The content of vitamin C in pomegranate juice can range from 9.0 to 50.0 mg / 100 ml (Mphahlele et al., 2014; Mphahlele et al., 2016; Morittu et al., 2020). Vitamin C is destroyed during pasteurization, the loss of which can reach up to 50% when pasteurized at +90°C (Akyıldız et al., 2020). Increasing the duration of pasteurization at 95°C from 2 to 3 minutes

reduces the vitamin C content of pomegranate juice by almost 2 times (Bhagat & Chakraborty, 2022). The different content of biologically active substances in pomegranate juice samples influenced the formation of their antioxidant activity, in which tannins played the leading role. Tannins and, first, punicalagins, provide 87% of the antioxidant activity of pomegranate juice obtained in an industrial way (Gil et al., 2000). The role of tannins in the formation of the antioxidant activity of pomegranate juice was confirmed by studies of the composition of phenolic compounds and antioxidant activity (ABTS, DPPH, FRAP) of ripe and unripe pomegranates of 9 botanical varieties (Nuncio-Jáuregui et al., 2015). The antioxidant activity of juice from whole fruits is due mainly to hydrolysable tannins ($r = 0.994$), and from pomegranate seeds — to condensable tannins ($r = 0.956$) (Muhacir-Güzel et al., 2014).

CONCLUSIONS

The studies have shown that commercial pomegranate juices presented on the Russian consumer market contain phenolic antioxidants and vitamin C in different amounts, the spread of values between juices being 40–50%. The composition of phenolic antioxidants of all juices was dominated by total tannins (40–75%), which influenced the formation of their antioxidant properties ($R^2=0.649$).

REFERENCES

- Gafizov, G. K., & Gafizov, S. G. (2015). Vliyanie metoda obrabotki i temperatury khraneniya granatovogo soka na sokhrannost' antotsianov [The influence of the processing method and the storage temperature of pomegranate juice on the safety of anthocyanins]. *Tekhnicheskie nauki — ot teorii k praktike [Technical Sciences — from Theory to Practice]*, (2), 59–72.
- Karomatov, I. D., Nabieva, Z. T., & Ganiev, R. N. (2018). Ploidy granatov v profilaktike i lechenii sakharnogo diabeta i serdechno-sosudistykh zabolevanii [Pomegranate fruits in the prevention and treatment of diabetes and cardiovascular diseases]. *Biologiya i intergrativnaya meditsina [Biology and Integrative Medicine]*, (2), 91–100.
- Khalimova, D. Zh. (2022). Granat pri zabolevaniyakh nervnoi sistemy (obzor literatury) [Pomegranate in diseases of the nervous system (literature review)]. *Biologiya i intergrativnaya meditsina [Biology and Integrative Medicine]*, (4), 251–278.
- Khomich, L. M., Perova, I. B., & Eller, K. I. (2019). Nutrientnyi profil' granatovogo soka [The nutritional profile of pomegranate juice]. *Voprosy pitaniya [Nutrition Issues]*, 88(5), 80–92. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10057>
- Nilova, L. P., Vytovtov, A. A., Naumenko, N. V., & Kalinina, I. V. (2011). Upravlenie potrebitel'skimi svoystvami obogashchennykh pishchevykh produktov [Management of consumer properties of fortified foods]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika i menedzhment [Bulletin of the South Ural State University. Economics and Management]*, (41), 185–191.
- Akyıldız, A., Karaca, E., Ağcam, E., Dundar, B., & Cinkır, N. İ. (2020). Changes in quality attributes during production steps and frozen-storage of pomegranate juice concentrate. *Journal of Food Composition and Analysis*, 92, Article 103548. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103548>
- Asadi-Gharneh, H. A., Mohammadzamani, M., & Karimi, S. (2017). Evaluation of physico-chemical properties and bioactive compounds of some Iranian pomegranate cultivars. *International Journal of Fruit Science*, 17(2), 175–187. <http://dx.doi.org/10.1080/15538362.2016.1275923>

Indicators of antioxidant activity of pomegranate juices differ depending on the method of determination, changing the order of significance of juices. The antioxidant index calculated on their basis made it possible to single out three brands of commercial pomegranate juices — Rich>Benature>Grante, with values above 85%, which can be recommended to consumers as a drink for preventive nutrition.

The obtained results of the quantitative composition of biologically active substances and the antioxidant activity of pomegranate juices will be of interest to researchers in the development of functional drinks, medical workers to recommend juices to patients for a healthy diet.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Нилова Людмила Павловна — обзор литературных источников по исследуемой проблеме, написала рукопись, проверка на плагиат.

Малютенкова Светлана Михайловна — организация исследований, верификация данных.

Лебедева Полина Сергеевна — проведение исследований.

- Bhagat, Bh., & Chakraborty, S. (2022). Potential of pulsed light treatment to pasteurize pomegranate juice: Microbial safety, enzyme inactivation, and phytochemical retention. *LWT – Food Science and Technology*, 159, Article 113215. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113215>
- Chen, Ya., Gao, H., Wang, S., Liu, X., Hu Q., Jian, Z., Wan, R., Song, Ji., & Shi, Ji. (2022). Comprehensive evaluation of 20 pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(2), 434–445. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63389-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63389-5)
- Conidi, C., Drioli, E., & Cassano, A. (2020). Perspective of membrane technology in pomegranate juice processing: A review. *Foods*, 9(7), 889. <https://doi.org/10.3390/foods9070889>
- Di Stefano, V., Scandurra, S., Pagliaro, A., Di Martino, V., & Melilli, M. G. (2020) Effect of sunlight exposure on anthocyanin and non-anthocyanin phenolic levels in pomegranate juices by high resolution mass spectrometry approach. *Foods*, 9(9), 1161. <https://doi.org/10.3390/foods9091161>
- Erkan-Koc, B., Türkyilmaz, M., Yemis O., & Özkan, M. (2015). Effects of various protein- and polysaccharide-based clarification agents on antioxidative compounds and colour of pomegranate juice. *Food Chemistry*, 184, 37–45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.064>
- Esposto, S., Veneziani, G., Taticchi, A., Urbani, S., Selvagini, R., Sordini, B., Daidone, L., Gironi, G., & Servili, M. (2021). Chemical composition, antioxidant activity, and sensory characterization of commercial pomegranate juices. *Antioxidants*, 10(9), 1381. <https://doi.org/10.3390/antiox10091381>
- Fawole, O. A., Opara, U. L., & Theron, K. I. (2012). Chemical and phytochemical properties and antioxidant activities of three pomegranate cultivars grown in South Africa. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 2934–2940. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0533-7>
- Gil, M. I., Tomás-Barberán, F. A., Hess-Pierce, B., Holcroft, D. M., & Kader, A. A. (2000). Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(10), 4581–4589. <https://doi.org/10.1021/jf000404a>
- Giménez-Bastida, Ju. A., Avila-Gálvez, M. A., Espín, Ju. C., & González-Sarrías, A. (2021). Evidence for health properties of pomegranate juices and extracts beyond nutrition: A critical systematic review of human studies. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 410–423. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.014>
- Hafizov, S., & Hafizov, G. (2021). Descriptive values for analytical properties of freshly squeezed and pasteurized pomegranate juices. *Sciences of Europe*, 66, 36–42.
- Hegazi, N. M., El-Shamy, Sh., Fahmy, H., & Farag, M. A. (2021). Pomegranate juice as a super-food: A comprehensive review of its extraction, analysis, and quality assessment approaches. *Journal of Food Composition and Analysis*, 97, Article 103773. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103773>
- Legua, P., Forner-Giner, M. Á., Nuncio-Jáuregui, N., & Hernández, F. (2016). Polyphenolic compounds, anthocyanins and antioxidant activity of nineteen pomegranate fruits: A rich source of bioactive compounds. *Journal of Functional Foods*, 23, 628–636. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2016.01.043>
- Li, X., Wasila, H., Liu, L., Yuan, T., Gao, Z., Zhao, B., & Ahmad, I. (2015). Physicochemical characteristics, polyphenol compositions and antioxidant potential of pomegranate juices from 10 Chinese cultivars and the environmental factors analysis. *Food Chemistry*, 175, 575–584. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.003>
- Madrigal-Carballo, S., Rodriguez, G., Krueger, C.G., Dreher, M. J., & Reed, D. (2009). Pomegranate (*Punica granatum*) supplements: Authenticity, antioxidant and polyphenol composition. *Journal of Functional Foods*, 1(3), 1324–1329. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2009.02.005>
- Martins, I. B. A., Oliveira, D., Rosenthal, A., Ares, G., & Deliza, R. (2019). Brazilian consumer's perception of food processing technologies: A case study with fruit juice. *Food Research International*, 125, Article 108555. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108555>
- Mena, P., Martí, N., & García-Viguera, C. (2014) The Impact of Processing and Storage on the (Poly)Phenolic Fraction of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Juices. In *Processing and Impact on Antioxidants in Beverages* (pp. 173–184). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404738-9.00018-0>
- Morittu, V. M., Mastellone, V., Tundis, R., Loizzo, M. R., Tundis, R., Figoli, A., Cassano, A., Musco, N., Britti, D., Infascelli, F., & Lombardi, P. (2020). Antioxidant, biochemical, and in-life effects of punica granatum L. natural juice vs. clarified juice by polyvinylidene fluoride membrane. *Foods*, 9(2), 242. <https://doi.org/10.3390/foods9020242>
- Mphahlele, R. R., Fawole, O. A., Mokwena, L. M., & Opara, U. L. (2016). Effect of extraction method on chemical, volatile composition and antioxidant properties of pomegranate juice. *South African Journal of Botany*, 103, 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.09.015>
- Mphahlele, R. R., Stander, M. A., Fawole, O. A., & Opara, U. L. (2014). Effect of fruit maturity and growing location on the postharvest contents of flavonoids, phenolic acids, vitamin C and antioxidant activity of pomegranate juice (cv. Wonderful). *Scientia Horticulturae*, 179, 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.007>
- Muhacir-Güzel, N., Türkyilmaz, M., Yemis, O., Taği, S., & Özkan, M. (2014). Changes in hydrolysable and condensed tannins of pomegranate (*Punica granatum* L., cv. Hicaznar) juices from sacs and whole fruits during production and their relation with antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*, 59, 933–940. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.07.025>
- Nuncio-Jáuregui, N., Nowicka, P., Munera-Picazo, S., Hernández, F., Carbonell-Barrachina, Á. A., & Wojdyło, A. (2015). Identification and quantification of major derivatives of ellagic acid and antioxidant properties of thinning and ripe Spanish pomegranates. *Journal of Functional Foods*, 12, 354–364. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2014.11.007>

- Pepe, G., Rapa, S. F., Salviati, E., Bertamino, A., Auriemma, G., Cascioferro, S., Autore, G., Quaroni, A., Campiglia, P., & Marzocco, S. (2020). Bioactive polyphenols from pomegranate juice reduce 5-fluorouracil-induced intestinal mucositis in intestinal epithelial cells. *Antioxidants*, 9(8), 699. <https://doi.org/10.3390/antiox9080699>
- Pérez-Vicente, A., Serrano, P., Abellán, P., & García-Viguera, C. (2004). Influence of packaging material on pomegranate juice colour and bioactive compounds, during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 639–644. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1721>
- Sahar, A., Rahman, U., Ishaq, A., Munir, M. S., & Aadil, R. M. (2019). Health-Promoting Perspectives of Fruit-Based Functional Energy Beverages. *Sports and Energy Drinks*, 10, 399–439. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815851-7.00012-7>
- Shahkoomahally, Sh., Khadivi, A., Brechta, J. K., & Sarkhosh, A. (2021). Chemical and physical attributes of fruit juice and peel of pomegranate genotypes grown in Florida, USA. *Food Chemistry*, 342, Article 128302. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.128302>
- Tezcan, F., Gultekin-Ozguven, M., Diken, T., Ozcelik, B., & Erim, F. B. (2009). Antioxidant activity and total phenolic, organic acid and sugar content in commercial pomegranate juices. *Food Chemistry*, 115, 873–877. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.103>
- Topalović, A., Knežević, M., Gačnik, S., & Mikulic-Petkovsek, M. (2020). Detailed chemical composition of juice from autochthonous pomegranate genotypes (*Punica granatum* L.) grown in different locations in Montenegro. *Food Chemistry*, 330, Article 127261. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127261>
- Türkyılmaz, M., & Özcan, M. (2014). Effects of condensed tannins on anthocyanins and colour of authentic pomegranate (*Punica granatum* L.) juices. *Food Chemistry*, 164, 324–331. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.048>
- Türkyılmaz, M., Tağı, Ş., Dereli, U., & Özkan, M. (2013). Effects of various pressing programs and yields on the antioxidant activity, antimicrobial activity, phenolic content and colour of pomegranate juices. *Food Chemistry*, 138(2–3), 1810–1818. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.100>
- Vegara, S., Mena, P., Martí, N., Saura, D., & Valero, M. (2013). Approaches to understanding the contribution of anthocyanins to the antioxidant capacity of pasteurized pomegranate juices. *Food Chemistry*, 141(3), 1630–1636. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.015>
- Yisimayili, Z., & Chao, Zh. (2022). A review on phytochemicals, metabolic profiles and pharmacokinetics studies of the different parts (juice, seeds, peel, flowers, leaves and bark) of pomegranate (*Punica granatum* L.). *Food Chemistry*, 395, Article 133600. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133600>
- Yuan, L., Cheng, F., Yi, J., Cai, S., Liao, X., Lao, F., & Zhou, L. (2022). Effect of high-pressure processing and thermal treatments on color and in vitro bioaccessibility of anthocyanin and antioxidants in cloudy pomegranate juice. *Food Chemistry*, 373, Article 131397. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131397>
- Zarei, M., Azizi, M., & Bashiri-Sadr, Z. (2010). Studies on Physico-Chemical Properties and Bioactive Compounds of Six Pomegranate Cultivars Grown in Iran. *Journal of Food Technology*, 8(3), 112–117. <https://doi.org/10.3923/jftech.2010.112.117>

ЛИТЕРАТУРА

- Гафизов, Г. К., & Гафизов, С. Г. (2015). Влияние метода обработки и температуры хранения гранатового сока на сохранность антоцианов. *Технические науки — от теории к практике*, (2), 59–72.
- Кароматов, И. Д., Набиева, З. Т., & Ганиев, Р. Н. (2018). Плоды гранатов в профилактике и лечении сахарного диабета и сердечно-сосудистых заболеваний. *Биология и интегративная медицина*, (2), 91–100.
- Нилова, Л. П., Вытовтов, А. А., Науменко, Н. В., & Калинина, И. В. (2011). Управление потребительскими свойствами обогащенных пищевых продуктов. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Экономика и менеджмент*, (41), 185–191.
- Халимова, Д. Ж. (2022). Гранат при заболеваниях нервной системы (обзор литературы). *Биология и интегративная медицина*, (4), 251–278.
- Хомич, Л. М., Перова, И. Б., & Эллер, К. И. (2019). Нутриентный профиль гранатового сока. *Вопросы питания*, 88(5), 80–92. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10057>
- Akyıldız, A., Karaca, E., Ağcam, E., Dundar, B., & Cinkır, N. İ. (2020). Changes in quality attributes during production steps and frozen-storage of pomegranate juice concentrate. *Journal of Food Composition and Analysis*, 92, Article 103548. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103548>
- Asadi-Gharneh, H. A., Mohammadzamani, M., & Karimi, S. (2017). Evaluation of physico-chemical properties and bioactive compounds of some Iranian pomegranate cultivars. *International Journal of Fruit Science*, 17(2), 175–187. <http://dx.doi.org/10.1080/15538362.2016.1275923>
- Bhagat, Bh., & Chakraborty, S. (2022). Potential of pulsed light treatment to pasteurize pomegranate juice: Microbial safety, enzyme inactivation, and phytochemical retention. *LWT — Food Science and Technology*, 159, Article 113215. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113215>
- Chen, Ya., Gao, H., Wang, S., Liu, X., Hu Q., Jian, Z., Wan, R., Song, Ji., & Shi, Ji. (2022). Comprehensive evaluation of 20 pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(2), 434–445. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63389-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63389-5)

- Conidi, C., Drioli, E., & Cassano, A. (2020). Perspective of membrane technology in pomegranate juice processing: A review. *Foods*, 9(7), 889. <https://doi.org/10.3390/foods9070889>
- Di Stefano, V., Scandurra, S., Pagliaro, A., Di Martino, V., & Melilli, M. G. (2020). Effect of sunlight exposure on anthocyanin and non-anthocyanin phenolic levels in pomegranate juices by high resolution mass spectrometry approach. *Foods*, 9(9), 1161. <https://doi.org/10.3390/foods9091161>
- Erkan-Koc, B., Türkyilmaz, M., Yemis O., & Özkan, M. (2015). Effects of various protein- and polysaccharide-based clarification agents on antioxidative compounds and colour of pomegranate juice. *Food Chemistry*, 184, 37–45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.064>
- Esposto, S., Veneziani, G., Taticchi, A., Urbani, S., Selvagini, R., Sordini, B., Daidone, L., Gironi, G., & Servili, M. (2021). Chemical composition, antioxidant activity, and sensory characterization of commercial pomegranate juices. *Antioxidants*, 10(9), 1381. <https://doi.org/10.3390/antiox10091381>
- Fawole, O. A., Opara, U. L., & Theron, K. I. (2012). Chemical and phytochemical properties and antioxidant activities of three pomegranate cultivars grown in South Africa. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 2934–2940. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0533-7>
- Gil, M. I., Tomás-Barberán, F. A., Hess-Pierce, B., Holcroft, D. M., & Kader, A. A. (2000). Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(10), 4581–4589. <https://doi.org/10.1021/jf000404a>
- Giménez-Bastida, Ju. A., Avila-Gálvez, M. A., Espín, Ju. C., & González-Sarrías, A. (2021). Evidence for health properties of pomegranate juices and extracts beyond nutrition: A critical systematic review of human studies. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 410–423. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.014>
- Hafizov, S., & Hafizov, G. (2021). Descriptive values for analytical properties of freshly squeezed and pasteurized pomegranate juices. *Sciences of Europe*, 66, 36–42.
- Hegazi, N. M., El-Shamy, Sh., Fahmy, H., & Farag, M. A. (2021). Pomegranate juice as a super-food: A comprehensive review of its extraction, analysis, and quality assessment approaches. *Journal of Food Composition and Analysis*, 97, Article 103773. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103773>
- Legua, P., Forner-Giner, M. Á., Nuncio-Jáuregui, N., & Hernández, F. (2016). Polyphenolic compounds, anthocyanins and antioxidant activity of nineteen pomegranate fruits: A rich source of bioactive compounds. *Journal of Functional Foods*, 23, 628–636. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2016.01.043>
- Li, X., Wasila, H., Liu, L., Yuan, T., Gao, Z., Zhao, B., & Ahmad, I. (2015). Physicochemical characteristics, polyphenol compositions and antioxidant potential of pomegranate juices from 10 Chinese cultivars and the environmental factors analysis. *Food Chemistry*, 175, 575–584. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.003>
- Madrigal-Carballo, S., Rodriguez, G., Krueger, C.G., Dreher, M. J., & Reed, D. (2009). Pomegranate (*Punica granatum*) supplements: Authenticity, antioxidant and polyphenol composition. *Journal of Functional Foods*, 1(3), 1324–1329. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2009.02.005>
- Martins, I. B. A., Oliveira, D., Rosenthal, A., Ares, G., & Deliza, R. (2019). Brazilian consumer's perception of food processing technologies: A case study with fruit juice. *Food Research International*, 125, Article 108555. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108555>
- Mena, P., Martí, N., & García-Viguera, C. (2014). The Impact of Processing and Storage on the (Poly)Phenolic Fraction of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Juices. In *Processing and Impact on Antioxidants in Beverages* (pp. 173–184). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404738-9.00018-0>
- Morittu, V. M., Mastellone, V., Tundis, R., Loizzo, M. R., Tundis, R., Figoli, A., Cassano, A., Musco, N., Britti, D., Infascelli, F., & Lombardi, P. (2020). Antioxidant, biochemical, and in-life effects of punica granatum L. natural juice vs. clarified juice by polyvinylidene fluoride membrane. *Foods*, 9(2), 242. <https://doi.org/10.3390/foods9020242>
- Mphahlele, R. R., Fawole, O. A., Mokwena, L. M., & Opara, U. L. (2016). Effect of extraction method on chemical, volatile composition and antioxidant properties of pomegranate juice. *South African Journal of Botany*, 103, 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.09.015>
- Mphahlele, R. R., Stander, M. A., Fawole, O. A., & Opara, U. L. (2014). Effect of fruit maturity and growing location on the postharvest contents of flavonoids, phenolic acids, vitamin C and antioxidant activity of pomegranate juice (cv. Wonderful). *Scientia Horticulturae*, 179, 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.007>
- Muhacir-Güzel, N., Türkyilmaz, M., Yemis, O., Taği, S., & Özkan, M. (2014). Changes in hydrolysable and condensed tannins of pomegranate (*Punica granatum* L., cv. Hicaznar) juices from sacs and whole fruits during production and their relation with antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*, 59, 933–940. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.07.025>
- Nuncio-Jáuregui, N., Nowicka, P., Munera-Picazo, S., Hernández, F., Carbonell-Barrachina, Á. A., & Wojdyło, A. (2015). Identification and quantification of major derivatives of ellagic acid and antioxidant properties of thinning and ripe Spanish pomegranates. *Journal of Functional Foods*, 12, 354–364. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2014.11.007>
- Pepe, G., Rapa, S. F., Salviati, E., Bertamino, A., Auriemma, G., Cascioferro, S., Autore, G., Quaroni, A., Campiglia, P., & Marzocco, S. (2020). Bioactive polyphenols from pomegranate juice reduce 5-fluorouracil-induced intestinal mucositis in intestinal epithelial cells. *Antioxidants*, 9(8), 699. <https://doi.org/10.3390/antiox9080699>
- Pérez-Vicente, A., Serrano, P., Abellán, P., & García-Viguera, C. (2004). Influence of packaging material on pomegranate juice colour and bioactive compounds, during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 639–644. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1721>
- Sahar, A., Rahman, U., Ishaq, A., Munir, M. S., & Aadil, R. M. (2019). Health-Promoting Perspectives of Fruit-Based

- Functional Energy Beverages. *Sports and Energy Drinks*, 10, 399–439. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815851-7.00012-7>
- Shahkoomahally, Sh., Khadivi, A., Brechta, J. K., & Sarkhosh, A. (2021). Chemical and physical attributes of fruit juice and peel of pomegranate genotypes grown in Florida, USA. *Food Chemistry*, 342, Article 128302. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128302>
- Tezcan, F., Gultekin-Ozguven, M., Diken, T., Ozcelik, B., & Erim, F. B. (2009). Antioxidant activity and total phenolic, organic acid and sugar content in commercial pomegranate juices. *Food Chemistry*, 115, 873–877. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.103>
- Topalović, A., Knežević, M., Gačnik, S., & Mikulić-Petkovsek, M. (2020). Detailed chemical composition of juice from autochthonous pomegranate genotypes (*Punica granatum* L.) grown in different locations in Montenegro. *Food Chemistry*, 330, Article 127261. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127261>
- Türkyılmaz, M., & Özcan, M. (2014). Effects of condensed tannins on anthocyanins and colour of authentic pomegranate (*Punica granatum* L.) juices. *Food Chemistry*, 164, 324–331. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.048>
- Türkyılmaz, M., Tağı, Ş., Dereli, U., & Özkan, M. (2013). Effects of various pressing programs and yields on the antioxidant activity, antimicrobial activity, phenolic content and colour of pomegranate juices. *Food Chemistry*, 138(2–3), 1810–1818. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.100>
- Vegara, S., Mena, P., Martí, N., Saura, D., & Valero, M. (2013). Approaches to understanding the contribution of anthocyanins to the antioxidant capacity of pasteurized pomegranate juices. *Food Chemistry*, 141(3), 1630–1636. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.015>
- Yisimayili, Z., & Chao, Zh. (2022). A review on phytochemicals, metabolic profiles and pharmacokinetics studies of the different parts (juice, seeds, peel, flowers, leaves and bark) of pomegranate (*Punica granatum* L.). *Food Chemistry*, 395, Article 133600. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133600>
- Yuan, L., Cheng, F., Yi, J., Cai, S., Liao, X., Lao, F., & Zhou, L. (2022). Effect of high-pressure processing and thermal treatments on color and in vitro bioaccessibility of anthocyanin and antioxidants in cloudy pomegranate juice. *Food Chemistry*, 373, Article 131397. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131397>
- Zarei, M., Azizi, M., & Bashiri-Sadr, Z. (2010). Studies on Physico-Chemical Properties and Bioactive Compounds of Six Pomegranate Cultivars Grown in Iran. *Journal of Food Technology*, 8(3), 112–117. <https://doi.org/10.3923/jftech.2010.112.117>

УДК 663.42

Формирование ароматического профиля пивоваренной продукции: обзор предметного поля

И. Н. Грибкова, И. В. Лазарева

Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Грибкова Ирина Николаевна
Адрес: 119021, Россия, Москва,
ул. Россолимо, д.7.
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).
Формирование ароматического про-
филя пивоваренной продукции: Обзор
предметного поля. *Хранение и перера-
ботка сельхозсырья*, (1), 97–116.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2023.397>

ПОСТУПИЛА: 30.12.2022

ПРИНЯТА: 24.02.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. В данном обзоре предметного поля проанализированы научные источники, посвященные вопросу создания ароматического профиля пивоваренной продукции (с 2015 по 2022 гг.) при условии соблюдения всех требований, предъявляемых к готовой продукции в рамках действующих в отрасли стандартов качества.

Цель. Целью обзора являлся анализ влияния применяемого растительного сырья, а также микроорганизмов на формирование ароматического профиля пива, а также анализ их влияния на качество готовой пивоваренной продукции.

Материалы и методы. В обзор включены научные публикации российских и зарубежных авторов по вопросам формирования ароматического и вкусового профиля пивоваренной продукции за счет органических соединений зернового и растительного сырья. Поиск научных источников по исследуемой теме на русском и английском языках осуществлялся в базах данных Web of Science и Scopus, а также в электронных библиотеках eLibrary и КиберЛенинка.

Результаты. Выявлены данные о применении ограниченного перечня зернового немодифицированного сырья, отмечен вклад его органических соединений в ароматический профиль пива. Отмечено положительное влияние разнообразных классов соединений, влияющих на образование летучего профиля пива. Выявлены данные о недостаточном количестве низкомолекулярных соединений, обеспечивающих активную бродительную активность микроорганизмов. Зафиксировано влияние специфических органических соединений модифицированного зернового сырья, их вклад в формирование различных ароматических оттенков, что расширяет ассортимент пивоваренной продукции. Выявлено нежелательное влияние недостатка низкомолекулярных углеводных и азотистых соединений, а также наличие свободных фенольных форм веществ, способных оказывать негативное влияние на качество пива. Проанализирована информация о влиянии штаммов дрожжей, их разнообразном метаболизме и вкладе в формирование профиля пивоваренной продукции. Зафиксирован исследовательский интерес к расширению перечня гибридных штаммов для создания новых органолептических оттенков, которые могут иметь нежелательный характер и привносить в пиво посторонние тона.

Выводы. В рамках действующих требований стандарта качества, ограничивающих перечень применяемого растительного сырья для производства пива, вопрос формирования различных ароматов все еще остается открытым, несмотря на ощутимые научные достижения в области разнообразия сырьевой базы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

пивоваренная продукция, ароматический профиль, органические соединения, виды зернового сырья, типы солодов, пивоваренные штаммы дрожжей

Formation of the Aromatic Profile of Brewing Products: Scoping Review

All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry – Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems

CORRESPONDENCE:

Irina N. Gribkova

Address: 7, Rossolimo str., Moscow, 119021, Russia
E-mail: institut-beer@mail.ru

FOR CITATIONS:

Gribkova, I. N., & Lazareva, I. V. (2023). Formation of the aromatic profile of brewing products: Scoping review. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 97–116. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.397>

RECEIVED: 30.12.2022

ACCEPTED: 24.02.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Irina N. Gribkova, Irina V. Lazareva

ABSTRACT

Introduction. In this Scoping review the sources devoted to the issue of creating an aromatic profile of brewing products (from 2015 to 2022) are analyzed, provided that all requirements for finished products are met within the framework of quality standards in force in the industry.

Purpose. The purpose of the review was to analyze the influence of the plant raw materials used, as well as microorganisms on the formation of the aromatic profile of beer, with respect to positive and negative aspects from the point of view of the quality of finished brewing products.

Materials and Methods. The review includes scientific publications by Russian and foreign authors on the formation of the aromatic and flavor profile of brewing products due to organic compounds of grain and vegetable raw materials. The search for scientific sources on the topic under study in Russian and English was carried out in the Web of Science, Scopus databases and in the electronic library eLibrary.ru .

Results. The data on the use of a limited list of grain unmodified raw materials were revealed, the contribution of its organic compounds to the aromatic profile of beer was noted. The positive influence of various classes of compounds affecting the formation of the volatile profile of beer is noted. The data on the insufficient number of low-molecular compounds providing active fermentation activity of microorganisms were revealed. The influence of specific organic compounds of modified grain raw materials, their contribution to the formation of various aromatic shades, which expands the range of brewing products, is recorded. The undesirable effect of the lack of low-molecular-weight carbohydrate and nitrogenous compounds, as well as the presence of free phenolic forms of substances that can have a negative impact on the quality of beer, has been revealed. The information on the influence of yeast strains, their diverse metabolism and contribution to the formation of the profile of brewing products is analyzed. Research interest has been recorded in expanding the list of hybrid strains to create new organoleptic shades that may have an undesirable character and introduce extraneous tones into beer.

Conclusions. Within the framework of the current requirements of the quality standard, limiting the list of plant raw materials used for beer production, the issue of the formation of various flavors is still open, despite tangible scientific achievements in the field of diversity of the raw material base.

KEYWORDS

brewing products, aromatic profile, organic compounds, types of grain raw materials, types of malts, brewing yeast strains

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее распространенным и популярным слабоалкогольным напитком брожения на основе растительного сырья считается пивоваренная продукция (Кретова & Калинина, 2022). Реализация пивоваренной продукции развивается в устойчивых положительных тенденциях — объем производства 2021 г. оценивался 816 млн дал и превышал аналогичный показатель 2020 г. на 3,0% за счет реализации пивных напитков, чья доля в структуре производства выросла с 10,7 до 12%, а доля традиционного пива составила порядка 88% (Кретова & Калинина, 2022).

Чтобы обладать высокой конкурентоспособностью, производители должны выпускать пиво хорошего качества, отвечающее требованиям стандартов и показателям безопасности. Пиво хорошего качества должно иметь приятный вкус и аромат, хорошо пениться и удерживать слой пены, а также соответствовать микробиологическим и физико-химическим нормативам (Erzetti et al., 2009).

Производители пива ограничены видами зернового сырья и видами микроорганизмов в рамках производства качественной пивоваренной продукции, относящейся к категории «пива» в рамках нормативно-правового законодательства РФ. Цель данного обзора предметного поля — рассмотреть влияние применяемого растительного сырья, а также микроорганизмов на формирование ароматического профиля пива; установить их положительное и негативное влияние на качественные параметры пива.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Базы данных и временные рамки

Материалами для исследования послужили публикации, из зарубежных баз данных: Web of Science и Scopus, а также российских электронных библиотек eLibrary и Киберленинка, опубликованных в 2015–2022 гг. в количестве 51 статей. Анализировались источники, опубликованные в научных журналах, материалах конференций различных уровней, а также монографии, посвященные тематике исследования. Также анализировались нормативные документы. Для анализа отобраны три документа, регламентирующие качество.

Критерии включения и исключения источников

Ключевыми словами для осуществления поиска в российских электронных библиотеках являлись следующие слова и словосочетания: пиво, ароматика пива, органические соединения пива, профиль готового пива, влияние сырья на образование органолептики пива. Ключевыми словами для осуществления поиска в зарубежных базах данных Scopus и Web of Science являлись: beer, brewing products, aromatic profile of beer, organic compounds, types of grain raw materials, types of malts, brewing yeast strains.

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

Критерии включения:

- (1) Статья написана в период с 2015–2022 год;
- (2) Статьи соответствуют теме исследования;
- (3) Типами анализируемых статей являются оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи, монографии и ГОСТы.

Критерии исключения:

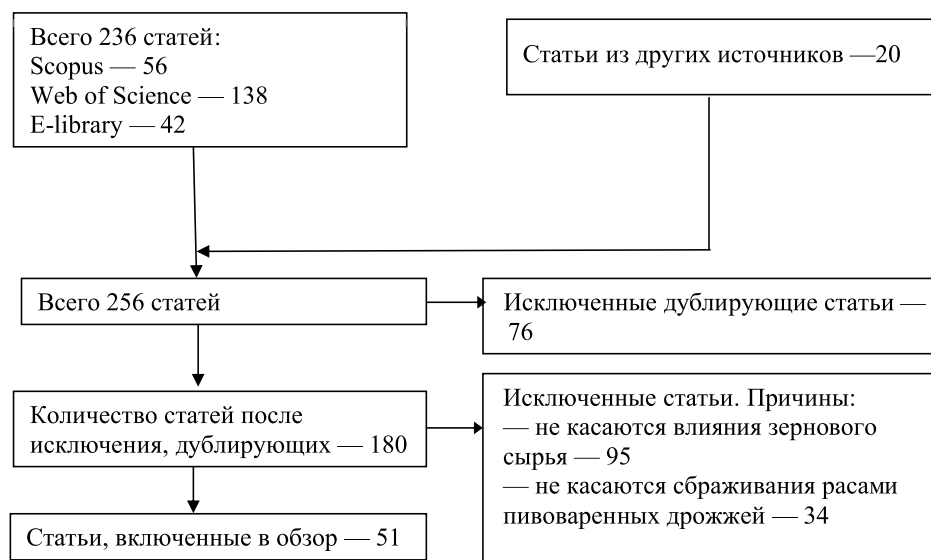
- (1) Статья не соответствует теме данного обзора: не касаются тематики влияния зернового сырья на формирование ароматического профиля; не касаются тематики сбраживания расами пивоваренных дрожжей;
- (2) Статья написана не на русском или английском языках;
- (3) Жанр статьи — не соответствует указанным жанрам по критериям включения;
- (4) Содержание статьи дублируется. Если из разных баз данных или разных электронных библиотечных систем были извлечены повторяющиеся источники, 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 протокол PRIZMA и составлена схема проведения исследования (Рисунок 1).

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://www.acpjournals.org/doi/10.7326/M18-0850>). In the public domain.

Извлечение и анализ данных

Для анализа источников, и поиска ответов на исследовательские вопросы: рассмотреть влияние применяемого растительного сырья, а также микроорганизмов на формирование ароматического профиля пива; установить их положительное

и негативное влияние на качественные параметры пива, извлекались данные из 51 статьи, соответствующих критериям включения, и вносились в Таблицу 1.

Источники были проанализированы для сравнения и анализа характеристик сырья, применяемого

Таблица 1

Пример извлечения данных из статей, включенных в обзор

№	Заглавие	Автор и год	Виды злаков и их влияние на вкусовой профиль	Виды используемого сырья и влияние на вкусовой профиль	Влияние штаммов	Влияние микроорганизмов
1	Использование лекарственных трав в технологии темных элей	Иванченко, О. Б., Данина, М. М. (2018)	—	Листьев шалфея и тысячелистника в технологии темных элей. Для эля с тысячелистником оптимальным является замена 30 % хмелепродуктов на фитодобавку. Для эля с шалфеем оптимальная дозировка составляет 1,25 г/л горячего сула. В результате получают напитки с гармоничным ароматом и вкусом	—	—

Примечание. Из "Использование лекарственных трав в технологии темных элей", О. Б. Иванченко и М. М. Данина, 2018, *Вестник Международной академии холода*, (1), с. 11–18.

в технологии пивоваренной продукции; видов злаков и их влияния на вкусовой профиль пива; влияния хмелепродуктов и штаммов микроорганизмов на ароматический профиль и прочие показатели пива.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В пивоварении традиционно используются экстракты растений, такие как Melissa, можжевельник, аир, тимьян и другие, что позволяет получить напиток с приятным ароматом. За последнее время структура реализуемой на территории РФ пивоваренной продукции меняется за счет новых сортов пивоваренной продукции, полученных с применением: экстрактов растительного сырья (Гернет & Грибкова, 2020а), растительного сырья, не характерного для производства пива (лекарственное и растительное сырье в виде экстрактов трав, ово-

щей, фруктов, злаковых и т.п.) (Бурак, 2021; Пономарева и соавт., 2019; Иванченко & Данина, 2018), штаммов микроорганизмов (Пономарева и соавт., 2019; Бурак, 2021; Mikyska et al., 2015), технологических приемов (Новикова и соавт., 2018; Каменская & Черкасова, 2021).

Разный сенсорный (ароматический) профиль пивоваренной продукции формируется за счет органических соединений (спиртов, сложных эфиров, кетонов, альдегидов, органических и карбоновых кислот, фенольных соединений, азото- и серосодержащих соединений и т.д. (Liu et al., 2005). Контроль качества пивоваренной продукции по ГОСТ 31711–2012¹, как основного стандарта для производства пива, ограничивает перечень применяемого зернового и растительного сырья, что несколько усложняет разработку новых сортов продукции с нестандартными вкусовыми профилями. В Таблице 2 представлена сравнительная характеристика сырья, применяемого в технологии пивоваренной продукции.

Таблица 2

Виды сырья, разрешенные к применению в рамках выпуска пивоваренной продукции в соответствии с нормативными документами, регламентирующими качество

Виды сырья	Название продукции и номера ГОСТов, регламентирующих ее качество		
	пиво по ГОСТ 31711–2012 ²	пиво специальное по ГОСТ 31495–2021 ³	пивные напитки по ГОСТ 55292–2012 ⁴
Зерновое сырье			
солод пивоваренный ячменный	+	+	+
солод пшеничный	+	+	+
солод ржаной	-	+	+
ячмень пивоваренный	+	+	+
пшеница	+	+	+
рис	+	+	+
кукуруза	+	+	+
гречневая крупа	-	+	-
пшено, овес и др. зерновые	-	+	-
концентраты пивного сусла, солодовые, ячменно-солодовые экстракты и пр.	-	+	+

¹ ГОСТ 31711–2012. (2019). *Пиво. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

² Там же.

³ ГОСТ 31495–2021. (2021). *Пиво специальное. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

⁴ ГОСТ Р 55292–2012. (2019). *Напитки пивные. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

Виды сырья	Название продукции и номера ГОСТов, регламентирующих ее качество		
	пиво по ГОСТ 31711–2012 ²	пиво специальное по ГОСТ 31495–2021 ³	пивные напитки по ГОСТ 55292–2012 ⁴
Хмелепродукты			
хмель	+	+	+
хмелепродукты	+	+	+
Сахаросодержащее сырье			
сахар	+	+	+
патока крахмальная	+	+	+
Фруктово-ягодное, пряно-ароматическое растительное сырье, в том числе мед и продукты пчеловодства	-	+	+
Вкусовые и ароматические добавки	-	+	+
Красители, подсластители, консерванты	-	-	-

Влияние зернового сырья на ароматический профиль и прочие показатели пива

Традиционной злаковой культурой для создания пива является ячмень (*Hordeum vulgare* L.), поскольку строение его эндосперма и у несоложенного и соложенного зерна в той или иной степени является источником органических соединений, формирующих коллоидную структуру готового напитка, с одной стороны, и питательными соединениями (в виде низкомолекулярных соединений углеводной и азотистой природы, микроэлементов,

минеральных соединений и пр.), которые служат питательной средой для микроорганизмов, формирующих профиль летучих соединений в процессе брожения, с другой (Gašior et al., 2020).

Другие злаки, такие как пшеница, рожь, овес, тритикале, сорго, кукуруза и т.д., также могут быть использованы в качестве сырья для производства пива (Gašior et al., 2020), при условии, что мы осознаем, что эта процедура может повлиять на вкусовые свойства конечного пива. В Таблице 3 представлено влияние вида злака и его количества на вкусовый профиль пива.

Таблица 3

Дегустационные баллы дескрипторов тона образцов пива

Характеристика	Тон	Соотношение солода и зернового сырья, %								
		без несо- ложенного зернового сырья	ячменя		пшеницы		риса		кукурузы	
			70:30	40:60	70:30	40:60	70:30	40:60	70:30	40:60
Аромат	Зеленое яблоко	2,2	2,4	2,9	2,7	2,8	2,6	3,9	2,9	2,4
	Сладкая кукуруза / вареные овощи	3,4	3,2	1,4	1,7	1,4	4,3	3,6	3,2	3,1
	Бананово-Грушевый	2,3	2,3	2,2	2,4	3,3	1,8	2,1	1,9	1,8
	Дымный	2,3	2,6	1,7	0,6	3,0	1,6	1,4	0,55	0,8
	Солодовый	4,5	4,0	3,7	3,6	2,9	3,8	2,9	3,9	3,1
	Зернистый	3,0	2,5	2,3	2,4	1,5	3,4	3,5	3,2	3,0
	Сливовый	3,2	2,0	2,3	3,1	3,0	2,4	1,9	3,2	2,3

Окончание Таблицы 3

Характеристика	Тон	без несо- ложенного зернового сырья	Соотношение солода и зернового сырья, %							
			ячменя		пшеницы		риса		кукурузы	
			70:30	40:60	70:30	40:60	70:30	40:60	70:30	40:60
Запах	Зеленое яблоко	2,7	3,4	3,9	3,6	3,8	4,0	5,5	3,2	3,7
	Сладкое яблоко	2,2	2,0	1,4	2,7	2,4	1,7	2,3	2,1	2,4
	Бананово-Грушевый	2,8	1,9	1,6	2,8	3,2	2,3	2,3	2,9	1,6
	Солодовый	4,3	3,7	3,0	3,7	4,5	4,2	3,1	3,7	3,4
	Зернистый	2,5	4,0	3,9	3,8	2,4	3,8	4,2	3,7	4,3
	Сливовый	3,1	3,0	2,5	3,0	3,9	3,0	2,9	2,5	3,0
Вкус	Сладкий	3,5	2,6	2,6	2,5	3,2	3,1	3,4	3,4	2,3
	Кислый	2,3	3,5	4,1	2,9	2,9	3,7	3,6	3,7	4,8
	Горький	4,3	4,9	5,1	5,1	4,7	4,5	4,4	4,1	4,7
Полнота вкуса	Вяжущее	4,4	5,1	5,5	4,6	4,8	5,2	4,3	4,7	5,1
	Стойкая горечь	4,2	4,9	5,5	4,4	4,9	4,7	3,4	3,7	4,8

Примечание. Из "Brewing with unmalted cereal adjuncts: Sensory and analytical impacts on beer quality," by J. Yorke, D. Cook, and R. Ford, 2021, *Beverages*, 7(1), article 4 (<https://doi.org/10.3390/beverages7010004>). Copyright 2021 by Multidisciplinary Digital Publishing Institute.

На основании данных (Таблица 3) авторами сделано заключение о том, что разные злаки и их количество влияют на сенсорное восприятие пива. Так, внесение ячменя более 40% влияет на ощущение восприятия стойкой негармоничной горечи, что подтверждается другими исследованиями (Kunz et al., 2012). Также авторы отметили, что при большем применении доли ячменя уходят солодовые тона, а становятся более ощутимыми дымные и сливово-фруктовые (Yorke et al., 2021).

Согласно данным Таблицы 3, применение большего количества (60%) несоложенной пшеницы способствовало получению пива с высоким порогом восприятия бананового аромата и вкуса, а также ощутимым дымным ароматом, а того же количества риса характеризовало пиво как напиток с ощутимым вкусом зеленого яблока, тогда как 30% количество риса привнесло в пиво аромат сладкой кукурузы, что авторы связали с нехваткой азотистого питания для дрожжей (Yorke et al., 2021). Использование авторами пива с внесением 60%-ной кукурузы, способствовало получению пива несбалансированного аромата и вкуса, где кислота была несбалансирована с полнотой вкуса (Таблица 3).

Здесь авторы связывают кислоту во вкусе с низкой буферностью пива или недостатком фосфорных ионов (Yorke et al., 2021). Представленные в Таблице 4 характеристики зерновых культур (Cadenas et al., 2021) наглядно подтверждают причину нехватки питательных веществ в сусле при использовании несоложенных злаковых культур.

Анализ летучих соединений показал, что существует взаимосвязь между органолептическими ощущениями дескрипторов и содержанием летучих продуктов брожения. Так, концентрация ацетальдегида была значительно выше в пиве, приготовленном с 60% риса по сравнению с солодовым пивом и, в свою очередь характеризуется ароматом зеленого яблока (Mayer et al., 2016). Авторы связали эффект увеличения концентрации ацетальдегида с высокой плотностью сусла и низкой концентрацией кислорода при брожении (Yorke et al., 2021). За счет снижения в сусле из солода, риса и кукурузы источников углеводов и азота произошло большее накопление высших спиртов через пируват во время брожения, что объясняет вкусо-ароматические профили данных образцов пива (Yorke et al., 2021). Отмечалось снижение концентрации эфиров в пиве

Таблица 4

Характеристики несоложенных злаковых культур, оказывающие влияние на технологический процесс (Cadenas et al., 2021; Blšáková, et al., 2022; Charmier et al., 2021)

Злаковая культура	Температура клейстеризации, °C	Экстрактив-ность, % (Cadenas et al., 2021)	Экстрактивность солода из культуры, % (Blšáková, et al., 2022)	Диастатическая сила, ед. WK (Charmier et al., 2021)
Пшеница	52–66 (Rakhshi et al., 2022)	75	85,7	405
Рис	67–91 (Pang et al., 2016)	84	64,0–77,8	19–62
Ячмень	58–66 (Rittenauer et al., 2021)	70	76–88	200–416
Кукуруза	62–80 (Wang et al, 2018)	78	68–68,75	77

Примечание. Из “Brewing with starchy adjuncts: Its influence on the sensory and nutritional properties of beer”, by R. Cadenas, I. Caballero, D. Nimubona and C. A. Blanco, 2021, *Foods*, 10(8), Article 1726 (<https://doi.org/10.3390/foods10081726>). Copyright 2021 by Multidisciplinary Digital Publishing Institute.

“The use of unconventional malts in beer production and their effect on the wort viscosity”, by L. Blšáková, T. Gregor, M. Mešt’ánek, L. Hřivná and V. Kumbár, 2022, *Foods*, 11(1), Article 31 (<https://doi.org/10.3390/foods11010031>). Copyright 2022 by Multidisciplinary Digital Publishing Institute.

“Diastatic power and maltose value: a method for the measurement of amylolytic enzymes in malt”, by L. M. Charmier, C. McLoughlin, and B. V. McClear, 2021, *Journal of the Institute of Brewing*, 127(4), pp. 327–344 (<https://doi.org/10.1002/jib.665>). Copyright 2021 by John Wiley & Sons, Inc.

с несоложенным зерновым сырьем вследствие недостатка свободного аминного азота в сусле. Отмечалась негативная роль серосодержащих соединений (сульфиды, тиолы, тиоэфиры) в образовании негативных оттенков вареных овощей в пиве, даже при низких их концентрациях.

В рамках одного типа зерновых также могут влиять генные факторы, поскольку различные генотипы, например, ячменя или других видов зерновых культур, приводят к различному химическому составу, что влияет, в конечном счете, на состав сусла — меняется соотношение фракций азотистых соединений, активности ферментативных систем, а также фракционные составы прочих органических соединений (углеводной, фенольной природы и пр.) (Díaz et al., 2022). В литературе приводятся примеры применения конкретных сортов ячменя, пиво на основе которого приобретает более выраженные фруктово-цветочные и травянистые ноты во вкусе, или классические сорта ярового ячменя с легким солодовым вкусом и пр. (Herb et al., 2017). Более того, исследования 2021г. показали, что формирование ароматических и вкусовых различий пива из ячменя начинается «на корню», то есть зависит

от географического местоположения возделывания ячменя (широты, долготы, высоты над уровнем моря, количеством осадков в год, составом почв и т.д.) (Kyraleou et al., 2021). Таким образом, с одной стороны, присутствует вклад органических соединений зернового сырья, влияющих на метаболизм дрожжей и обуславливающих концентрацию летучих соединений, приведенных в Таблице 5.

Использование зернового сырья приводит к применению экзогенных ферментов, перерастворению питательных веществ, нарушению фракционного состава сусла или, наоборот, к очень низкому экстракту сусла (Cadenas et al., 2021), что сказывается на процессе брожения и приводит к неслаженному вкусу пива. Другие исследователи (Maia et al., 2021) отмечают, что применение злаковых культур (например, несоложенного риса или кукурузы) приводят к получению пива с интересными оттенками во вкусе, однако после процесса достижения необходимого уровня свободного аминного азота в сусле (продолжительной белковой паузы) стабильность вкуса при хранении пива оказалась меньшей по сравнению с ячменным пивом. С другой стороны, применение соложенного сырья, осо-

Таблица 5

Вклад метаболитов клеток дрожжей в ароматический профиль пива

Название соединения		Аромат в пиве	Порог ощущения аромата (мг/дм³)
по IUPAC	тривиальное		
Высшие спирты (алифатические)			
пропан-1-ол	n-пропанол	алкоголя	800
2-метилпропанол	изобутиловый спирт	алкоголя	200
2-метилбутанол	изобутиловый спирт	алкоголя, банана, лекарственный	65
3-метилбутанол	изоамиловый спирт	алкоголя	70
2-фенилэтанол	фенилэтиловый спирт	розы, сладкий	125
Сложные эфиры			
этилэтаноат	этилацетат	фруктовый, сладкий	30
3-метилбутилацетат	изоамилацетат	банана, яблока, эфирного масла	1,2
2-фенилэтилацетат	фенилэтилацетат	розы, меда, яблока, сладкий оттенок	3,8
этилгексаноат	этилкапроат	кислого яблока	0,21
этилоктаноат	этилкаприлат	кислого яблока	0,9
Карбонильные соединения			
этаналь	ацетальдегид	зелени, зеленых листьев, фруктовый	25
2,3-бутандион	диацетил	масляного алкоголя	0,15

Примечание. Из “Flavour-active volatile compounds in beer: Production, regulation and control,” by A. O. Olaniran, L. Hiralal, M. P. Mokoena, and B. Pillay, 2017, *Journal of the Institute of Brewing*, 123(1), pp. 2313–2323 (<https://doi.org/10.1002/jib.389>). Copyright 2017 by John Wiley and Sons.

бенно красящих солодов, обуславливает наличие в пиве летучих соединений, образующихся в результате окисления предшественников липидов; в результате комплекса реакций Майяра (меланоидинообразования) и карамелеобразования; синтеза алифатических соединений серы; высвобождение фенолов (Olaniran et al., 2017). Липиды ячменя при солодоращении расщепляются до ароматических альдегидов, которые обладают травянистыми тонами, ароматом зеленого солода. Однако, при повышении температуры отсушки, подобные альдегиды отсутствуют (Gordon et al., 2018).

При нагревании редуцирующих сахаров проросшего солода (глюкозы, мальтозы, ксилозы, арабинозы) с азотистыми соединениями (аминов, аминокислот или просто солей аммония) образуются ароматические и цветообразующие редуктоны и дегидроредуктоны, полимеризующиеся впоследствии до желтых, коричневых и черных пигментов — продуктов реакции карамелизации и меланоидинообразования

(Olaniran et al., 2017). Необходимо иметь в виду, что изменения профиля органических соединений, возникающие при реакции Майяра обедняют качественно и количество профиль сбраживаемых сахаров и аминокислот, что негативно влияет на скорость брожения, и вызывает изменение профиля ароматических соединений-метаболитов (Castro et al., 2021). Исследователями установлено, что термическая обработка солода при отсушке приводит к изменению и фенольного профиля в специальных окрашенных солодах (Carvalho et al., 2016).

Влияние применения красящих солодов на показатели пива приведены в Таблице 6.

Данные Таблицы 4 свидетельствуют о том, что присутствие в составе засыпи пива красящих солодов приводит к более низкому содержанию алкоголя вследствие недостаточного содержания питательных веществ (сахаров и аминного азота, а также неферментативных продуктов реакции Майяра), по-

Таблица 6

Состав органических соединений суслу и пива из специальных солодов

Тип солода (цвет, ед. ЕВС)/температура отсушки, °С	Содержание в образцах			
	в сусле, г/дм ³		в пиве	
	редуцирующие сахара	аминный азот	полифенольные соединения, мг GAE/дм ³	диацетил, мкг/дм ³
Светлый (2–4)/85	98,70 ± 0,10	255,33 ± 1,73	91,65 ± 0,12	0,49 ± 0,01
Мюнхенский (15–25)/100	96,33 ± 0,25	234,33 ± 2,89	75,34 ± 1,21	1,89 ± 0,07
Венский (6–10)/95	96,83 ± 0,06	230,10 ± 3,61	93,50 ± 5,15	0,92 ± 0,04
Карамельный (5–236)/150	81,67 ± 0,29	200,67 ± 8,50	11,67 ± 5,78	0,28 ± 0,03
Обжаренный (47–49)/165	84,63 ± 0,06	219,67 ± 2,08	116,27 ± 3,10	0,25 ± 0,04

Примечание. Из “Impact of specialty malts on wort and beer characteristics,” by L. F. Castro, A. D. Affonso and R. M. Lehman, 2021, *Fermentation*, 7(3), article 137 (<https://doi.org/10.3390/fermentation7030137>). Copyright 2021 by Multidisciplinary Digital Publishing Institute.

вышенному содержанию фенольных соединений и низкому уровню вицинальных дикетонов. Другими авторами (Prado et al., 2023), изучавшими влияние красящих солодов на ароматический профиль пива, установлено, что альдегиды готового пива (2-метилбутаналь, 2-метилпропаналь, 3-метилбутаналь, 3-(метилтио)пропаналь, бензальдегид и фенилацетальдегид) отвечают за оттенки солодового вкуса (солодовый, бисквитный, хлебный, сухофруктов, карамели, жаренных оттенков) и они более выражены в составе пива, полученном при использовании красящих солодов (мюнхенском, венском, меланоидиновом). Было установлено, что аромат пива формируется также посредством потребления дрожжами предшественников реакции Майяра из соложенного сырья в целях создания новых ароматических соединений.

В отношении изменения фенольного профиля пива было обнаружено, что при наличии красящих солодов в пиве наиболее распространенными представителями были галловая и феруловая кислоты, содержание которых увеличивалось с увеличением количества солода в пиве (Liguori et al., 2021). Однако, было отмечено, что наибольшее количество карамельного солода также отвечает за более высокую мутность и пониженную стабильность пены.

Низкомолекулярные продукты цветных реакций такие как пиразин, фурфурол и мальтол, обеспечивают такие ароматы, как поджаренный, ореховый, хлебный и карамельный (Bettenhausen et al., 2018) и переходят отчасти в пиво. Пиразины, как отмечается (Vandecan et al., 2011), по содержанию были преобладающими в обжаренном солоде, и присутствовали в виде 2,3-диэтил-5-метилпиразина и 2-этил-3,5-диметилпиразина.

В Таблице 7 представлены основные соединения специальных солодов и соответствующий им аромат.

Имеются и негативные стороны от применения специальных солодов на качество пива. Combe et al. (2013) сообщают о положительном влиянии обжаренных солодов (черного солода, жареного ячменя) и пшеничного солода на пенообразующие свойства коллоидной структуры пива и негативном влиянии специальных солодов (карамельного солода типа кристалл) на характеристики пены.

К отрицательным моментам применения специальных, особенно обжаренных солодов, относится уровень извлекаемых фенольных соединений. Так, при производстве солода на стадии отсушки свежепроросшего солода увеличивается количество эте-

Таблица 7

Вклад органических соединений специальных солодов в аромат пива

Название соединения		Аромат
по IUPAC	тривиальное	
2-метилпропаналь	изобутиральдегид	выпечки
3-метилбутаналь	изовалеральдегид	ореховый
2-метилбутаналь	2-метилбутиральдегид	выпечки
пентаналь	валеральдегид	ореховый
гексан-1-ол	гексаналь	травы
фуран-2-альдегид	фурфурол	ржаной корочки
фурил-2-метанол	фурфуриловый спирт	кофе
метил-2-фурилокетон	2-ацетилфуран	земляной
бензальдегид	бензойный альдегид	миндальный
5-метил-2-фуральдегид	5-метил фурфураль	кофейный, шоколадный
1-октен-3-ол	октенол	травы
2-пентилфуран	2-пентилфуран	земляной
2-этил-6-метилпиразин	2-этил-6-метилпиразин	выпечки
пиррол-2-карбоксиальдегид	2-пирролальдегид	кофе
2-этил-1-гексанол	2-этилгексанол	фруктовый
фенилацетальдегид	фенилуксусный альдегид	медовый, сладкого картофеля
транс-2-октеналь	трансгексен	цветочный, зелени
2-ацетил пиррол	2-ацетилазол	жженный
3,5-диметил-2-этилпирразин	диметил пирразин	ореховый, выпечки
нонаналь	нонанальальдегид	медовый
2-изопропил-5-метил-2-гексеналь	изодигидро лавандулал	молочный шоколад
транс-2-ноненаль	транс ноненаль	травы
3-гидрокси-2-метил-4Н-пиран-4-он	мальтол	карамельный
2-метил-3-изобутилпиразин	метоксипиразин	сахарного сиропа
1-фурфурилпиррол	фурфуриловый спирт	ореховый, кремный
дециловый альдегид	дециловый альдегид	хрустящей корочки
2-пропилгептан-1-ол	2-пропилгептанол	рисовых отрубей
2-фенил-2-бутеналь	бутанол фенил	поджаренного бисквита
4-этил-2-метоксифенол	4-этил гваякол	дымный, острый
транс-2,4-декадиен-1-аль	транс декадиен	земляной, травы
4-метил-2-фенил-2-пентеналь	4-метил бензальдегид	хлебный
ацетат 3,7-диметил-транс-2,6-октадиен-1-ола	геранилацетон	травы
додекан-1-ол	1-додеканол	земляной

Примечание. Из “Sensory lexicon and aroma volatiles analysis of brewing malt,” by X. Su, S. Wu, M. Ma, H. Su, F. Guo, Q. Bian, and T. Du, 2022, *Science of Food*, 6, article 20 (<https://doi.org/10.1038/s41538-022-00135-5>). Copyright 2022 by Springer Nature Limited.

рифицированных фракций фенольных соединений (Carciochi et al., 2016). Данный эффект связан с биокаталитическим распадом растительной матрицы солода, способствующим появлению связанных фенольных соединений, что приводит к их экстракции при затирации (Carciochi et al., 2016; Shopska et al., 2021). Высокие температуры на конечной стадии получения солода (выше 135°C) приводят к появлению полимеризованных фенольных соединений, которые ответственны за образование белково-фенольных комплексов, вызывающих помутнения, при хранении пива (Shopska et al., 2021; Martinez-Gomez et al., 2020).

Влияние хмелепродуктов на ароматический профиль и прочие показатели пива

Вопрос влияния органических соединений хмелепродуктов подробно рассматривался в работе (Гернет & Грибкова, 2020б), поэтому более подробно остановимся на неочевидных отрицательных сторонах применения хмелепродуктов. Исследователями было обнаружено (Rutnik et al., 2022), что фактор продолжительности хранения сильно влияет на качество охмеления — с увеличением продолжительности хранения снижается интенсивность и качество хмелевого аромата: качество горечи и аромата ухудшилось, наблюдался эффект гашинга. С другой стороны, установлено, что условия холодного охмеления позволило добиться высоких

уровней мономеров флаван-3-ола (до 6,6 мг/мг³) и олигомеров (до 14,1 и 10,2 мг/дм³ димеров и тримеров соответственно), а также увеличения цвета пива при хранении, и интенсификации образования комплексов холодного помутнения (Ferreira et al., 2022), что наглядно иллюстрируют данные Таблицы 8.

Влияние штаммов микроорганизмов на ароматический профиль и прочие показатели пива

В зависимости от физиологического набора ферментных систем микроорганизмов в литературе сообщается о различном эффекте на ароматный профиль пива в зависимости от метаболитов. Matukas et al. (2022) сообщают о влиянии разных штаммов дрожжей (*S. cerevisiae* var. *diastaticus*, *S. cerevisiae* var. *bayanus*, *Brettanomyces clausenii*) на основные показатели качества пива: отмечалось значительное изменение в концентрации алкоголя, цвета, концентрации 3-метил-1-бутанола, L-α-терпинеола, 3-метилбутилового эфира гексановой кислоты и изобутилового эфира н-каприновой кислоты, а также в качественном и количественном содержании биогенных аминов. Показано, что в зависимости от генов, реплицирующихся в органеллах клетки, тот или иной микроорганизм вырабатывает метаболиты, формирующие ароматический профиль пива (Таблица 9).

Таблица 8

Влияние количества стадий обработки сухим охмелением на качество пива

Содержание	Схема охмеления						
	контроль	одностадийное охмеление при дозировке, г/100дм ³			двухстадийное охмеление при дозировке, г/100дм ³		
		386	772	1554	386	772	1554
Изогумулону (мг/дм ³)	18,5	17,0	16,6	17,2	16,9	14,0	13,5
Гумулинонов (мг/дм ³)	но	4,0	6,9	8,0	4,7	7,4	10,5
Единицы горечи (ibu)	23,0	27,0	31,0	35,5	28,5	33	38,5
Полифенолов (мг/дм ³)	200	203	231	283	197	229	295
Действительный экстракт (%)	3,89	3,97	4,07	4,26	3,97	4,06	4,24
Цвет (°asbc)	8,47	8,70	8,90	9,11	8,67	8,74	9,01
Мутность (°asbc)	64	91	125	128	96	90	114

Примечание. Из "A comparison of single-stage and two-stage dry-hopping regimes," by D. G. Hauser, K. R. Van Simaeys, S. R. Lafontaine, and T. H. Shellhammer, 2019, *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 77(4), pp. 251–260 (<https://doi.org/10.1080/03610470.2019.1668230>). Copyright 2019 by American Society of Brewing Chemists.

Таблица 9

Гены микроорганизмов, кодирующие ферментативный комплекс, ответственный за формирование вкусового профиля, на примере *S. Cerevisiae*

Группа генов	Класс органических соединений, вырабатываемых генами	Ферментативная активность, соответствующая генам	Органелла клетки, ответственная за выработку фермента
ADH1–5; SFA1	Высшие спирты	Алкогольдегидрогеназа	Цитоплазма, митохондрии, ядро
ARO3, 4, 7, 10	2-Фенилэтанол	Фенилпируватдекарбоксилаза, 3-дезоксид-арабино-гептулозонат-7-фосфатная (dahp) синтаза, 3-дезоксид-арабино-гептулозонат-7-фосфатная (dahp) синтаза, мутаза хоризмата	Цитоплазма
ATF1,2	Ацетатные эфиры	Алкоголь ацетил-коа трансфераза	Липидные капли, эндоплазматический ретикулум
BAT1,2	Высшие спирты и др. Ароматические соединения	Аминокислотная трансфераза с разветвленной цепью	Митохондрии. Цитоплазма
LEU4	Изоамиловый спирт	α -изопропилмалатсинтаза	Митохондрия / цитоплазма
IAH1	Изоацетат	Изоацетат-гидролизующая эстераза	Цитоплазма
BTS1	Терпеноиды	Фарнезилтрансфераза / геранилгеранилдифосфат (ggpp) синтаза; биосинтез терпеноидной основы (биосинтез изопреноидов с10-с20)	Эндоплазматический ретикулум
COQ1; SRT1	Монотерпеноиды	Транс-гексапренил трансферазы/гексапренил пирофосфат синтаза; Пренилдифосфат синтаза; биосинтез терпеноидной основы	Митохондрии, липидные капли/митохондрии
EAT1	Этил ацетат	Этанол ацетил-соа трансфераза	Митохондрии
EEB1	Этил гексаноат	Этанол ацил-соа трансфераза	Не установлено
EHT1	Этил гексаноат	Этанол ацил-соа трансфераза	Липидные капли/митохондрии
ERG8, 12, 20; MVD1	Терпеноиды	Фосфомевалонаткиназа; мевалонат киназа; фарнезилдифосфат (fpp) синтаза / диметилаллил трансфераза; биосинтез терпеноидной основы; дифосфомевалонатдекарбоксилаза; биосинтез изопентенилдифосфата	Цитоплазма, внеклеточная секреция; ретикулум; ядерная оболочка
IDI1	Монотерпеноиды	Изопентенил-дифосфат (ipp) изомераза; биосинтез терпеноидной основы	Цитоплазма / ядро
STR3	Полифункциональные тиолы (3-сульфанил гексанол)	Цистатионин-б-лиаза	Пероксисома
IRC7	Полифункциональные тиолы (4-сульфанил-4-метилпентан-2-он)	Углерод-серная б-лиаза	Цитоплазма
OYE2	Гераниол → цитронеллол	Nadph дегидрогеназа 2 (старый желтый фермент 2); восстановление гераниола в цитронеллол	Цитоплазма / митохондрия / ядро
PLB2	Этилок-октаноат	Лизофосфолипаза	Мембрана / периплазма / внеклеточная секреция

Примечание. Из “The molecular biology of fruity and floral aromas in beer and other alcoholic beverages,” by S. Holt, M. H. Miks, B. T. de Carvalho, M. R. Foulquié-Moreno, and J. M. Thevelein, 2019, *Microbiology Reviews*, 43(3), pp. 193–222 (<https://doi.org/10.1093/femsre/fuy041>). Copyright 2019 by FEMS.

В пивоварении принято применять дрожжи расы *Saccharomyces*, которая на данный момент состоит из восьми биологически различных видов дрожжей, успешно применяемых в пивоварении: *S. cerevisiae*, *S. paradoxus*, *S. cariocanus*, *S. uvarum*, *S. mikatae*, *S. kudriavzevii*, *S. arboricola* и *S. Eubayanus*, а также *S. pastorianus* и *S. Bayanus* (Iorizzo et al., 2021; Iorizzo et al., 2021; Iattici et al., 2020; Rossi et al., 2018; Krogerus et al., 2022). Представлена информация об особенностях применяемых на сегодняшний момент гибридов дрожжей, представленных в Таблице 10.

Исследуется вопрос, что более влияет на формирование аромата пива — хмель или метаболические процессы дрожжевой клетки. Так авторы (Steyer et al., 2017) исследовали влияние дрожжей и хмелевых органических соединений на ароматный профиль пива и обнаружили, что из 39 обнаруженных летучих соединений 9 подверглись влиянию сорта

хмеля, 2 — штамму дрожжей и 28 оставшихся — менялись исходя из типа и сорта и хмеля и штамма дрожжей. Исследовалось также удалось установить, что дрожжи преобразуют терпены, а сорт хмеля влияет на конечную концентрацию эфиров, что подтвердили в своей работе другие авторы (Holt et al., 2019; Haslbeck et al., 2018; Pang et al., 2016; Rakhshi et al., 2022; Rittenauer et al., 2021).

Для того, чтобы исключить нестабильность вкуса, вызываемую низкой стойкостью эфирного масла, что затрудняет достижение стабильно высокого хмелевого вкуса в пиве, Denby et al. (2018) сконструировали методами генной инженерии пивные дрожжи, которые включают гены ферментов для биосинтеза ароматических монотерпеновых молекул, полученных из дрожжей, мяты и базилика.

Сообщается, что дрожжи, полученные генной модификацией или полученные из «диких» видов,

Таблица 10

Характеристики новых гибридных штаммов пивоваренных дрожжей (Iorizzo et al., 2021; Iorizzo et al., 2021; Iattici et al., 2020; Rossi et al., 2018; Krogerus et al., 2022)

Исходные штаммы дрожжей	Отличительные черты гибридных штаммов
<i>S. cerevisiae</i> верховые/ <i>S. cerevisiae</i> sake	Вырабатывают больше этанола и сложных эфиров по сравнению с пивом, сброженным низовой <i>S. Cerevisiae</i>
<i>S. cerevisiae</i> верховые/ <i>S. cerevisiae</i> var. <i>diastaticus</i>	Высоко осмоотолерантен, вырабатывает больше этанола, чем исходный <i>S. Cerevisiae</i>
<i>S. cerevisiae</i> верховой/ <i>S. bayanus</i>	Гибридизация данных двух рас способствует бродящей активности при низкой температуре
<i>S. cerevisiae</i> верховая/ <i>S. bayanus</i>	Гибридный штамм показал большую стрессоустойчивость (в зависимости от давления и температуры), сбраживаемости и устойчивости по отношению к концентрации спирта
<i>S. cerevisiae</i> , <i>S. paradoxus</i> и <i>S. pastorianus</i>	Производят большее количество изоамилацетата при сохранении сбраживающей активности
<i>S. cerevisiae</i> / <i>S. eubayanus</i>	Устойчивость к низким температурам, способность сбраживать олигосахариды
<i>S. cerevisiae</i> / <i>S. eubayanus</i>	Устойчивы к низким температурам, сбраживают мальтотриозу, обладают сильной флокуляцией, высокая сбраживающая активность, способность накапливать высокое содержание алкоголя
<i>S. cerevisiae</i> верховая и винная раса/ <i>S. eubayanus</i>	Большее разнообразие ароматических соединений вследствие более богатого ферментативного набора
<i>S. cerevisiae</i> верховая раса/ <i>S. eubayanus</i>	Повышенная скорость ферментации и продуцирование более высоких концентраций ароматообразующих эфиров
<i>S. cerevisiae</i> / <i>S. uvarum</i>	Устойчивость к температуре в широком диапазоне, устойчивость к высоким содержаниям этанола, сбраживание ряда углеводов

интенсивно (за 4–10 суток) сбродили мономерные сахара и мальтозу, затем стали усваивать мальтотриозу, что привело к содержанию алкоголя в пиве от 4,9 до 5,5%, полученного с применением штаммов *Saccharomyces pastorianus*, *S. jurei* и *S. Eubayanus* (Hutzler et al., 2021; Wang et al., 2018). Сообщается также, что за период брожения накопились летучие вещества (до 0,4 мг/дм³ этилгексаноата) с яблочно-анисовыми тонами, в пиве *S. jurei*, (до 100 мг/дм³ фенилэтанола) у пива с *S. eubayanus*. Однако, в качестве негативного фактора в пиве, сброженном *S. Jurei*, были отчетливо заметны несвойственные фенольные пряно-гвоздичные нотки, нотки тропических фруктов.

Таким образом, регулирование аромата именно пива, качество которого регламентировано за счет применения ограниченного перечня растительного сырья, остается ограниченным, поскольку применение ароматических веществ запрещено в технологии категорически. И это является интересным открытым вопросом для исследований.

ВЫВОДЫ

Обзор влияния растительного сырья — зернового (модифицированного и непророщенного), хмелепродуктов, а также различных микроорганизмов выявил их непосредственное влияние на ароматический профиль пивоваренной продукции. Установлено, что применение различных зерновых культур, а также обжаренных солодов значительно влияет на состав органических соединений пива, которые напрямую или посредством ферментативного аппарата дрожжей составляют ароматный профиль готовой продукции. Наряду с положительными моментами расширения ассортимента линейки пивоваренной продукции установлены отрицательные моменты. Они касаются недостатка низкомолекулярных веществ в составе зерновых

культур, переработанности эндосперма солодового сырья разных типов, что приводит к недостаточной степени сбраживания пивного сусла. Отмечено отрицательное влияние фенольных соединений хмелепродуктов, вызывающих образование помутнений в готовой продукции. Со стороны разнообразных микроорганизмов отмечается большой вклад в формирование органолептического профиля за счет индивидуального метаболизма конкретного штамма, который не всегда является сбалансированным. В результате проведенных аналитических исследований была достигнута цель исследований, которая сформировала направление для дальнейших исследований в плане изучения способов расширения вариантов ароматных профилей пива в рамках требований нормативно-правовых актов на пиво. Согласно вышеуказанным актам, регламентирующим качество пива, расширение оттенков ароматного и вкусового профиля продукции может происходить за счет ограниченного спектра растительного сырья (солода, хмеля). Поэтому встает вопрос о создании инновационных материалов на основе отработанного сырья, которое может использоваться в качестве носителя аромата/вкуса, расширяющее ассортимент выпускаемой продукции.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Грибкова Ирина Николаевна — разработка или проектирование методологии исследования; подготовка и создание черновика рукописи, в частности написание первоначального текста рукописи.

Лазарева Ирина Валерьевна — формулирование исследовательских целей и задач; подготовка и создание рукописи, её комментирование или просмотр.

ЛИТЕРАТУРА

- Бурак, Л. Ч. (2021). Перспективы производства пива с функциональными свойствами. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания*, (2), 79–88. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-2-79-8>
- Гернет, М. В., & Грибкова, И. Н. (2020а). Современные способы использования хмелепродуктов в пивоварении. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 34–42. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.328>
- Гернет, М. В., & Грибкова, И. Н. (2020б). Влияние соединений хмеля и хмелепродуктов на сенсорный профиль готового пива. *XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*, (1), 93–99.
- Иванченко, О. Б., & Данина, М. М. (2018). Использование лекарственных трав в технологии темных элей. *Вестник Международной академии холода*, (1), 11–18. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2018-17-1-11-18>
- Каменская, Е. П., & Черкасова, Е. С. (2021). Использование метода низкотемпературного контакта дрожжей с суслом в технологии безалкогольного пива. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (4), 166–171. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-4-166-171>
- Кретьова, Ю. И., & Калинина, И. В. (2022). Особенности рынка пивоваренной продукции в текущих экономических условиях: состояние и перспективы развития. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Пищевые и биотехнологии*, 10(2), 5–14. <https://doi.org/10.14529/food220201>
- Новикова, И. В., Муравьев, А. С., Ланкина, А. К., & Москалев, В. А. (2018). Оценка влияния рецептурного состава на сенсорные и физико-химические свойства пива в стиле SAISON. *Пиво и напитки*, (3), 34–38.
- Пономарева, О. И., Борисова, Е. В., & Прохорчик, И. П. (2019). Влияние технологических характеристик различных видов сырья на вкус и аромат кислых элей. *Техника и технология пищевых производств*, 49(2), 235–244. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-235-244>
- Bettenhausen, H. M., Barr, L., Broeckling, C. D., Chaparro, J. M., Holbrook, C., Sedin, D., & Heuberger, A. L. (2018). Influence of malt source on beer chemistry, flavor, and flavor stability. *Food Research International*, 113, 487–504. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.024>
- Blišáková, L., Gregor, T., Mešťánek, M., Hřivná, L., & Kumbár, V. (2022). The use of unconventional malts in beer production and their effect on the wort viscosity. *Foods*, 11(1), Article 31. <https://doi.org/10.3390/foods11010031>
- Cadenas, R., Caballero, I., Nimubona, D., & Blanco, C.A. (2021). Brewing with starchy adjuncts: Its influence on the sensory and nutritional properties of beer. *Foods*, 10(8), Article 1726. <https://doi.org/10.3390/foods10081726>
- Carciocchi, R. A., Dimitrov, K., & Galván, D. A. L. (2016). Effect of malting conditions on phenolic content, Maillard reaction products formation, and antioxidant activity of quinoa seeds. *Journal of Food Science and Technology*, 53(11), 3978–3985. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2393-7>
- Carvalho, D. O., Gonçalves, L. M., & Guido, L. F. (2016). Overall antioxidant properties of malt and how they are influenced by the individual constituents of barley and the malting process. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(5), 927–943. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12218>
- Castro, L. F., Affonso, A. D., & Lehman, R. M. (2021). Impact of specialty malts on wort and beer characteristics. *Fermentation*, 7(3), Article 137. <https://doi.org/10.3390/fermentation7030137>
- Charmier, L. M. J., McLoughlin, C., & McCleary, B. V. (2021). Diastatic power and maltose value: a method for the measurement of amylolytic enzymes in malt. *Journal of the Institute of Brewing*, 127(4), 327–344. <https://doi.org/10.1002/jib.665>
- Combe, A., Ang, J., & Bamforth, C. (2013). Positive and negative impacts of specialty malts on beer foam: A comparison of various cereal products for their foaming properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(9), 2094–2101. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6117>
- Denby, C. M., Li, R. A., & Vu, V. T. (2018). Industrial brewing yeast engineered for the production of primary flavor determinants in hopped beer. *Nature Communications*, 9, Article 965. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03293-x>
- Díaz, A. B., Durán-Guerrero, E., Lasanta, C., & Castro, R. (2022). From the raw materials to the bottled product: influence of the entire production process on the organoleptic profile of industrial beers. *Foods*, 11(20), Article 3215. <https://doi.org/10.3390/foods11203215>
- Erzetti, M., Marconi, O., Bravi, E., Perretti, G., Montanari, L., & Fantozzi, P.J. (2009). HACCP in the malting and brewing production chain: mycotoxin, nitrosamine and biogenic amine risks. *Italian Journal of Food Science*, 21, 211–230.
- Ferreira, C. S., Simon, M., & Collin, S. (2022). Why catechin and epicatechin from early hopping impact the color of aged dry-hopped beers while flavan-3-ol oligomers from late and dry hopping increase colloidal instability. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 81(2), 255–264. <https://doi.org/10.1080/03610470.2022.2062156>
- Haslbeck, K., Bub, S., von Kamp, K., Michel, M., Zarnkow, M., Hutzler, M., & Coelhan, M. (2018). The influence of brewing yeast strains on monoterpene alcohols and esters contributing to the citrus flavour of beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 124(4), 403–415. <https://doi.org/10.1002/jib.523>
- Hauser, D. G., Van Simaey, K. R., Lafontaine, S. R., & Shellhammer, T. H. (2019). A comparison of single-stage and two-stage dry-hopping regimes. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 77(4), 251–260. <https://doi.org/10.1080/03610470.2019.1668230>
- Herb, D., Filichkin, T., Fisk, S., Helgersson, L., Hayes, P., Meints, B., Jennings, R., Monsour, R., Tynan, S., & Vinke-meier, K. (2017). Effects of barley (*Hordeum vulgare* L.)

- variety and growing environment on beer flavor. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 75(4), 345–353. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2017-4860-01>
- Holt, S., Miks, M. H., de Carvalho, B. T., Foulquié-Moreno, M. R., & Thevelein, J. M. (2019). The molecular biology of fruity and floral aromas in beer and other alcoholic beverages. *FEMS Microbiology Reviews*, 43(3), 193–222. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuy041>
- Hutzler, M., Michel, M., Kunz, O., Kuusisto, T., Magalhães, F., Krogerus, K., & Gibson, B. (2021). Unique Brewing-Relevant Properties of a Strain of *Saccharomyces jurei* isolated from ash (*Fraxinus excelsior*). *Frontiers in Microbiology*, 12, Article 645271. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.645271>
- Gąsior, J., Kawa-Rygielska, J., & Kucharska, A. Z. (2020). Carbohydrates profile, polyphenols content and antioxidative properties of beer worts produced with different dark malts varieties or roasted barley grains. *Molecules*, 25(17), Article 3882. <https://doi.org/10.3390/molecules25173882>
- Gordon, R., Power, A., Chapman, J., Chandra, S., & Cozzolino, D. (2018). A review on the source of lipids and their interactions during beer fermentation that affect beer quality. *Fermentation*, 4(4), Article 89. <https://doi.org/10.3390/fermentation4040089>
- Iorizzo, M., Coppola, F., Letizia, F., Testa, B., & Sorrentino, E. (2021). Role of yeasts in the brewing process: tradition and innovation. *Processes*, 9(5), Article 839. <https://doi.org/10.3390/pr9050839>
- Krogerus, K., Rettberg, N., & Gibson, B. (2022). Increased volatile thiol release during beer fermentation using constructed interspecies yeast hybrids. *European Food Research and Technology*, 249, 55–69. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04132-6>
- Kunz, T., Müller, C., Mato-Gonzales, D., & Methner, F.-J. (2012). The influence of unmalted barley on the oxidative stability of wort and beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 118(1), 32–39. <https://doi.org/10.1002/jib.6>
- Kyrleou, M., Herb, D., O'Reilly, G., Conway, N., Bryan, T., & Kilcawley, K. N. (2021). The impact of terroir on the flavour of single malt whisk(e)y new make spirit. *Foods*, 10(2), Article 443. <https://doi.org/10.3390/foods10020443>
- Iattici, F., Catallo, M., & Solieri, L. (2020). Designing new yeasts for craft brewing: when natural biodiversity meets biotechnology. *Beverages*, 6(1), Article 3. <https://doi.org/10.3390/beverages6010003>
- Liguori, L., De Francesco, G., Orilio, P., Perretti, G., & Albanese, D. (2021). Influence of malt composition on the quality of a top fermented beer. *Journal of Food Science and Technology*, 58(6), 2295–2303. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04740-8>
- Liu, M., Zeng, Z., & Xiong, B. (2005). Preparation of novel solid-phase microextraction fibers by sol-gel technology for headspace solid-phase microextraction-gas chromatographic analysis of aroma compounds in beer. *Journal of Chromatography A*, 1065(2), 287–299. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.12.073>
- Maia, C., Cunha, S., Debyser, W., & Cook, D. (2021). Impacts of adjunct incorporation on flavor stability metrics at early stages of beer production. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 81(1), 54–65. <https://doi.org/10.1080/03610470.2021.1993054>
- Martinez-Gomez, A., Caballero, I., & Blanco, C. A. (2020). Phenols and melanoidins as natural antioxidants in beer. structure, reactivity and antioxidant activity. *Biomolecules*, 10(3), Article 400. <https://doi.org/10.3390/biom10030400>
- Matukas, M., Starkute, V., Zokaityte, E., Zokaityte, G., Klupsaite, D., Mockus, E., Rocha, J. M., Ruibys, R., & Bartkiene, E. (2022). Effect of different yeast strains on biogenic amines, volatile compounds and sensory profile of beer. *Foods*, 11(15), Article 2317. <https://doi.org/10.3390/foods11152317>
- Mayer, H., Ceccaroni, D., Marconi, O., Sileoni, V., Perretti, G., & Fantozzi, P. (2016). Development of an all rice malt beer: A gluten free alternative. *LWT-Food Science and Technology*, 67(2), 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.037>
- Mikyska, A., Matoulkova, D., Slaby, M., Kubizniakova, P., & Hartman, I. (2015). Characterization of the strains isolated from kefir grains and their use for the production of beer-based fermented beverages from nontraditional cereals. *Kvasný průmysl*, 61(10–11), 10–11. <https://doi.org/10.18832/kp2015029>
- Olaniran, A. O., Hiralal, L., Mokoena, M. P., & Pillay, B. (2017). Flavour-active volatile compounds in beer: Production, regulation and control. *Journal of the Institute of Brewing*, 123(1), 2313–2323. <https://doi.org/10.1002/jib.389>
- Pang, Y., Ali, J., Wang, X., Franje, N. J., Revilla, J. E., & Xu, J. (2016). Relationship of Rice Grain Amylose, Gelatinization Temperature and Pasting Properties for Breeding Better Eating and Cooking Quality of Rice Varieties. *PLoS ONE*, 11(12), Article e0168483. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168483>
- Prado, R., Gastl, M., & Becker, T. (2023). Influence of kilned specialty malt odorant markers on the aroma composition and sensory profile of beer. *LWT*, 173, Article 114195. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114195>
- Rakhshi, E., Cambert, M., Diascorn, Y., Lucas, T., & Rondeau-Mouro, C. (2022). An insight into tapioca and wheat starch gelatinization mechanisms using TD-NMR and complementary techniques. *Magnetic Resonance in Chemistry*, 60(7), 702–718. <https://doi.org/10.1002/mrc.5258>
- Rittenauer, M., Gladis, S., Gastl, M., & Becker, T. (2021). Gelatinization or pasting? The impact of different temperature levels on the saccharification efficiency of barley malt starch. *Foods*, 10(8), Article 1733. <https://doi.org/10.3390/foods10081733>
- Rossi, S., Turchetti, B., Sileoni, V., Marconi, O., & Perretti, G. (2018). Evaluation of *Saccharomyces cerevisiae* strains isolated from non-brewing environments in beer production. *Journal of the Institute of Brewing*, 124(4), 381–388. <https://doi.org/10.1002/jib.503>
- Rutnik, K., Ocvirk, M., & Košir, I. J. (2022). Impact of hop freshness on dry hopped beer quality. *Foods*, 11(9), Article 1310. <https://doi.org/10.3390/foods11091310>

- Shopska, V., Denkova-Kostova, R., Dzhivoderova-Zarcheva, M., Teneva, D., Denev, P., & Kostov, G. (2021). Comparative study on phenolic content and antioxidant activity of different malt types. *Antioxidants*, 10(7), Article 1124. <https://doi.org/10.3390/antiox10071124>
- Steyer, D., Tristram, P., Leita, C., Heitz, F., & Laugel, B. (2017). Yeast strains and hop varieties synergy on beer volatile compounds. *BrewingScience*, 70, 131–141. <https://doi.org/10.23763/BrSc17-13Steyer>
- Su, X., Wu, S., Ma, M., Su, H., Guo, F., Bian, Q., & Du, T. (2022). Sensory lexicon and aroma volatiles analysis of brewing malt. *Science of Food*, 6, Article 20. <https://doi.org/10.1038/s41538-022-00135-5>
- Vandecan, S. M. G., Daems, N., Schoupe, N., Saison, D., & Delvaux, F. R. (2011). Formation of flavor, color, and reducing power during the production process of dark specialty malts. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 69(3), 150–157. <https://doi.org/10.1094/ASB-CJ-2011-0626-01>
- Wang, S., Chao, C., & Xiang, F. (2018). New insights into gelatinization mechanisms of cereal endosperm starches. *Scientific Reports*, 8, Article 3011. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21451-5>
- Yorke, J., Cook, D., & Ford, R. (2021). Brewing with unmalted cereal adjuncts: Sensory and analytical impacts on beer quality. *Beverages*, 7(1), Article 4. <https://doi.org/10.3390/beverages7010004>

REFERENCES

- Burak, L. Ch. (2021). Perspektivy proizvodstva piva s funktsional'nymi svoistvami [Prospects for the production of beer with functional properties]. *Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK — produkty zdorovogo pitaniya [Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex — Healthy Food Products]*, (2), 79–88. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-2-79-8>
- Erzetti, M., Marconi, O., Bravi, E., Perretti, G., Montanari, L., & Fantozzi, P. J. (2009). HACCP in the malting and brewing production chain: mycotoxin, nitrosamine and biogenic amine risks. *Italian Journal of Food Science*, 21, 211–230.
- Gernet, M. V., & Gribkova, I. N. (2020a). Sovremennye sposoby ispol'zovaniya khmeleproduktov v pivovarenii [Modern ways of using hop products in brewing]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and Processing of Farm Products]*, (4), 34–42. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.328>
- Gernet, M. V., & Gribkova, I. N. (2020b). Vliyanie soedinenii khmeliya i khmeleproduktov na sensornyi profil' gotovogo piva [The influence of hop compounds and hop products on the sensory profile of the finished beer]. *XXI vek: Itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus [21st Century: The Results of the Past and the Problems of the Present Plus]*, (1), 93–99.
- Ivanchenko, O. B., & Danina, M. M. (2018). Ispol'zovanie lekarstvennykh trav v tekhnologii temnykh elei [The use of medicinal herbs in the technology of dark ales]. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda [Bulletin of the International Academy of Cold]*, (1), 11–18. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2018-17-1-11-18>
- Kamenskaya, E. P., & Cherkasova, E. S. (2021). Ispol'zovanie metoda nizkotemperaturnogo kontakta drozhzhei s suslom v tekhnologii bezalkogol'nogo piva [The use of the method of low-temperature contact of yeast with wort in the technology of non-alcoholic beer]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University]*, (4), 166–171. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-4-166-171>
- Kretova, Yu. I., & Kalinina, I. V. (2022). Osobennosti rynka pivovarennoi produktsii v tekushchikh ekonomicheskikh usloviyakh: sostoyanie i perspektivy razvitiya [Features of the brewing products market in the current economic conditions: state and prospects of development]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Pishchevye i biotekhnologii [Bulletin of the South Ural State University. Food and Biotechnology]*, 10(2), 5–14. <https://doi.org/10.14529/food220201>
- Novikova, I. V., Murav'ev, A. S., Lankina, A. K., & Moskalev, V. A. (2018). Otsenka vliyaniya retsepturnogo sostava na sensornye i fiziko-khimicheskie svoystva piva v stile SAISON [Evaluation of the effect of the prescription composition on the sensory and physico-chemical properties of SAISON-style beer]. *Pivo i napitki [Beer and Drinks]*, (3), 34–38.
- Ponomareva, O. I., Borisova, E. V., & Prokhorchik, I. P. (2019). Vliyanie tekhnologicheskikh kharakteristik razlichnykh vidov syrya na vkus i aromat kislykh elei [The influence of technological characteristics of various types of raw materials on the taste and aroma of sour ales]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Equipment and Technology of Food Production]*, 49(2), 235–244. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-235-244>
- Bettenhausen, H. M., Barr, L., Broeckling, C. D., Chaparro, J. M., Holbrook, C., Sedin, D., & Heuberger, A. L. (2018). Influence of malt source on beer chemistry, flavor, and flavor stability. *Food Research International*, 113, 487–504. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.024>
- Blšáková, L., Gregor, T., Mešt'ánek, M., Hřivná, L., & Kumbár, V. (2022). The use of unconventional malts in beer production and their effect on the wort viscosity. *Foods*, 11(1), Article 31. <https://doi.org/10.3390/foods11010031>
- Cadenas, R., Caballero, I., Nimubona, D., & Blanco, C. A. (2021). Brewing with starchy adjuncts: Its influence on the sensory and nutritional properties of beer. *Foods*, 10(8), Article 1726. <https://doi.org/10.3390/foods10081726>
- Carciocchi, R. A., Dimitrov, K., & Galván, D. A. L. (2016). Effect of malting conditions on phenolic content, Maillard reaction products formation, and antioxidant activity

- of quinoa seeds. *Journal of Food Science and Technology*, 53(11), 3978–3985. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2393-7>
- Carvalho, D. O., Gonçalves, L. M., & Guido, L. F. (2016). Overall antioxidant properties of malt and how they are influenced by the individual constituents of barley and the malting process. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(5), 927–943. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12218>
- Castro, L. F., Affonso, A. D., & Lehman, R. M. (2021). Impact of specialty malts on wort and beer characteristics. *Fermentation*, 7(3), Article 137. <https://doi.org/10.3390/fermentation7030137>
- Charmier, L. M. J., McLoughlin, C., & McCleary, B. V. (2021). Diastatic power and maltose value: a method for the measurement of amylolytic enzymes in malt. *Journal of the Institute of Brewing*, 127(4), 327–344. <https://doi.org/10.1002/jib.665>
- Combe, A., Ang, J., & Bamforth, C. (2013). Positive and negative impacts of specialty malts on beer foam: A comparison of various cereal products for their foaming properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(9), 2094–2101. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6117>
- Denby, C. M., Li, R. A., & Vu, V. T. (2018). Industrial brewing yeast engineered for the production of primary flavor determinants in hopped beer. *Nature Communications*, 9, Article 965. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03293-x>
- Díaz, A. B., Durán-Guerrero, E., Lasanta, C., & Castro, R. (2022). From the raw materials to the bottled product: influence of the entire production process on the organoleptic profile of industrial beers. *Foods*, 11(20), Article 3215. <https://doi.org/10.3390/foods11203215>
- Ferreira, C. S., Simon, M., & Collin, S. (2022). Why catechin and epicatechin from early hopping impact the color of aged dry-hopped beers while flavan-3-ol oligomers from late and dry hopping increase colloidal instability. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 81(2), 255–264. <https://doi.org/10.1080/03610470.2022.2062156>
- Haslbeck, K., Bub, S., von Kamp, K., Michel, M., Zarnkow, M., Hutzler, M., & Coelhan, M. (2018). The influence of brewing yeast strains on monoterpene alcohols and esters contributing to the citrus flavour of beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 124(4), 403–415. <https://doi.org/10.1002/jib.523>
- Hauser, D. G., Van Simaey, K. R., Lafontaine, S. R., & Shellhammer, T. H. (2019). A comparison of single-stage and two-stage dry-hopping regimes. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 77(4), 251–260. <https://doi.org/10.1080/03610470.2019.1668230>
- Herb, D., Filichkin, T., Fisk, S., Helgersson, L., Hayes, P., Meints, B., Jennings, R., Monsour, R., Tynan, S., & Vinkemeier, K. (2017). Effects of barley (*Hordeum vulgare* L.) variety and growing environment on beer flavor. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 75(4), 345–353. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2017-4860-01>
- Holt, S., Miks, M. H., de Carvalho, B. T., Foulquié-Moreno, M. R., & Thevelein, J. M. (2019). The molecular biology of fruity and floral aromas in beer and other alcoholic beverages. *FEMS Microbiology Reviews*, 43(3), 193–222. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuy041>
- Hutzler, M., Michel, M., Kunz, O., Kuusisto, T., Magalhães, F., Krogerus, K., & Gibson, B. (2021). Unique Brewing-Relevant Properties of a Strain of *Saccharomyces jurei* isolated from ash (*Fraxinus excelsior*). *Frontiers in Microbiology*, 12, Article 645271. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.645271>
- Çaşıoğlu, J., Kawa-Rygielska, J., & Kucharska, A. Z. (2020). Carbohydrates profile, polyphenols content and antioxidative properties of beer worts produced with different dark malts varieties or roasted barley grains. *Molecules*, 25(17), Article 3882. <https://doi.org/10.3390/molecules25173882>
- Gordon, R., Power, A., Chapman, J., Chandra, S., & Cozzolino, D. (2018). A review on the source of lipids and their interactions during beer fermentation that affect beer quality. *Fermentation*, 4(4), Article 89. <https://doi.org/10.3390/fermentation4040089>
- Iorizzo, M., Coppola, F., Letizia, F., Testa, B., & Sorrentino, E. (2021). Role of yeasts in the brewing process: tradition and innovation. *Processes*, 9(5), Article 839. <https://doi.org/10.3390/pr9050839>
- Krogerus, K., Rettberg, N., & Gibson, B. (2022). Increased volatile thiol release during beer fermentation using constructed interspecies yeast hybrids. *European Food Research and Technology*, 249, 55–69. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-04132-6>
- Kunz, T., Müller, C., Mato-Gonzales, D., & Methner, F.-J. (2012). The influence of unmalted barley on the oxidative stability of wort and beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 118(1), 32–39. <https://doi.org/10.1002/jib.6>
- Kyrleou, M., Herb, D., O'Reilly, G., Conway, N., Bryan, T., & Kilcawley, K. N. (2021). The impact of terroir on the flavour of single malt whisky new make spirit. *Foods*, 10(2), Article 443. <https://doi.org/10.3390/foods10020443>
- Iattici, F., Catallo, M., & Solieri, L. (2020). Designing new yeasts for craft brewing: when natural biodiversity meets biotechnology. *Beverages*, 6(1), Article 3. <https://doi.org/10.3390/beverages6010003>
- Liguori, L., De Francesco, G., Orilio, P., Perretti, G., & Albanese, D. (2021). Influence of malt composition on the quality of a top fermented beer. *Journal of Food Science and Technology*, 58(6), 2295–2303. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04740-8>
- Liu, M., Zeng, Z., & Xiong, B. (2005). Preparation of novel solid-phase microextraction fibers by sol-gel technology for headspace solid-phase microextraction-gas chromatographic analysis of aroma compounds in beer. *Journal of Chromatography A*, 1065(2), 287–299. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.12.073>
- Maia, C., Cunha, S., Debyser, W., & Cook, D. (2021). Impacts of adjunct incorporation on flavor stability metrics at early stages of beer production. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 81(1), 54–65. <https://doi.org/10.1080/03610470.2021.1993054>
- Martinez-Gomez, A., Caballero, I., & Blanco, C. A. (2020). Phenols and melanoidins as natural antioxidants in beer. structure, reactivity and antioxidant activity. *Bi-*

- omolecules*, 10(3), Article 400. <https://doi.org/10.3390/biom10030400>
- Matukas, M., Starkute, V., Zokaityte, E., Zokaityte, G., Klupsaite, D., Mockus, E., Rocha, J. M., Ruibys, R., & Bartkieni, E. (2022). Effect of different yeast strains on biogenic amines, volatile compounds and sensory profile of beer. *Foods*, 11(15), Article 2317. <https://doi.org/10.3390/foods11152317>
- Mayer H., Ceccaroni, D., Marconi, O., Sileoni, V., Perretti, G., & Fantozzi, P. (2016). Development of an all rice malt beer: A gluten free alternative. *LWT-Food Science and Technology*, 67(2), 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.037>
- Mikyska, A., Matoulkova, D., Slaby, M., Kubizniakova, P., & Hartman, I. (2015). Characterization of the strains isolated from kefir grains and their use for the production of beer-based fermented beverages from nontraditional cereals. *Kvasný průmysl [Fermentation Industry]*, 61(10–11), 10–11. <https://doi.org/10.18832/kp2015029>
- Olaniran, A. O., Hiralal, L., Mokoena, M. P., & Pillay, B. (2017). Flavour-active volatile compounds in beer: Production, regulation and control. *Journal of the Institute of Brewing*, 123(1), 2313–2323. <https://doi.org/10.1002/jib.389>
- Pang, Y., Ali, J., Wang, X., Franje, N. J., Revilla, J. E., & Xu, J. (2016) Relationship of Rice Grain Amylose, Gelatinization Temperature and Pasting Properties for Breeding Better Eating and Cooking Quality of Rice Varieties. *PLoS ONE*, 11(12), Article e0168483. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168483>
- Prado, R., Gastl, M., & Becker, T. (2023). Influence of kilned specialty malt odorant markers on the aroma composition and sensory profile of beer. *LWT*, 173, Article 114195. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114195>
- Rakhshi, E., Cambert, M., Diascorn, Y., Lucas, T., & Rondeau-Mouro, C. (2022). An insight into tapioca and wheat starch gelatinization mechanisms using TD-NMR and complementary techniques. *Magnetic Resonance in Chemistry*, 60(7), 702–718. <https://doi.org/10.1002/mrc.5258>
- Rittenauer, M., Gladis, S., Gastl, M., & Becker, T. (2021). Gelatinization or pasting? The impact of different temperature levels on the saccharification efficiency of barley malt starch. *Foods*, 10(8), Article 1733. <https://doi.org/10.3390/foods10081733>
- Rossi, S., Turchetti, B., Sileoni, V., Marconi, O., & Perretti, G. (2018). Evaluation of *Saccharomyces cerevisiae* strains isolated from non-brewing environments in beer production. *Journal of the Institute of Brewing*, 124(4), 381–388. <https://doi.org/10.1002/jib.503>
- Rutnik, K., Ocvirk, M., & Košir, I. J. (2022). Impact of hop freshness on dry hopped beer quality. *Foods*, 11(9), Article 1310. <https://doi.org/10.3390/foods11091310>
- Shopska, V., Denkova-Kostova, R., Dzhivoderova-Zarcheva, M., Teneva, D., Denev, P., & Kostov, G. (2021). Comparative study on phenolic content and antioxidant activity of different malt types. *Antioxidants*, 10(7), Article 1124. <https://doi.org/10.3390/antiox10071124>
- Steyer, D., Tristram, P., Leitao, C., Heitz, F., & Laugel, B. (2017). Yeast strains and hop varieties synergy on beer volatile compounds. *BrewingScience*, 70, 131–141. <https://doi.org/10.23763/BrSc17-13Steyer>
- Su, X., Wu, S., Ma, M., Su, H., Guo, F., Bian, Q., & Du, T. (2022). Sensory lexicon and aroma volatiles analysis of brewing malt. *Science of Food*, 6, Article 20. <https://doi.org/10.1038/s41538-022-00135-5>
- Vandecan, S. M. G., Daems, N., Schoupe, N., Saison, D., & Delvaux, F. R. (2011). Formation of flavor, color, and reducing power during the production process of dark specialty malts. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 69(3), 150–157. <https://doi.org/10.1094/ASB-CJ-2011-0626-01>
- Wang, S., Chao, C., & Xiang, F. (2018). New insights into gelatinization mechanisms of cereal endosperm starches. *Scientific Reports*, 8, Article 3011. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21451-5>
- Yorke, J., Cook, D., & Ford, R. (2021). Brewing with unmalted cereal adjuncts: Sensory and analytical impacts on beer quality. *Beverages*, 7(1), Article 4. <https://doi.org/10.3390/beverages7010004>

УДК 633.85: 631.95: 577.3

Молекулярный *in silico* скрининг и докинг потенциальных ингибиторов активности ферментов растительного сырья

Российский государственный
аграрный университет — МСХА
им. К.А. Тимирязева

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Иванов Николай Викторович

Адрес: 127434, г. Москва, Тимирязев-
ская ул., 49.

E-mail: nikolay.ivanov@rgau-msha.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Иванов, Н. В. (2023). Молекулярный
in silico скрининг и докинг потен-
циальных ингибиторов активности
ферментов растительного сырья.
Хранение и переработка сельхозсырья,
(1), 117–135. [https://doi.org/10.36107/
spfp.2023.399](https://doi.org/10.36107/spfp.2023.399)

ПОСТУПИЛА: 15.02.2023

ПРИНЯТА: 10.03.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.



Н. В. Иванов

АННОТАЦИЯ

Введение. Липолиз триацилглицеринов под действием собственной ферментативной системы в семенах подсолнечника является естественным биохимическим процессом, в рамках которого образуются моно- и диглицериды жирных кислот. Эти вещества являются предшественниками токсичных пищевых контаминантов - эфиров глицидола и монохлорпропандиола, которые образуются в технологии переработки жиров. Чтобы снизить вероятность их образования, представляет высокий практический интерес изучение влияния компонентов состава масличного сырья на естественные биохимические процессы в семенах подсолнечника в хранении.

Цель. Изучить механизмы влияния молекулярных взаимодействий минорных компонентов состава семян подсолнечника с ферментной системой на биохимический процесс распада триацилглицеринов.

Методы. В работе использовались моделирование трехмерной структуры липазы по гомологии, филогенетический анализ, множественное выравнивание аминокислотных последовательностей, анализ карт Раманчандрана, молекулярный докинг.

Результаты. Наиболее близким к липазе семян подсолнечника по строению аминокислотной последовательности является панкреатическая липаза собаки (*Canis lupus familiaris*), кодируемая геном MPL1. Определено, что согласно множественному выравниванию аминокислотных последовательностей активные центры изучаемых липаз ATLIP1, LIPG, MPL1 не входят в консервативные участки, однако активные центры липазы подсолнечника MPL1 наиболее близки к консервативным участкам потенциального шаблона для моделирования.

Выводы. По итогам множественного выравнивания аминокислотных последовательностей и филогенетического анализа было определено, что выбранные шаблоны для построения модели липаз подсолнечника являются близкородственными и могут быть использованы для гомологичного моделирования. Ингибиторы липазной активности микробного происхождения показали устойчивую корреляционную зависимость со значениями концентрации полумаксимального ингибирования IC50. По результатам молекулярного докинга минорных компонентов масличного сырья показано, что наибольшим сродством к липазе обладают хлорогеновая и неохлорогеновая кислоты и даидзеин.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

липаза подсолнечника, гомологичное моделирование, филогенетический анализ, молекулярный докинг

Molecular *in Silico* Screening and Docking of Potential Inhibitors of Enzyme Activity of Plant Raw Materials

Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural
Academy

Nikolay V. Ivanov

CORRESPONDENCE:

Nikolay V. Ivanov

Address: 49, Timiryazevskaya str.,
Moscow, 127434, Russia
E-mail: nikolay.ivanov@rgau-msha.ru

FOR CITATIONS:

Ivanov, N. V. (2023). Molecular in silico screening and docking of potential inhibitors of enzyme activity of plant raw materials. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 117–135. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.399>

RECEIVED: 15.02.2023

ACCEPTED: 10.03.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background. Lipolysis of triacylglycerols under the action of its own enzymatic system in sunflower seeds is a natural biochemical process in which mono- and diglycerides of fatty acids are formed. These substances are precursors of toxic food contaminants - glycidol and monochloropropanediol esters, which are formed in the technology of fat processing. In order to reduce the likelihood of their formation, it is of high practical interest to study the effect of the components of the composition of oilseed raw materials on the natural biochemical processes in sunflower seeds in storage.

Methods. The work used modeling of the three-dimensional structure of lipase by homology, phylogenetic analysis, multiple alignment of amino acid sequences, analysis of Ramachandran maps, molecular docking.

Results. It is shown that the closest to the lipase of sunflower seeds in the amino acid sequence is the pancreatic lipase of a dog (*Canis lupus familiaris*), encoded by the MPL1 gene. It was determined that according to the multiple alignment of amino acid sequences, the active centers of the studied sunflower lipases ATLIP1, LIPG, MPL1 are not included in the conservative sites, but the active centers of sunflower lipase MPL1 are closest to the conservative sites of a potential template for modeling.

Conclusions. Based on the results of multiple alignment of amino acid sequences and phylogenetic analysis, it was determined that the selected templates for constructing a model of sunflower lipases are closely related and can be used for homologous modeling. Inhibitors of lipase activity of microbial origin showed a stable correlation with the values of the concentration of semi-maximal inhibition of IC50. According to the results of molecular docking of minor components of oilseed raw materials, it was shown that chlorogenic and neochlorogenic acids and daidzein have the greatest affinity for lipase.

KEYWORDS

sunflower lipase, homologous modeling, phylogenetic analysis, molecular docking

ВВЕДЕНИЕ

Процесс производства растительных масел включает этап хранения масличных семян, который характеризуется биохимическими и физиологическими процессами внутри семечка, направленными на сохранение жизнеспособности для дальнейшего проращивания. Среди естественных биохимических процессов, происходящих в семенах, представляет интерес изучение гидролиз (липолиз) запасных липидов семян — триацилглицеринов, под действием собственной ферментной системы — гидролитического фермента липазы. Гидролиз приводит к образованию моно- и диглицеридов жирных кислот, которые, в свою очередь, являются технологическими предшественниками эфиров глицидола и монохлорпропандиола¹, которые обладают канцерогенными (Schultrich et al., 2020), мутагенными, генотоксичными свойствами (MacMahon & Beekman, 2022). Кроме того, свободные жирные кислоты как продукт гидролиза, также являются фактором, ухудшающим потребительские характеристики масла.

Одним из принципиально важных биохимических показателей устойчивости семян в хранении является показатель активности липазы, который в значительной степени зависит от условий среды: наибольшей активностью липаза семян подсолнечника обладает при pH 7,5 и температуре 50 °C (Sagiroglu & Arabaci, 2005).

В настоящее время одним из интересных методологических подходов к теоретическому предсказанию активности ферментов является молекулярное моделирование их взаимодействия фермент-субстрат. Для проведения подобных экспериментов в условиях *in silico* применяются трехмерные структуры белков, полученные методами рентгеновской кристаллографии, либо ЯМР-спектроскопии и находящиеся в открытом доступе в базах данных, например таких как RCSB Protein Databank (*Research Collaborative for Structural Bioinformatics PDB, США*) (Berman et al., 2003; Burley et al., 2023). На момент проведения данного исследования не существует адекватных моделей липазы масличного сырья, в частности подсолнечника, в связи с чем нет ин-

формации о том, как лиганды взаимодействуют с липазами. Это может препятствовать точному пониманию механизма взаимодействия липаз с элементами состава масличного сырья, а также характеристики их физиологических функций в рамках проводимого исследования.

Тем не менее нельзя не отметить, что уже проводились исследования по гомологичному моделированию липазы на основе шаблонов. В работе была создана трехмерная структура липазы *S. Xylosus*, охарактеризованы ее свойства, в частности взаимодействие ее каталитической триады Ser-Asp-His с ионами металлов, оценено их влияние на липолитическую активность фермента (Bertoldo et al., 2011).

Были получены молекулярные модели, где в качестве шаблонов использовались кристаллические структуры липаз *Pseudomonas sp.*, *Serratia marcescens*. Авторы отмечают, что ионы металлов, присутствующие в прогнозируемой структуре фермента, могут придавать ей дополнительную структурную стабильность, однако отсутствие аргинина, солевого мостика и низкий процент пролина способствуют адаптации психрофильных ферментов при низких температурах (Mohamad Ali et al., 2013).

Необходимо отметить интересную работу коллег из Японии, которым удалось охарактеризовать семейство эволюционно родственных триглицеридлипаз: липопропротеинлипазы, печеночной и эндотелиальной липазы, рентгенокристаллографических структур которых, аналогично липазам семян подсолнечника, нет в открытых источниках информации. Авторами было проведено моделирование структур липаз по гомологии, оценка качества полученных моделей и молекулярный докинг для валидации этих структур на известных субстратах-ингибиторах. В работе идентифицировали связывающие карманы, получили информацию о степени связывания специфических и неспецифических ингибиторов. Отмечается, что конформационные характеристики активного центра эндотелиальной липазы выше, чем у родственных ей липаз. Кроме того, авторами подчеркивается, что ингибирующая активность липазы является

¹ Code of practice for the reduction of 3-monochloropropane-1,2- diol esters (3-mcpdes) and glycidyl esters (ges) in refined oils and food products made with refined oils. (2019). https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%3A%2F%2Fworkspace.fao.org%2Fsites%2Fcodex%2Fstandards%2FCXC+79-2019%2FCXC_079e.pdf

результатом блокирования каталитического сайта, а не образования сильного взаимодействия с каталитическими остатками (Wang et al., 2013).

Еще одно интересное исследование было проведено в Тунисе на липазе широко используемого в биологических исследованиях растения Резуховидка Таля (*Arabidopsis thaliana*), в рамках которого была получена трехмерная структура липазы данного растения. При этом в качестве образца (шаблона) для построения модели использовалась панкреатическая липаза человека. Была получена модель высокого качества с большим процентом (91,5%) аминокислотных остатков в благоприятной зоне карты Раманчандрана (Messaoudi et al., 2011).

Авторами во многих работах была показана определенная ингибирующая способность по отношению к панкреатической липазе человека таких биологически активных химических веществ как хлорогеновой кислоты, катехина (Sikiru et al., 2022), гликозида алоэина А (*Aloe vera* (L.) (Deora et al., 2023), алкалоидов конофиллинов восточно-индийского олеандра (*Tabernaemontana divaricata*) (Sridhar et al., 2017), флавонов и стеролов агарового дерева (*Aquilaria subintegra*) (Ibrahim et al., 2020).

Химический состав семян подсолнечника характеризуется наличием значительного числа соединений (Anjum et al., 2012). Большой интерес представляет изучение влияния этих веществ матрикса семян на активность процесса липолиза. Можно предположить наличие такого влияния исходя из данных (Nebeg et al., 2019), где было показано на микробальной липазе *Candida rugosa* и дикорастущем растении тапсия гарганская (*T. Garganica*), что нортриболид и триболид, содержащиеся в семенах этого растения, являются наиболее эффективными ингибиторами липазы с высокой степенью сродства к данному ферменту. В аналогичной работе оценивалось ингибирующая роль биоактивных соединений состава гарцинии королевской (*Garcinia prainiana* King) на активность панкреатической липазы человека. Показано, что аментофлавоны, соединения, входящие в состав многих лекарственных растений и относящиеся к группе флавоноидов, демонстрирует высокую ингибирующую активность по отношению к панкреатической липазе человека, образуя с ее каталитическими остатками Ser152 и His263 две водородные связи и гидрофобные взаимодей-

ствия с Ala260 и Ala259 (Supian et al., 2022). Не менее интересной можно назвать работу, в которой оценивалась ингибирующая способность компонентов состава корней солодки (*Glycyrrhiza glabra*) на панкреатическую липазу человека. Из 12 изученных авторами флавоноидов наибольшую ингибирующую способность продемонстрировал изоликвиригенин с показателем сродства к липазе — 23,7 Ккал/моль и водородными связями с аминокислотными остатками His263, Phe215, Asp79, Arg256 (Birari et al., 2011).

Литературные данные убедительно свидетельствуют об активных исследованиях определения механизмов активности ферментов, однако замечен недостаток информации в части изучения биохимических и молекулярных механизмов взаимодействия ферментов масличного сырья, в частности липазы, и компонентов состава семян, которые потенциально могут изменять скорость протекания биохимических реакций, обусловленный в том числе отсутствием трехмерной структуры липазы семян подсолнечника, получаемой методом рентгенструктурного анализа.

Целью данной работы стала разработка модели липазы подсолнечника в условиях *in silico*, оценка степени сродства и механизмов связывания с ней минорных компонентов масличного сырья. Задачи исследования: (1) получение трехмерных структур моделей липаз семян подсолнечника; (2) оценка качества полученных моделей; (3) валидация разработанной модели липазы семян подсолнечника; скрининг взаимодействия трехмерной структуры липазы семени подсолнечника и минорных компонентов состава подсолнечника.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

В качестве объектов исследования использовали аминокислотные последовательности трех липаз подсолнечника, кодируемых генами MPL1, ATLIP1 и LIPG, а также липаз, которые по литературным данным относятся к семейству эукариотических липаз. В качестве лигандов изучали вещества, которые согласно литературным данным, могут являться конкурентными ингибиторами ферментативной активности и отчасти минорными ком-

понентами масличного сырья. Полный перечень приведен в дополнительных материалах к статье (Таблицы S1, S2).

Методы

Филогенетический анализ ферментов

Филогенетический анализ осуществлялся с применением программы Mega X (Институт геномики и эволюционной медицины, Университет Темпл, Филадельфия, Пенсильвания, США) согласно (Kumar et al., 2018). Для построения филогенетического дерева применялся метод максимального или наибольшего правдоподобия (англ. Maximum Likelihood method). Тест на филогению был проведен методом Бутстреп (англ. Bootstrap method) с заданным количеством загрузочных копий (англ. No. of Bootstrap Replications) в размере 500. Исходные деревья для эвристического поиска были получены путем применения метода ближайшего соседства к матрице попарных расстояний, оцененных с использованием модели Джонсона-Тейлора-Торнтон JTT (Jones-Taylor-Thorton) (Jones et al., 1992).

Гомологичное моделирование трехмерных моделей структур липаз подсолнечника

Построение трехмерных структур моделей липаз подсолнечника осуществлялось методом моделирования по гомологии с использованием Swiss-Model (Swiss Institute of Bioinformatics) согласно (Waterhouse et al., 2018) по аминокислотным последовательностям, липаз, взятых из базы данных uniprot.org. Входными данными служили аминокислотные последовательности липаз подсолнечника в формате FASTA. Они были необходимы для поиска шаблона — эволюционных белковых структур из библиотеки шаблонов Swiss-Model SMTL (Biasini et al., 2014). Использовался алгоритм поиска базы данных BLAST (Altschul et al., 1997, Camacho et al., 2009).

Оценка качества полученных моделей липаз

Полученные в результате моделирования трехмерные шаблоны моделей выбирались в зависимости от их качества согласно показателям: глобальной оценке качества модели (QMEAN) (Waterhouse et al., 2018) и оценке качества по третичной и четвер-

тичной структурам белка GMQE (Bertoni et al., 2018; Benkert et al., 2011; Bienert et al., 2016). В программе UCSF Chimera (UCSF, США) проводилось построение и анализ карт Рамачандрана для липаз (Pettersen et al., 2004).

Выравнивание последовательностей липаз подсолнечника

Множественное выравнивание аминокислотных последовательностей исследуемых липаз подсолнечника и гомологичных им липаз осуществлялось с использованием UCSF Chimera (UCSF, США) (Meng et al., 2004).

Молекулярный докинг

Для процедуры молекулярного докинга использовалось программное обеспечение AutoDock Vina. Центр связывания липазы с лигандами представили в виде области размером 40x40x40 Å вокруг аминокислотных остатков активного центра липазы (Ser186, Asp356, His389), что обусловлено целью получить как можно большее число вариантов связывания лиганда с активными центрами фермента. Параметр «exhaustiveness», показывающий количество вычислительных усилий при процедуре стыковочного эксперимента, был задан 15, для получения воспроизводимого результата молекулярного докинга. Параметр «energy_range» был установлен 4 (Trott et al., 2010).

Интерпретация данных молекулярного докинга

Интерпретация полученных данных проводилась с использованием сервиса Proteins.Plus (Центр биоинформатики (ZBH)) Университета Гамбурга (Schöning et al., 2020). Все необходимые преобразования форматов файлов проводили с использованием OpenBabel (версия 3.1.1) (O'boyle et al., 2011).

Анализ данных

Корреляционный анализ данных осуществлялся в программе MS Excel 2019 (Корпорация Майкрософт, США). Корреляционный анализ использовался для установления силы связи между основными

характеристиками моделей липаз семян подсолнечника в рамках нуль-гипотезы корреляционного анализа: $r=0$. Для этого был использован коэффициент корреляции Спирмена, а также вычисление частных корреляций между моделями липаз семян подсолнечника. Таким образом, можно не только установить силу связи между переменными, но и влияние моделей липаз семян подсолнечника на входные данные их основных характеристик. Использование коэффициента корреляции Спирмена обусловлено непараметрическим методом корреляционного анализа, не требующего проверки на нормальность распределения и условие равенства дисперсий. Уровень значимости был принят на уровне 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Поиск аминокислотных последовательностей липаз подсолнечника для моделирования

С применением алгоритма BLAST в программе UCSF Chimera были найдены 3 (три) PDB-струк-

туры: панкреатическая липаза человека (*Homo Sapiens*), PDB: 1HLG; лизосомальная липаза человека (*Homo Sapiens*), PDB: 6V7N; панкреатическая липаза собаки (*Canis lupus familiaris*), PDB 1K8Q;,, которые послужили белками-гомологами изучаемым липазам подсолнечника.

Филогенетический анализ трехмерных структур липаз подсолнечника

На следующем этапе исследований был проведен филогенетический анализ с построением филогенетических деревьев изучаемых липаз подсолнечника, липаз, отобранных программой Chimera (алгоритм Blast Protein), а также липаз, которые согласно базе данных PIRSF(Wu et al., 2004) образуют крупное семейство эукариотических липаз. В общей сложности было проанализировано 14 липаз, информация о которых представлена в Таблице 1.

Анализ проводили методом, основанным на принципе наибольшего правдоподобия (англ. maximum likelihood method) (Рисунок 1)

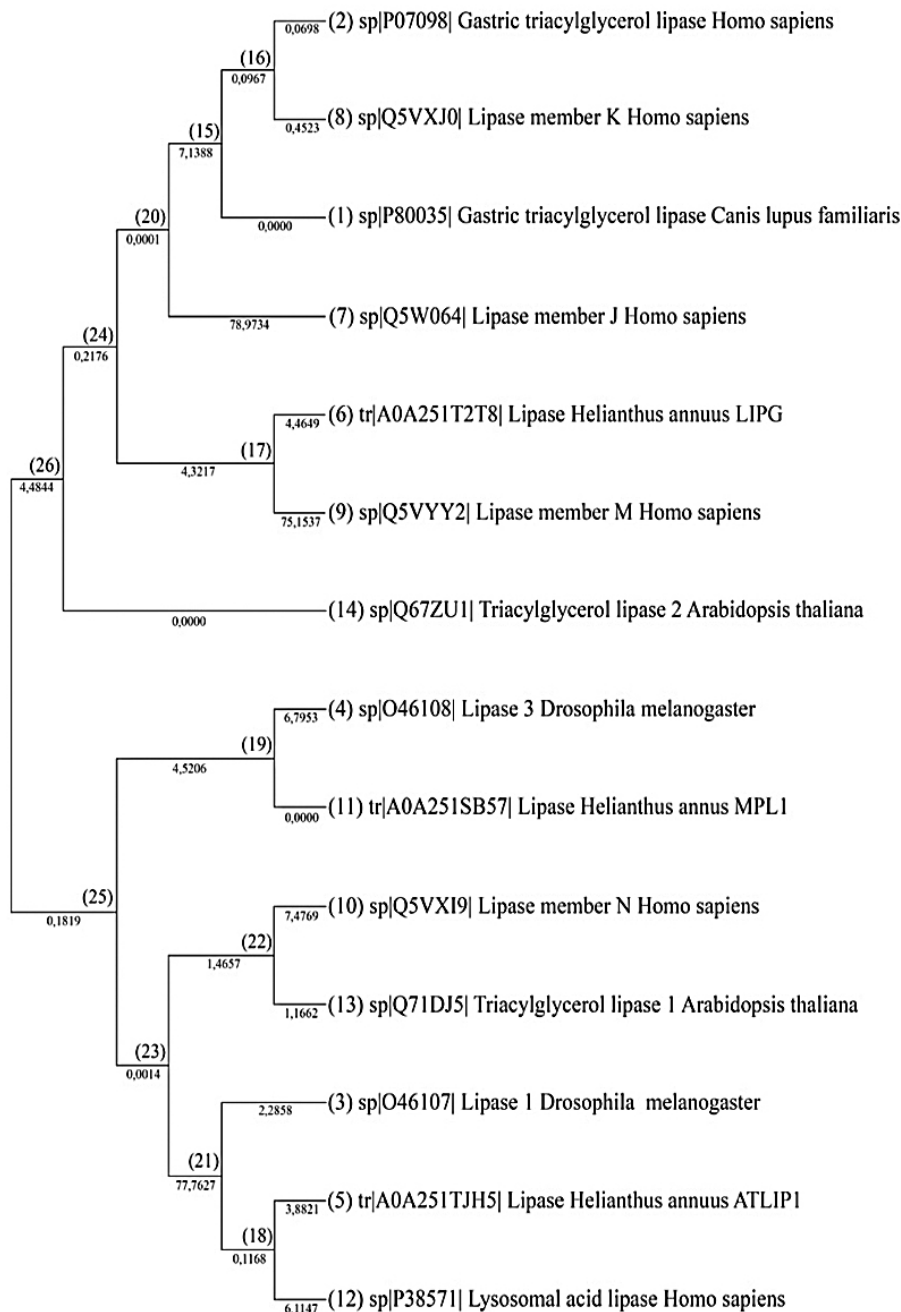
Таблица 1

Данные об изучаемых липазах

Липаза	Ген	PDB	UniProtKB	Организм	Эволюционное расстояние, d
Растительная липаза	MPL1	—	A0A251SB57	Подсолнечник (<i>Helianthus annuus</i>)	0.0000
Триацилглицерол липаза 2	LIP2	—	Q67ZU1	Резуховидка Таля (<i>Arabidopsis thaliana</i>)	0.0000
Панкреатическая липаза	LIPF	1K8Q	P80035	Собака (<i>Canis lupus familiaris</i>)	0.0000
Панкреатическая липаза	LIPF	1HLG	P07098	Человек (<i>Homo sapiens</i>)	0.0698
член липазы К	LIPK	—	Q5VXJ0	Человек(<i>Homo sapiens</i>)	0.4523
Триацилглицерол липаза 1	LIP1	—	Q71DJ5	Резуховидка Таля (<i>Arabidopsis thaliana</i>)	1.1662
Липаза 1	LIP1	—	O46107	Муха Дрозофила фруктовая (<i>Drosophila melanogaster Fruit fly</i>)	2.2858
Растительная липаза	ATLIP1	—	A0A251TJH5	Подсолнечник (<i>Helianthus annuus</i>)	3.8821
Растительная липаза	LIPG	—	A0A251T2T8	Подсолнечник (<i>Helianthus annuus</i>)	3.4649
Лизосомальная липаза	LIPA	6V7N	P38571	Человек (<i>Homo sapiens</i>)	6.1147
Липаза 3	LIP3	—	O46108	Муха Дрозофила фруктовая (<i>Drosophila melanogaster Fruit fly</i>)	6.7953
член липазы Н	LIPN	—	Q5VXI9	Человек (<i>Homo sapiens</i>)	7.4769
Член липазы М	LIPM	—	Q5VYY2	Человек (<i>Homo sapiens</i>)	75.1537
член липазы J	LIPJ	—	Q5W064	Человек (<i>Homo sapiens</i>)	78.9734

Рисунок 1

Филогенетическое дерево ферментов.



Примечание. (1) панкреатическая липаза собаки (*Canis lupus familiaris*), PDB 1K8Q; (2) панкреатическая липаза человека (*Homo Sapiens*), PDB: 1HLG; (3) липаза 1 мухи дрозофилы (*Drosophila melanogaster*); (4) липаза 3 мухи дрозофилы фруктовой (*Drosophila melanogaster Fruit fly*); (5) липаза подсолнечника (*Helianthus annuus*) ATLIP1; (6) липаза подсолнечника (*Helianthus annuus*) LIPG; (7) липаза J человека (*Homo Sapiens*); (8) липаза K человека (*Homo Sapiens*); (9) липаза M человека (*Homo Sapiens*); (10) липаза N человека (*Homo Sapiens*); (11) липаза подсолнечника (*Helianthus annuus*) MPL1; (12) лизосомальная кислая липаза человека (*Homo sapiens*), PDB: 6V7N; (13) триацилглицерол липаза 1 человека (*Homo sapiens*); (14) триацилглицерол липаза 2 человека (*Homo sapiens*); (15) терминальный узел; (16) внутренний узел; (17) внутренний узел; (18) терминальный узел; (19) внутренний узел; (20) внутренний узел; (21) внутренний узел; (22) внутренний узел; (23) внутренний узел; (24) внутренний узел; (25) внутренний узел; (26) внутренний узел. Цифрами показаны эволюционные расстояния.

Филогенетическое дерево, построенное методом максимального правдоподобия (англ. *Maximum Likelihood method*) (Рисунок 1) состоит из одного корня и двадцати шести узлов, 2 из которых (№ 15 и 18) являются внешними — терминальными (*Terminal nodes*), а остальные 24 — внутренними (*Internal nodes*). Липаза подсолнечника ATLIP1 и лизосомальная липаза человека образуют кладу (*clade*) (узел 18), тем самым данная базальная группа показывает сестринское родство. Данные липазы также образуют кладу с Липазой 1 мухи дрозофилы (узел 21). Липаза подсолнечника ATLIP1 имеет сходие с лизосомальной липазой человека функции осуществления внутриклеточной деградации эфиров стероидов и триацилглицеринов (Ameis et al., 1994; Warner et al., 1984). В каталитической активности лизосомальной липазы в большей степени играет роль His108 (Ries et al., 1998).

Аналогично, панкреатическая липаза человека и панкреатическая липаза собаки также образуют кладу и показывают сестринское родство (узел 15). В данном случае, также с учетом, показанных ранее результатов множественного выравнивания аминокислотных последовательностей, можно отметить, что панкреатические липазы человека и собаки имеют известные общие функции по расщеплению сложноэфирных связей в молекулах триацилглицеринов с образованием моно- и диглицеридов жирных кислот в желудочно-кишечных трактах соответственно человека (Roussel et al., 1999; Rogalska et al., 1990) и собаки (Carriere et al., 1991; Carrière et al., 1992). Эти две панкреатические липазы также образуют кладу с липазой К человека (узел 16), которые, в свою очередь, образуют большую кладу с липазой J человека (узел 20).

Липаза подсолнечника MPL1 образует кладу с липазой 3 мухи дрозофилы (узел 19). Клада этих двух липаз образует крупную кладу с ранее описанными четырьмя липазами — панкреатическими человека и собаки, а также липазами К и J человека. Липаза подсолнечника LIPG образует кладу с липазой М человека (узел 17). Описанные липазы формируют крупные клады (узлы 26 и 24). Формирование общего филогенетического дерева осуществлено крупными кладами (узлы 23 и 25). Цифрами на рисунке показаны эволюционные расстояния.

Значение наивысшего логарифмического правдоподобия дерева составило -15236.08. Деревья для

эвристического поиска были получены автоматически путем применения алгоритмов ближайшего соседства и BioNJ к матрице попарных расстояний, оцененных с использованием модели Джонсона-Тейлора-Торнтон JTT (Jones-Taylor-Thorton) (Jones et al., 1992). Эволюционные дистанции между липазами и ближайшими узлами представлены в Таблице 1.

Все три изучаемых липазы подсолнечника принадлежат к крупному семейству эукариотических липаз, в которое входят, по данным PIRSF (Wu et al., 2004), в общей сложности 11 липаз. Это семейство липаз состоит из структурных доменов гидролитических ферментов, имеющих альфа / бета складку. Ядро каждого фермента представляет собой альфа / бета-лист, содержащий 8 нитей, соединенных спиралями (David et al., 1992). Эти ферменты произошли от общего предка, сохранив расположение каталитических остатков. Каждый из ферментов имеет каталитическую триаду, элементы которой расположены на петлях, которые являются наиболее хорошо сохранившимися структурными особенностями складки. В большинстве членов семейства бета-цепи параллельны, но у некоторых есть инверсия первых цепей, что придает им антипараллельную ориентацию. Остатки каталитической триады представлены в виде петель. Один из них — нуклеофильный локоть, наиболее консервативный элемент складки. У некоторых других членов отсутствует один или все каталитические остатки.

По результатам филогенетического анализа и множественного выравнивания аминокислотных последовательностей, анализа баз данных можно сказать, что изучаемые в данной работе липазы подсолнечника MPL1, ATLIP1 и LIPG, а также панкреатические липазы человека и собаки, лизосомальная липаза человека входят в одно семейство эукариотических липаз и обладают высоким сродством.

Выравнивание первичных последовательностей липаз

На следующем этапе построения модели было проведено множественное выравнивание первичных последовательностей отобранных липаз и гомологичных им белков. На Рисунке 2 первую строку занимает консенсусная последовательность. Вторую строку занимает параметр консервации. Остальные

Рисунок 2

Выравнивание первичных последовательностей липаз подсолнечника с последовательностями липаз других организмов – панкреатической липазы человека (*Homo Sapiens*)



Примечание. PDB: 1HLG, лизосомальной липазы человека (*Homo sapiens*), PDB: 6V7N, панкреатической липазы собаки (*Canis lupus familiaris*), PDB 1K8Q. Заглавными буквами показаны консервативные участки. Точками показаны последовательности, не имеющие соответствий.

строки занимают соответственно изучаемые липазы: три строки занимают изучаемые липазы подсолнечника, кодируемые генами ATLIP1, LIPG, MPL1. Остальные три строки соответственно занимают панкреатическая липаза человека (*Homo Sapiens*), PDB: 1HLG, лизосомальная липазы человека, PDB: 6V7N; панкреатическая липаза собаки (*Canis lupus familiaris*), PDB 1K8Q, так как это наиболее близкие белки, структура которых изучена методом рентгеноструктурного анализа.

Для исследуемых аминокислотных последовательностей выявлено два наиболее консервативных участка с порядковыми номерами 101–219

и 295–412. Данные участки являются преимущественно альфа-спиралями в структуре белка. Из данных рисунка видно, что активные центры липазы подсолнечника LIPG Ser184, Asp363, His396 не являются консервативными. Также активные центры липазы подсолнечника ATLIP1 Ser178, Asp347, His376 не входят в консервативные участки аминокислотных последовательностей. Активные центры липазы подсолнечника MPL1 Ser186, Asp356, His389 тоже не входят в консервативные участки аминокислотной последовательности, однако данные активные центры наиболее близки к консервативным участкам — аминокислотным остаткам под номерами 190, 355, 387, 388, 391.

Кроме того, как показано на рисунке, активные центры панкреатической липазы человека 1HLG Arg172, Ile343, Ser372 не входят в консервативные участки, у аминокислотного остатка Ser372, который расположен наиболее близко к консервативному участку 373, есть разрыв, показанный точками. Активные центры лизосомальной липазы человека 6V7N Lys174 и Met374 также расположены наиболее близко к консервативным участкам 173 и 373.

Панкреатическая липаза собаки 1K8Q имеет сходство с панкреатической липазой человека 1HLG активные центры Arg172, Ile343, Ser372. Характеристики расположения данных активных центров по отношению к консервативным участкам идентичны, чем, вероятно, обуславливается сходство их аминокислотных последовательностей, составляющее 85.7% (Selvan et al., 2010). Общее количество последовательностей согласно рисунку, равно 442, из которых 11 % консервативны.

Гомологичное моделирование трехмерных структур молекул липаз подсолнечника

По трем первичным аминокислотным последовательностям липаз подсолнечника методом гомологичного моделирования в программе Swiss-Model были получены три трехмерных структуры, построенные на основе шаблонов, найденных программой в процессе моделирования. Результаты проведенного моделирования представлены в Таблице 1. Из данных таблицы видно, что показатель идентичности у липазы MPL1 выше, чем у других изучаемых липаз и составляет 36.80%. Согласно литературным данным, ранее проводились исследования по гомологичному моделированию липазы растительного происхождения. В (Messaoudi et al., 2011) была построена трехмерная структура липазы арабидопсиса с использованием в качестве шаблона панкреатической липазы человека (*Homo Sapiens*), PDB: 1HLG, используемой в нашем исследовании как гомолог липазы подсолнечника. Согласно данным авторов, показатель идентичности между липазой арабидопсиса и 1HLG составил 32%. Липаза 1HLG имеет молекулярную массу 50 кДа и является высокогликолизированной молекулой, имеющей 4 участка гликолизирования. Кроме того, данная липаза использовалась ранее как шаблон для гомологичного моделирования и изучения ферментативной активности *in silico* на примере *Pseudomonas*

sp. USM 4–55 PHA синтетазы (Wahab et al., 2006). Описание полученных нами структур представлено в Таблице 2.

Таблица 2

Характеристики моделей липаз семян подсолнечника

Характеристики	Липаза / Ген		
	LIPG	ATLIP1	MPL1
QMEAN	–3.48	–3.40	–3.70
Атомы C β	–1.94	–3.01	–3.11
Все атомы	–2.43	–2.31	–2.50
Разрешение	–0.77	–0.68	–0.85
Скручивание	–2.86	–2.54	–2.82
GMQE	0.59	0.60	0.63
Шаблон	1k8q.1.A	6v7n.1.A	1k8q.1.A
Идентичность	36.73 %	34.30 %	38.80 %
Описание шаблона	Кристаллическая структура панкреатической липазы собаки в комплексе с фосфонатным ингибитором	Кристаллическая структура лизосомальной кислой липазы	Кристаллическая структура панкреатической липазы собаки в комплексе с фосфонатным ингибитором
Активные центры	Ser184, Asp363, His396	Ser178, Asp347, His376	Ser186, Asp356, His389

QMEAN у каждой из липаз представлен отрицательным значением. Наиболее низкая оценка у липазы подсолнечника MPL1: –3.60. Индексы C β и разрешения оказались самыми низкими также у липазы MPL1, однако индекс скручивания самый низкий у липазы LIPG и равен –2.86.

Значения показателя GMQE варьируются от 0 до 1. Чем выше значение, тем выше показатель качества и, следовательно, надёжность полученной модели белка (Camacho et al., 2010). В нашем случае этот показатель наиболее высокий у липазы подсолнечника MPL1 и равен 0.63.

Был проведен корреляционный анализ основных характеристик моделей липаз семян подсолнечника по данным Таблицы 2. Коэффициент корреляции Спирмена между LIPG и ATLIP1 составил 0,80;

между LIPG и MPL1 составил 0,82; между ATLIP1 и MPL1 составил 0,98. Также были вычислены частные корреляции: между LIPG и ATLIP1, исключая влияние MPL1 частная корреляция составила -0,06; между LIPG и MPL1, исключая влияние ATLIP1 частная корреляция составила 0,29; между ATLIP1 и MPL1, исключая влияние LIPG частная корреляция составила 0,96. Установлено, что основные характеристики моделей липаз семян подсолнечника обладают сильной связью. При этом, установлено с использованием частного корреляционного анализа, что MPL1 и ATLIP1 обладают существенным влиянием на корреляцию между моделями липаз семян подсолнечника, обуславливая их сильную связь и высокую степень линеаризации функции распределения независимых переменных при парном анализе данных моделей. Так, если не учитывать влияние факторов на входные данные характеристик моделей липаз семян подсолнечника, все модели имеют сильную связь. Но по частным корреляциям установлено, что между LIPG и ATLIP1 корреляция не только слабая, но и нулевая ($p > 0,05$), а их сильная связь обусловлена MPL1. Между LIPG и MPL1 связь слабая, но ненулевая ($p > 0,05$), а сильная связь обусловлена влиянием ATLIP1. Сильная связь, независимо от влияния исследуемых факторов установлена между ATLIP1 и MPL1. Таким образом, две эти модели могут рассматриваться как достаточно близкие по функции распределения их входных данных.

Согласно процедуре гомологичного моделирования онлайн-сервер Swiss-Model осуществлял поиск наиболее оптимальной известной трехмерной структуры шаблона липазы по заданной аминокислотной последовательности липазы подсолнечника. Как видно из данных Таблицы 1, для липаз подсолнечника MPL1 и LIPG сервером был подобран одинаковый шаблон кристаллической структуры панкреатической липазы собаки в комплексе с фосфонатным ингибитором; для липазы подсолнечника ATLIP1 — кристаллическая структура лизосомальной кислотной липазы. Однако показатель идентичности полученной модели к исходной аминокислотной последовательности липазы подсолнечника оказался выше у шаблона, по которому была построена липаза подсолнечника MPL1 и равен 38.80 %.

Проанализировав полученные в результате проведенного гомологичного моделирования данные

оценки качества полученных моделей, для дальнейших исследований была выбрана модель молекулы липазы подсолнечника, кодируемая геном MPL1.

Оценка качества полученных моделей липаз подсолнечника

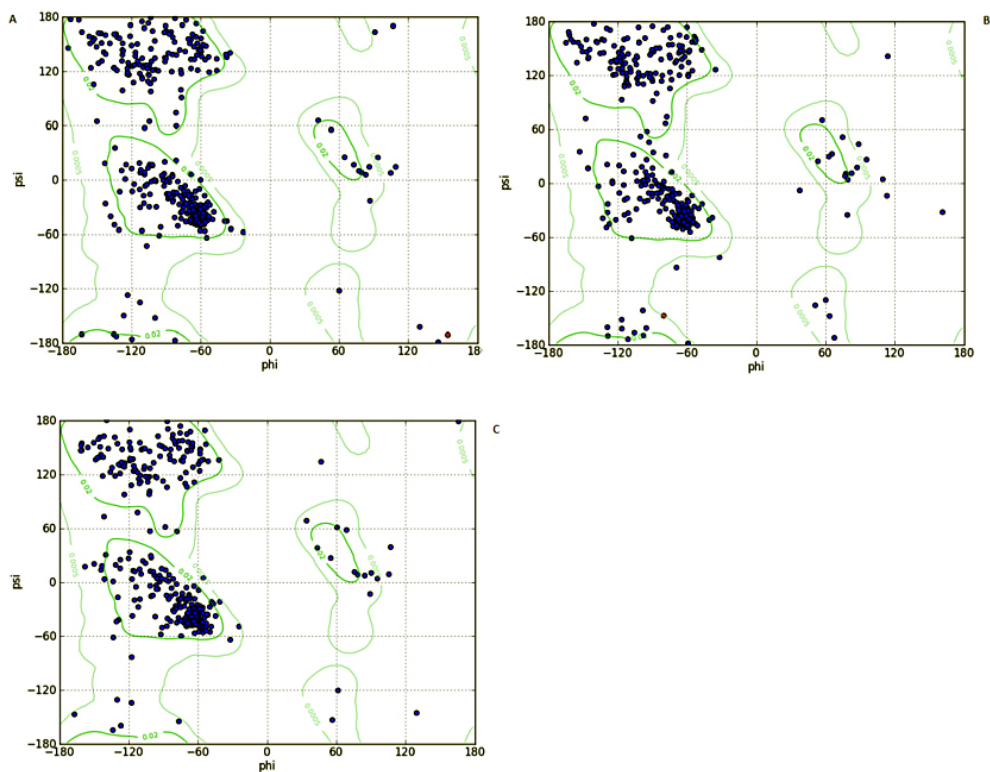
Для более точной оценки качества полученных молекул липаз была проведена оценка качества с построением карт Рамачандрана. Карты Рамачандрана для каждой из изучаемых липаз представлены на Рисунке 3. На карте представлено три зоны: предпочтительная (0.02), допустимая (0.005) и запрещенная (остальное поле карты). Точками указаны аминокислотные остатки. По вертикали обозначен угол ψ (psi), по горизонтали — угол ϕ (phi). Анализ карты Рамачандрана липазы ATLIP1 показал, что в запрещенной зоне находятся следующие аминокислотные остатки: Glu269, Ile234, Glu117. Анализ карты Рамачандрана выявил, что 98.5 % аминокислотных остатков расположены в предпочтительных и допустимых зонах. В их числе и аминокислотные остатки каталитической триады фермента.

В запрещенной зоне у липазы LIPG находятся аминокислотные остатки Ala83, Asn327, Tyr237, Tyr237, Asn238, Thr243A, Gln302, Leu249, (70.8 % аминокислотных остатков расположены в предпочтительных и допустимых зонах), у липазы MPL1 Ser296, Ile214 (98.9 % аминокислотных остатков расположены в предпочтительных и допустимых зонах). Каталитические триады липаз LIPG и MPL1 также не вошли в запрещенные зоны карты Рамачандрана. Таким образом, выбранная нами по результатам предыдущих тестов липаза подсолнечника MPL1 показала лучшие показатели расположения аминокислотных остатков, что подтверждает ее выбор для дальнейших исследований.

Молекулярный докинг

На следующем этапе был проведен молекулярный докинг. В качестве мишени была использована модель липазы MPL1. В качестве лигандов были выбраны вещества, которые являются конкурентными ингибиторами липазной активности микробиального происхождения и орлистат (Birari et al., 2007; Tingli et al., 2014). Значение показателя сродства (affinity) каждой пары мишень-лиганд был статистически обработан с получением коэф-

Рисунок 3
Карты Рамачандрана липаз, кодируемых генами MPL1 (A), LIPG (B), ATLIP1 (C)



фициента корреляции. Конкурентные ингибиторы липазы микробного происхождения, содержащие бета-лактонную функциональную группу, показали высокий коэффициент корреляции ($R = 0.7728$) между значением показателя сродства (affinity) и экспериментальным значением концентрации полумаксимального ингибирования IC50 (Таблица 3).

По данным Таблицы 3 видно, что наибольшей степенью сродства к липазе подсолнечника MPL1 обладают Каулерпенин и Эбелактон В, которые обра-

зовали преимущественно водородными связями по одному варианту связи. Среднее арифметическое значение энергии связи для данных веществ составило для Каулерпенина — -8.9 ккал/моль, для Эбелактона В — -8.9 ккал/моль. В первом случае преобладающим активным центром взаимодействия являлся Ser186A, во втором — His389A.

Орлистат с липазой подсолнечника показал 5 вариантов связывания, преимущественно водородными связями и наиболее преобладающим активным

Таблица 3
Результаты молекулярного докинга ингибиторов липазы микробного происхождения

Название ингибитора	Модель	Сайты	Тип связи	Сродство, Ккал/моль	IC50, μM
Каулерпенин	1	Ser186A	Водородные связи	−8.9	13
Эбелактон В	1	His389A	Водородные связи	−8.9	6,1 · 10 ^{−6}
	1	Ser186A	Водородные связи	−7.8	
Эстерастин	5	Ser186A	Водородные связи	−7.4	4,6 · 10 ^{−5}
		His389A	Водородные связи		
	6	Ser186A	Водородные связи	−7.3	
		His389A	Водородные связи		

Окончание Таблицы 3

Название ингибитора	Модель	Сайты	Тип связи	Сродство, Ккал/моль	IC50, μM
Липстатин	1	His389A	Водородные связи	-7.6	0.14
	2	Ser186A	Водородные связи	-7.4	
	5	His389A	Водородные связи	-7.2	
	6	Ser186A	Водородные связи	-7.0	
	8	His389A	Водородные связи	-6.8	
	9	His389A	Гидрофобные связи	-6.8	
Панклицин А	3	Ser186A	Водородные связи	-7.3	2.9
		His389A	Водородные связи		
	5	His389A	Гидрофобные связи	-6.8	
Панклицин В	3	Ser186A	Водородные связи	-7.0	2.6
Панклицин С	1	Ser186A	Водородные связи	-7.3	0.62
		His389A	Гидрофобные связи		
	7	Ser186A	Водородные связи	-6.8	
	8	Ser186A	Водородные связи	-6.6	
		His389A	Водородные связи		
Панклицин Д	3	Ser186A	Водородные связи	-6.9	-
		His389A	Водородные связи		
	4	Ser186A	Водородные связи	-6.9	
	6	Ser186A	Водородные связи	-6.8	
		His389A	Водородные связи		
	7	Ser186A	Водородные связи	-6.6	
		His389A	Водородные связи		
Панклицин Е	9	Ser186A	Водородные связи	-6.3	0.89
	1	His389A	Гидрофобные связи	-6.7	
	2	His389A	Гидрофобные связи	-6.6	
	3	Ser186A	Водородные связи	-6.5	
		His389A	Водородные связи		
Валилактон	3	Ser186A	Водородные связи	-6.9	9,3*10 ⁻⁵
		His389A	Водородные связи		
	6	Ser186A	Водородные связи	-6.5	
Орлистат	1	His389A	Водородные связи	-7.5	0.154
	3	His389A	Водородные связи	-6.9	
	4	Ser186A	Водородные связи	-6.9	
		His389A	Водородные связи		
	6	Ser186A	Водородные связи	-6.6	
	7	Ser186A	Водородные связи		
		His389A	Водородные связи	-6.6	
		His389A	Гидрофобные связи		

центром связи был His389A. Наиболее устойчивый гидрофобный лиганд-связывающий карман между липазой и орлистатом был образован аминокислотными остатками Val101, Leu102, Val103, Leu224, Leu274, Leu302, Leu305, Leu358. Кроме них, дополнительно присутствовали в зависимости от варианта связывания Phe245, Thr221, Gly225, Pro294. Таким образом была проведена валидация разработанной модели липаза подсолнечника MPL1.

На следующем этапе на спроектированной модели липазы был проведен молекулярный докинг с ми-

норными компонентами состава масличного сырья. Результаты молекулярного докинга с минорными компонентами масличного сырья, которые образовали химические связи с липазой, представлены в Таблице 4.

Показано, что из изученных веществ, присутствующих в подсолнечнике, потенциально наибольшим сродством к липазе обладают биотин (–8.1 ккал/моль), хлорогеновая кислота (–8.8 ккал/моль), неохлорогеновая кислота (–8.2 ккал/моль), даидзеин (–8.7 ккал/моль).

Таблица 4

Молекулярный докинг химического состава подсолнечника

Соединение	Модель	Сайт	Тип связи	Сродство, Ккал/моль
Биотин	1	Ser186A	Водородные связи	-8.1
	2	Ser186A	Водородные связи	-6.9
	3	Ser186A	Водородные связи	-6.8
	4	Ser186A	Водородные связи	-6.1
Целлюлоза	2	Ser186A	Водородные связи	-6.3
	8	Asp356A	Водородные связи	-5.5
Глюкоза	6	Asp356A	Водородные связи	-4.8
Гамма-токоферол	3	His389A	Гидрофобные связи	-7.7
Никотиновая кислота	3	Ser186A	Водородные связи	-4.8
	5	Ser186A	Водородные связи	-4.7
		His389A	Водородные связи	
Крахмал	8	Asp356A	Водородные связи	-5.2
Сахароза	6	Asp356A	Водородные связи	-5.3
	8	Asp356A	Водородные связи	-5.2
Витамин B5	4	Ser186A	Водородные связи	-5.1
	8	Ser186A	Водородные связи	-4.9
Даидзеин	1	Ser186A	Водородные связи	-8.7
	4	Ser186A	Водородные связи	-7.7
Хлорогеновая кислота	1	Ser186A	Водородные связи	-8.8
		His389A	Водородные связи	
	3	Ser186A	Водородные связи	-8.7
	4	His389A	Водородные связи	-7.6
	6	His389A	Водородные связи	-7.6
Кофейная кислота	4	Ser186A	Водородные связи	-6.3
	6	Ser186A	Водородные связи	-5.9
Неохлорогеновая кислота	1	His389A	Водородные связи	-8.2
	3	Ser186A	Водородные связи	-7.6
	6	His389A	Водородные связи	-7.9
	7	Ser186A	Водородные связи	-8.4

Необходимо отметить, опираясь на ранее проведенный филогенетический анализ, что механизм действия липазы подсолнечника, кодируемой геном MPL1, остается малоизученным. Тем не менее, в литературных источниках есть упоминания об исследованиях не самой липазы как фермента, а гена, который ее кодирует. В частности, отмечается, что ген MPL1 входит в состав гетерологически экспрессируемого белка, который имеет функции триацилглицеридлипазы с оптимальным pH от кислого до нейтрального и участвует в синтезе антибиотического фактора растительного происхождения, (Kelly & Feussner, 2016). По другим данным, аналогичный ген MPL1 был также обнаружен в некоторых растениях, насекомых и грибах (Yang et al., 2016; Verma et al., 2016; Aw et al., 2017), где его функции описываются влиянием на липидный гомеостаз. В связи с этим, можно только предполагать возможные дополнительные функции липазы, кодируемой этим геном, и, следовательно, только прогнозировать возможный механизм ее ингибирования Каулерпенином и Эбелактоном В, а также другими изучаемыми химическими веществами.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований были получены и охарактеризованы шаблоны липаз подсолнечника ATLIP1, LIPG, MPL1. По итогам множественного выравнивания аминокислотных

последовательностей и филогенетического анализа было показано, что выбранные шаблоны для построения модели липаз подсолнечника являются близкородственными и могут быть использованы для гомологичного моделирования. По результатам молекулярного докинга минорных компонентов масличного сырья показано, что наибольшим сродством к липазе обладают, хлорогеновая и неохорогеновая кислоты, и даидзеин, обладающие ингибирующим эффектом. Полученные в этой работе данные могут быть использованы при поиске новых эффективных ингибиторов липаз для фармацевтических и пищевых целей.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Данная работа выполнена за счёт собственных средств автора.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Иванов Николай Викторович — формулирование исследовательских целей и задач; разработка или проектирование методологии исследования; создание модели исследования; проведение экспериментов; подготовка и создание рукописи, её комментирование и пересмотр

ЛИТЕРАТУРА

- Altschul, S. F., Madden, T. L., Schäffer, A. A., Zhang, J., Zhang, Z., Miller, W., & Lipman, D. J. (1997). Gapped BLAST and PSI-BLAST: A new generation of protein database search programs. *Nucleic Acids Research*, 25(17), 3389–3402. <https://doi.org/10.1093/nar/25.17.3389>
- Ameis, D., Merkel, M., Eckerskorn, C., & Greten, H. (1994). Purification, characterization and molecular cloning of human hepatic lysosomal acid lipase. In *European Journal of Biochemistry*, 219(3), 905–914. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1994.tb18572.x>
- Anjum F. M. et al. Nutritional and therapeutic potential of sunflower seeds: A review. *British Food Journal*, 114(4), 544–552. <https://doi.org/10.1108/00070701211219559>
- Aw, K.M.S., & Hue, S. M. (2017). Mode of infection of *metarhizium* spp. fungus and their potential as biological control agents. *Journal of Fungi*, 3(2), Article 30. <https://doi.org/10.3390/jof3020030>
- Benkert, P., Biasini, M., & Schwede, T. (2011). Toward the estimation of the absolute quality of individual protein structure models. *Bioinformatics*, 27(3), 343–350. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btq662>
- Berman, H., Henrick, K., & Nakamura, H. (2003). Announcing the worldwide protein data bank. *Nature Structural & Molecular Biology*, 10, Article 980. <https://doi.org/10.1038/nsb1203-980>
- Bertoldo, J. B., Razzera, G., Vernal, J., Brod, F. C., Arisi, A. C., & Terenzi, H. (2011). Structural stability of *Staphylococcus xylosus* lipase is modulated by Zn(2+) ions. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Proteins and Proteomics*, 1814(9), 1120–1126. <https://doi.org/10.1016/j.bba-pap.2011.04.020>
- Bertoni, M., Kiefer, F., Biasini, M., Bordoli, L., & Schwede, T. (2018). Modeling protein quaternary structure of homo- and hetero-oligomers beyond binary interactions by homology OPEN. *Scientific Reports*, 7, Article 10480. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09654-8>
- Biasini, M., Bienert, S., Waterhouse, A., Arnold, K., Studer, G., Schmidt, T., Kiefer, F., Gallo Cassarino, T., Bertoni, M.,

- Bordoli, L., & Schwede, T. (2014). SWISS-MODEL: modelling protein tertiary and quaternary structure using evolutionary information. *Nucleic Acids Research*, 42(W1), W252-W258. <https://doi.org/10.1093/nar/gku340>
- Bienert, S., Waterhouse, A., de Beer, T. A. P., Tauriello, G., Studer, G., Bordoli, L., & Schwede, T. (2016). The SWISS-MODEL Repository-new features and functionality. *Nucleic Acids Research*, 45(D1), 313-319. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw1132>
- Birari R. B., Gupta, S., & Bhitani, K. K. (2011). Antiobesity and lipid lowering effects of Glycyrrhiza chalcones: experimental and computational studies. *Phytomedicine*, 18(8-9), 795-801. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2011.01.002>
- Birari, R. B., & Bhutani, K. K. (2007). Pancreatic lipase inhibitors from natural sources: unexplored potential. *Drug Discovery Today*, 12(19-20), 879-889. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2007.07.024>
- Burley, S. K., Bhikadiya, C., Bi, C., Bittrich, S., Chao, H., Chen, L., Craig, P. A., Crichtlow, G. V., Dalenberg, K., Duarte, J. M., Dutta, S., Fayazi, M., Feng, Z., Flatt, J. W., Ganesan, S., Ghosh, S., Goodsell, D. S., Green, R. K., Guranovic, V., Henry, J., Hudson, B. P., Khokhriakov, I., Lawson, C. L., Liang, Y., Lowe, R., Peisach, E., Persikova, I., Piehl, D. W., Rose, Y., Sali, A., Segura, J., Sekharan, M., Shao, C., Vallat, B., Voigt, M., Webb, B., Westbrook, J. D., Whetstone, S., Young, J. Y., Zalevsky, A., & Zardecki, C. (2023). RCSB Protein Data Bank (RCSB.org): delivery of experimentally-determined PDB structures alongside one million computed structure models of proteins from artificial intelligence/machine learning. *Nucleic Acids Research*, 51(D1), D488-D508. <https://doi.org/10.1093/nar/gkac1077>
- Camacho, C., Coulouris, G., Avagyan, V., Ma, N., Papadopoulos, J., Bealer, K., & Madden, T. L. (2009). BLAST+: Architecture and applications. *Bioinformatics*, 10, Article 421. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-10-421>
- Carriere, F., Moreau, H., Vhronique, R. R., Laugier, C. B., Junien, J.-L., & Verger, R. (1991). Purification and biochemical characterization of dog gastric lipase. *European Journal of Biochemistry*, 202(1), 75-83. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1991.tb16346.x>
- Carrière, F., Raphael, V., Moreau, H., Bernadac, A., Devaux, M. A., Grimaud, R., Barrowman, J. A., Bénicourt, C., Junien, J. L., Laugier, R., & Verger, R. (1992). Dog gastric lipase: Stimulation of its secretion in vivo and cytolocalization in mucous pit cells. *Gastroenterology*, 102(5), 1535-1545. [https://doi.org/10.1016/0016-5085\(92\)91711-C](https://doi.org/10.1016/0016-5085(92)91711-C)
- David, L., Cheah, E., Cygler, M., Dijkstra, B., Frolow, F., Sybille, M., Harel, M., James Remington, S., Silman, I., Schrag, J., Joel, L., Koen, H. G. V., & Goldman, A. (1992). The α/β hydrolase fold. *Protein Engineering, Design and Selection*, 5(3), 197-211. <https://doi.org/10.1093/protein/5.3.197>
- Deora, N., & Venkatraman, K. (2023). Lipase activity inhibited by aloenin A: Glycoside from Aloe vera (L.) Burm. f. In vitro and molecular docking studies. *Journal of Molecular Recognition*, 36(2), Article e3002.
- Ibrahim, M., Azziz, S. S. S. A., Wong, C. F., Bakri, Y. M., & Abdullah, F. (2020). Interactions of flavone and steroid from A. subintegra as potential inhibitors for porcine pancreatic lipase. *Current Computer-Aided Drug Design*, 16(6), 698-706. <https://doi.org/10.2174/1573409915666191015112320>
- Jones, D. T., Taylor, W. R., & Thornton, J. M. (1992). The rapid generation of mutation data matrices from protein sequences. *Computer Applications in the Biosciences*, 8(3), 275-282. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/8.3.275>
- Kelly, A. A., & Feussner, I. (2016). Oil is on the agenda: Lipid turnover in higher plants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1861(9), 1253-1268. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2016.04.021>
- Kumar, S., Stecher, G., Li, M., Nnyaz, C., & Tamura, K. (2018). MEGA X: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution*, 35(6), 1547-1549. <https://doi.org/10.1093/molbev/msy096>
- MacMahon, S., & Beekman, J. K. (2022). *Processing contaminants in edible oils: MCPD and glycidyl esters*. Elsevier.
- Meng, E. C., Pettersen, E. F., Couch, G. S., Huang, C. C., & Ferrin, T. E. (2006). Tools for integrated sequence-structure analysis with UCSF Chimera. *BMC Bioinformatics*, 7, Article 339. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-7-339>
- Messaoudi, A., Belguith, H., Ben Hamida, J. (2011). Three-dimensional structure of arabidopsis thaliana lipase predicted by homology modeling method. *Evolutionary Bioinformatics*, 7, 99-105. <https://doi.org/10.4137/EBO.S7122>
- Mohamad Ali, M. S., Mohd Fuzi, S. F., Ganasen, M., Abdul Rahman, R. N., Basri, M., & Salleh, A. B. (2013). Structural adaptation of cold-active RTX lipase from Pseudomonas sp. strain AMS8 revealed via homology and molecular dynamics simulation approaches. *BioMed Research International*, 2013, Article 925373. <https://doi.org/10.1155/2013/925373>
- Nebeg, H., Benarous, K., Serseg, T., Lazreg, A., Hassani, H., & Yousfi, M. (2019). Seeds, leaves and roots of thapsia garganica as a source of new potent lipases inhibitors: In vitro and in silico studies. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders — Drug Targets*, 19(5), 683-696. <https://doi.org/10.2174/1871530319666190128122211>
- O'boyle, N. M., Banck, M., James, C. A., Morley, C., Vandermeersch, T., & Hutchison, G. R. (2011). Open babel: An open chemical toolbox. *Journal of Cheminformatics*, 3, Article 33. <https://doi.org/10.1186/1758-2946-3-33>
- Pettersen, E. F., Goddard, T. D., Huang, C. C., Couch, G. S., Greenblatt, D. M., Meng, E. C., & Ferrin, T. E. (2004). UCSF Chimera — A visualization system for exploratory research and analysis. *Journal of Computational Chemistry*, 25(13), 1605-1612. <https://doi.org/10.1002/jcc.20084>
- Ries, S., Büchler, C., Schindler, G., Aslanidis, C., Ameis, D., Gasche, C., Jung, N., Schambach, A., Fehring, P., Vanier, M. T., Belli, D. C., Greten, H., & Schmitz, G. (1998). Different missense mutations in histidine-108 of lysosomal acid lipase cause cholesteryl ester storage disease in unrelated compound heterozygous and hemizygous individuals. *Human Mutation*, 12(1), 44-51. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-1004\(1998\)12:1<44::AID-HUMU7>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-1004(1998)12:1<44::AID-HUMU7>3.0.CO;2-O)
- Rogalska, E., Ransac, S., & Verger, R. (1990) Stereoselectivity of lipases. II. Stereoselective hydrolysis of triglycerides by

- gastric and pancreatic lipases. *Journal of Biological Chemistry*, 265(33), 20271–20276.
- Roussel, A., Canaan, S., Egloff, M. P., Rivière, M., Dupuis, L., Verger, R., & Cambillau, C. (1999). Crystal structure of human gastric lipase and model of lysosomal acid lipase, two lipolytic enzymes of medical interest. *Journal of Biological Chemistry*, 274(24), 16995–17002. <https://doi.org/10.1074/jbc.274.24.16995>
- Sridhar, S. N. C., Mutya, S., & Paul, A. T. (2017). Bis-indole alkaloids from *Tabernaemontana divaricata* as potent pancreatic lipase inhibitors: Molecular modelling studies and experimental validation. *Medicinal Chemistry Research*, 26, 1268–1278. <https://doi.org/10.1007/s00044-017-1836-7>
- Sagiroglu, A., & Arabaci, N. (2005) Sunflower seed lipase: Extraction, purification, and characterization. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 35(1), 37–51. <https://doi.org/10.1081/PB-200041442>
- Schöning, K., Schöning-Stierand, S., Diedrich, K., Ahrolfes, R. F., Flachsenberg, F., Meyder, A., Nittinger, E., Steinegger, R., & Rarey, M. (2020). ProteinsPlus: Interactive analysis of protein-ligand binding interfaces. *Nucleic Acids Research*, 48(W1), W48–W53. <https://doi.org/10.1093/nar/gkaa235>
- Schultrich, K., Henderson, C. J., Braeuning, A., & Buhrke, T. (2020). Correlation between 3-MCPD-induced organ toxicity and oxidative stress response in male mice. *Food and Chemical Toxicology*, 136, Article 110957. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110957>
- Selvan, A., Chandrabhan, S., Srinivas N.C., Nithyanand S., Sharmila A., Gautam, P. (2010) Molecular dynamics simulations of human and dog gastric lipases: Insights into domain movements. *FEBS Letters*, 584(22), 4599–4605. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2010.10.021>
- Sikiru, A. A., Shina, S., Alamgir, K., Maria, S., & Zaheer, U.-H. (2022). Inhibitive property of catechin and chlorogenic acid against human pancreatic lipase: Molecular docking and molecular dynamics simulation investigations. *Advanced Journal of Chemistry-Section A*, 5(3), 226–240. <https://doi.org/10.22034/AJCA.2022.338380.1311>
- Supian, S., Muhamad A. A., Mohd Shukri, M. A., Rosliza, J., & Sanimah, S. (2022). Molecular docking and in silico drug-likeness studies of *Garcinia prainiana* King bioactive compounds as pancreatic lipase inhibitors. *Food Research*, 6(2), 83–90. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(S2\).012](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(S2).012)
- Tingli, B., Daozhong, Z., Shuangjun, L., Qingshan, L., Yemin, W., Hongyu, O., Qianjin, K., Zixin, D., & Wen, L. (2014). Operon for biosynthesis of lipstatin, the beta-lactone inhibitor of human pancreatic lipase. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(24), 7473–7483. <https://doi.org/10.1128/AEM.01765-14>
- Trott, O., & Olson, A. (2010). AutoDock Vina: Improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading. *Journal of Computational Chemistry*, 31(2), 455–461. <https://doi.org/10.1002/jcc.21334>
- Verma, P., Yadav, A. N., Kumar, V., Khan, M. A., & Saxena, A. K. (2018). Microbes in termite management: potential role and strategies. *Termites and Sustainable Management*, 2, 197–217. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68726-1_9
- Wahab, H. A., Khairudin, N. B. A., Samian, M. R., & Najimudin, N. (2006). Sequence analysis and structure prediction of type II *Pseudomonas* sp. USM 4–55 PHA synthase and an insight into its catalytic mechanism. *BMC Structural Biology*, 6, Article 23. <https://doi.org/10.1186/1472-6807-6-23>
- Wang, Z., Li, S., Sun, L., Fan, J., & Liu, Z. (2013). Comparative analyses of lipoprotein lipase, hepatic lipase, and endothelial lipase, and their binding properties with known inhibitors. *PLoS One*, 8(8), Article e72146. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072146>
- Warner, T. G., Dambach, L. M., Shin, J. H., & O'Brien, J. S. (1981). Purification of the lysosomal acid lipase from human liver and its role in lysosomal lipid hydrolysis. *Journal of Biological Chemistry*, 256(6), 2952–2957.
- Waterhouse, A., Bertoni, M., Bienert, S., Studer, G., Tauriel, G., Gumienny, R., Heer, F. T., de Beer, T. A. P., Rempfer, C., Bordoli, L., Lepore, R., & Schwede, T. (2018). SWISS-MODEL: Homology modelling of protein structures and complexes. *Nucleic Acids Research*, 46(W1), W296–W303. <https://doi.org/10.1093/nar/gky427>
- Wu, C. H., Nikolskaya, A., Huang, H., Yeh, L. S., Natale, D. A., Vinayaka, C. R., Hu, Z. Z., Mazumder, R., Kumar, S., Kourtesis, P., Ledley, R. S., Suzek, B. E., Arminski, L., Chen, Y., Zhang, J., Cardenas, J. L., Chung, S., Castro-Alvear, J., Dinkov, G., & Barker, W. C. (2004). PIRSF: Family classification system at the Protein Information Resource. *Nucleic Acids Research*, 32(1), 112–114. <https://doi.org/10.1093/nar/gkh097>
- Yang Z., Ji H., & Liu D. (2016). Oil biosynthesis in underground oil-rich storage vegetative tissue: Comparison of *Cyperus esculentus* tuber with oil seeds and fruits. *Plant and Cell Physiology*, 57(12), 2519–2540. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcw165>

REFERENCES

- Altschul, S. F., Madden, T. L., Schäffer, A. A., Zhang, J., Zhang, Z., Miller, W., & Lipman, D. J. (1997). Gapped BLAST and PSI-BLAST: A new generation of protein database search programs. *Nucleic Acids Research*, 25(17), 3389–3402. <https://doi.org/10.1093/nar/25.17.3389>
- Ameis, D., Merkel, M., Eckerskorn, C., & Greten, H. (1994). Purification, characterization and molecular cloning of human hepatic lysosomal acid lipase. In *European Journal of Biochemistry*, 219(3), 905–914. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1994.tb18572.x>
- Anjum F. M. et al. Nutritional and therapeutic potential of sunflower seeds: A review. *British Food Journal*, 114(4), 544–552. <https://doi.org/10.1108/00070701211219559>
- Aw, K.M.S., & Hue, S. M. (2017). Mode of infection of *metarhizium* spp. fungus and their potential as biological con-

- trol agents. *Journal of Fungi*, 3(2), Article 30. <https://doi.org/10.3390/jof3020030>
- Benkert, P., Biasini, M., & Schwede, T. (2011). Toward the estimation of the absolute quality of individual protein structure models. *Bioinformatics*, 27(3), 343–350. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btq662>
- Berman, H., Henrick, K., & Nakamura, H. (2003). Announcing the worldwide protein data bank. *Nature Structural & Molecular Biology*, 10, Article 980. <https://doi.org/10.1038/nsb1203-980>
- Bertoldo, J. B., Razzera, G., Vernal, J., Brod, F. C., Arisi, A. C., & Terenzi, H. (2011). Structural stability of *Staphylococcus xylosus* lipase is modulated by Zn(2+) ions. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Proteins and Proteomics*, 1814(9), 1120–1126. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2011.04.020>
- Bertoni, M., Kiefer, F., Biasini, M., Bordoli, L., & Schwede, T. (2018). Modeling protein quaternary structure of homo- and hetero-oligomers beyond binary interactions by homology OPEN. *Scientific Reports*, 7, Article 10480. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09654-8>
- Biasini, M., Bienert, S., Waterhouse, A., Arnold, K., Studer, G., Schmidt, T., Kiefer, F., Gallo Cassarino, T., Bertoni, M., Bordoli, L., & Schwede, T. (2014). SWISS-MODEL: modelling protein tertiary and quaternary structure using evolutionary information. *Nucleic Acids Research*, 42(W1), W252–W258. <https://doi.org/10.1093/nar/gku340>
- Bienert, S., Waterhouse, A., de Beer, T. A. P., Tauriello, G., Studer, G., Bordoli, L., & Schwede, T. (2016). The SWISS-MODEL Repository—new features and functionality. *Nucleic Acids Research*, 45(D1), 313–319. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw1132>
- Birari R. B., Gupta, S., & Bhitani, K. K. (2011). Antiobesity and lipid lowering effects of Glycyrrhiza chalcones: experimental and computational studies. *Phytomedicine*, 18(8–9), 795–801. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2011.01.002>
- Birari, R. B., & Bhutani, K. K. (2007). Pancreatic lipase inhibitors from natural sources: unexplored potential. *Drug Discovery Today*, 12(19–20), 879–889. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2007.07.024>
- Burley, S. K., Bhikadiya, C., Bi, C., Bittrich, S., Chao, H., Chen, L., Craig, P. A., Crichtlow, G. V., Dalenberg, K., Duarte, J. M., Dutta, S., Fayazi, M., Feng, Z., Flatt, J. W., Ganesan, S., Ghosh, S., Goodsell, D. S., Green, R. K., Guranovic, V., Henry, J., Hudson, B. P., Khokhriakov, I., Lawson, C. L., Liang, Y., Lowe, R., Peisach, E., Persikova, I., Piehl, D. W., Rose, Y., Sali, A., Segura, J., Sekharan, M., Shao, C., Vallat, B., Voigt, M., Webb, B., Westbrook, J. D., Whetstone, S., Young, J. Y., Zalevsky, A., & Zardecki, C. (2023). RCSB Protein Data Bank (RCSB.org): delivery of experimentally-determined PDB structures alongside one million computed structure models of proteins from artificial intelligence/machine learning. *Nucleic Acids Research*, 51(D1), D488–D508. <https://doi.org/10.1093/nar/gkac1077>
- Camacho, C., Coulouris, G., Avagyan, V., Ma, N., Papadopoulos, J., Bealer, K., & Madden, T. L. (2009). BLAST+: Architecture and applications. *Bioinformatics*, 10, Article 421. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-10-421>
- Carriere, F., Moreau, H., Vhronique, R. R., Laugier, C. B., Junien, J.-L., & Verger, R. (1991). Purification and biochemical characterization of dog gastric lipase. *European Journal of Biochemistry*, 202(1), 75–83. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1991.tb16346.x>
- Carrière, F., Raphel, V., Moreau, H., Bernadac, A., Devaux, M. A., Grimaud, R., Barrowman, J. A., Bénicourt, C., Junien, J. L., Laugier, R., & Verger, R. (1992). Dog gastric lipase: Stimulation of its secretion in vivo and cytolocalization in mucous pit cells. *Gastroenterology*, 102(5), 1535–1545. [https://doi.org/10.1016/0016-5085\(92\)91711-C](https://doi.org/10.1016/0016-5085(92)91711-C)
- David, L., Cheah, E., Cygler, M., Dijkstra, B., Frolow, F., Sybille, M., Harel, M., James Remington, S., Silman, I., Schrag, J., Joel, L., Koen, H. G. V., & Goldman, A. (1992). The α/β hydrolase fold. *Protein Engineering, Design and Selection*, 5(3), 197–211. <https://doi.org/10.1093/protein/5.3.197>
- Deora, N., & Venkatraman, K. (2023). Lipase activity inhibited by aloenin A: Glycoside from Aloe vera (L.) Burm. f. In vitro and molecular docking studies. *Journal of Molecular Recognition*, 36(2), Article e3002.
- Ibrahim, M., Azziz, S. S. S. A., Wong, C. F., Bakri, Y. M., & Abdullah, F. (2020). Interactions of flavone and steroid from *A. subintegra* as potential inhibitors for porcine pancreatic lipase. *Current Computer-Aided Drug Design*, 16(6), 698–706. <https://doi.org/10.2174/1573409915666191015112320>
- Jones, D. T., Taylor, W. R., & Thornton, J. M. (1992). The rapid generation of mutation data matrices from protein sequences. *Computer Applications in the Biosciences*, 8(3), 275–282. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/8.3.275>
- Kelly, A. A., & Feussner, I. (2016). Oil is on the agenda: Lipid turnover in higher plants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1861(9), 1253–1268. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2016.04.021>
- Kumar, S., Stecher, G., Li, M., Knyaz, C., & Tamura, K. (2018). MEGA X: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution*, 35(6), 1547–1549. <https://doi.org/10.1093/molbev/msy096>
- MacMahon, S., & Beekman, J. K. (2022). *Processing contaminants in edible oils: MCPD and glycidyl esters*. Elsevier.
- Meng, E. C., Pettersen, E. F., Couch, G. S., Huang, C. C., & Ferrin, T. E. (2006). Tools for integrated sequence-structure analysis with UCSF Chimera. *BMC Bioinformatics*, 7, Article 339. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-7-339>
- Messaoudi, A., Belguith, H., Ben Hamida, J. (2011). Three-dimensional structure of arabidopsis thaliana lipase predicted by homology modeling method. *Evolutionary Bioinformatics*, 7, 99–105. <https://doi.org/10.4137/EBO.S7122>
- Mohamad Ali, M. S., Mohd Fuzi, S. F., Ganasen, M., Abdul Rahman, R. N., Basri, M., & Salleh, A. B. (2013). Structural adaptation of cold-active RTX lipase from *Pseudomonas* sp. strain AMS8 revealed via homology and molecular dynamics simulation approaches. *BioMed Research International*, 2013, Article 925373. <https://doi.org/10.1155/2013/925373>
- Nebeg, H., Benarous, K., Serseg, T., Lazreg, A., Hassani, H., & Yousfi, M. (2019). Seeds, leaves and roots of thapsia

- garganica as a source of new potent lipases inhibitors: In vitro and in silico studies. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders — Drug Targets*, 19(5), 683–696. <https://doi.org/10.2174/1871530319666190128122211>
- O'boyle, N. M., Banck, M., James, C. A., Morley, C., Vandermeersch, T., & Hutchison, G. R. (2011). Open babel: An open chemical toolbox. *Journal of Cheminformatics*, 3, Article 33. <https://doi.org/10.1186/1758-2946-3-33>
- Pettersen, E. F., Goddard, T. D., Huang, C. C., Couch, G. S., Greenblatt, D. M., Meng, E. C., & Ferrin, T. E. (2004). UCSF Chimera — A visualization system for exploratory research and analysis. *Journal of Computational Chemistry*, 25(13), 1605–1612. <https://doi.org/10.1002/jcc.20084>
- Ries, S., Büchler, C., Schindler, G., Aslanidis, C., Ameis, D., Gasche, C., Jung, N., Schambach, A., Fehring, P., Vanier, M. T., Belli, D. C., Greten, H., & Schmitz, G. (1998). Different missense mutations in histidine-108 of lysosomal acid lipase cause cholesteryl ester storage disease in unrelated compound heterozygous and hemizygous individuals. *Human Mutation*, 12(1), 44–51. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-1004\(1998\)12:1<44::AID-HUMU7>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-1004(1998)12:1<44::AID-HUMU7>3.0.CO;2-O)
- Rogalska, E., Ransac, S., & Verger, R. (1990) Stereoselectivity of lipases. II. Stereoselective hydrolysis of triglycerides by gastric and pancreatic lipases. *Journal of Biological Chemistry*, 265(33), 20271–20276.
- Roussel, A., Canaan, S., Egloff, M. P., Rivière, M., Dupuis, L., Verger, R., & Cambillau, C. (1999). Crystal structure of human gastric lipase and model of lysosomal acid lipase, two lipolytic enzymes of medical interest. *Journal of Biological Chemistry*, 274(24), 16995–17002. <https://doi.org/10.1074/jbc.274.24.16995>
- Sridhar, S. N. C., Mutya, S., & Paul, A. T. (2017). Bis-indole alkaloids from *Tabernaemontana divaricata* as potent pancreatic lipase inhibitors: Molecular modelling studies and experimental validation. *Medicinal Chemistry Research*, 26, 1268–1278. <https://doi.org/10.1007/s00044-017-1836-7>
- Sagiroglu, A., & Arabaci, N. (2005) Sunflower seed lipase: Extraction, purification, and characterization. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 35(1), 37–51. <https://doi.org/10.1081/PB-200041442>
- Schöning, K., Schöning-Stierand, S., Diedrich, K., Ahrrolfes, R. F., Flachsenberg, F., Meyder, A., Nittinger, E., Steinegger, R., & Rarey, M. (2020). ProteinsPlus: Interactive analysis of protein-ligand binding interfaces. *Nucleic Acids Research*, 48(W1), W48–W53. <https://doi.org/10.1093/nar/gkaa235>
- Schultrich, K., Henderson, C. J., Braeuning, A., & Buhrke, T. (2020). Correlation between 3-MCPD-induced organ toxicity and oxidative stress response in male mice. *Food and Chemical Toxicology*, 136, Article 110957. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110957>
- Selvan, A., Chandrabhan, S., Srinivas N.C., Nithyanand S., Sharmila A., Gautam, P. (2010) Molecular dynamics simulations of human and dog gastric lipases: Insights into domain movements. *FEBS Letters*, 584(22), 4599–4605. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2010.10.021>
- Sikiru, A. A., Shina, S., Alamgir, K., Maria, S., & Zaheer, U.-H. (2022). Inhibitive property of catechin and chlorogenic acid against human pancreatic lipase: Molecular docking and molecular dynamics simulation investigations. *Advanced Journal of Chemistry-Section A*, 5(3), 226–240. <https://doi.org/10.22034/AJCA.2022.338380.1311>
- Supian, S., Muhamad A. A., Mohd Shukri, M. A., Rosliza, J., & Sanimah, S. (2022). Molecular docking and in silico drug-likeness studies of *Garcinia prainiana* King bioactive compounds as pancreatic lipase inhibitors. *Food Research*, 6(2), 83–90. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(S2\).012](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(S2).012)
- Tingli, B., Daozhong, Z., Shuangjun, L., Qingshan, L., Yemin, W., Hongyu, O., Qianjin, K., Zixin, D., & Wen, L. (2014). Operon for biosynthesis of lipstatin, the beta-lactone inhibitor of human pancreatic lipase. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(24), 7473–7483. <https://doi.org/10.1128/AEM.01765-14>
- Trott, O., & Olson, A. (2010). AutoDock Vina: Improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading. *Journal of Computational Chemistry*, 31(2), 455–461. <https://doi.org/10.1002/jcc.21334>
- Verma, P., Yadav, A. N., Kumar, V., Khan, M. A., & Saxena, A. K. (2018). Microbes in termite management: potential role and strategies. *Termites and Sustainable Management*, 2, 197–217. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68726-1_9
- Wahab, H. A., Khairudin, N. B. A., Samian, M. R., & Najimudin, N. (2006). Sequence analysis and structure prediction of type II *Pseudomonas* sp. USM 4–55 PHA synthase and an insight into its catalytic mechanism. *BMC Structural Biology*, 6, Article 23. <https://doi.org/10.1186/1472-6807-6-23>
- Wang, Z., Li, S., Sun, L., Fan, J., & Liu, Z. (2013). Comparative analyses of lipoprotein lipase, hepatic lipase, and endothelial lipase, and their binding properties with known inhibitors. *PLoS One*, 8(8), Article e72146. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072146>
- Warner, T. G., Dambach, L. M., Shin, J. H., & O'Brien, J. S. (1981). Purification of the lysosomal acid lipase from human liver and its role in lysosomal lipid hydrolysis. *Journal of Biological Chemistry*, 256(6), 2952–2957.
- Waterhouse, A., Bertoni, M., Bienert, S., Studer, G., Tauriello, G., Gumienny, R., Heer, F. T., de Beer, T. A. P., Rempfer, C., Bordoli, L., Lepore, R., & Schwede, T. (2018). SWISS-MODEL: Homology modelling of protein structures and complexes. *Nucleic Acids Research*, 46(W1), W296–W303. <https://doi.org/10.1093/nar/gky427>
- Wu, C. H., Nikolskaya, A., Huang, H., Yeh, L. S., Natale, D. A., Vinayaka, C. R., Hu, Z. Z., Mazumder, R., Kumar, S., Kourtesis, P., Ledley, R. S., Suzek, B. E., Arminski, L., Chen, Y., Zhang, J., Cardenas, J. L., Chung, S., Castro-Alvear, J., Dinkov, G., & Barker, W. C. (2004). PIRSF: Family classification system at the Protein Information Resource. *Nucleic Acids Research*, 32(1), 112–114. <https://doi.org/10.1093/nar/gkh097>
- Yang Z., Ji H., & Liu D. (2016). Oil biosynthesis in underground oil-rich storage vegetative tissue: Comparison of *Cyperus esculentus* tuber with oil seeds and fruits. *Plant and Cell Physiology*, 57(12), 2519–2540. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcw165>

УДК 577.114+534-8

Эмульсии Пикеринга на основе модифицированных полисахаридов бурых водорослей для получения пищевых систем нового поколения

¹ Южно-Уральский государственный университет (НИУ)

² Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Потороко Ирина Юрьевна
Адрес: 454080 г. Челябинск,
Пр. Ленина 86, Россия
E-mail potorokoi@susu.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Потороко, И. Ю., Кади, А. М., Паймулина, А. В., & Науменко, Н. В. (2023). Эмульсии Пикеринга на основе модифицированных полисахаридов бурых водорослей для получения пищевых систем нового поколения. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 136–149. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.417>

ПОСТУПИЛА: 02.11.2022

ПРИНЯТА: 05.02.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

статья выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 22-26-00079.



И. Ю. Потороко¹, Кади Аммар Мохаммад Яхья¹, А.В. Паймулина², Н. В. Науменко¹

АННОТАЦИЯ

Введение. Формирование сегмента продуктов питания нового поколения, обладающих устойчивыми функциональными свойствами связано с рядом проблем, обусловленными значительной вариативностью качества исходного сырья. Одним из путей реализации данного направления может стать использование эмульсии Пикеринга как матрицы для доставки пищевых биоактивных ингредиентов. В качестве стабилизирующих частиц перспективным является использование микроструктурированных растительных полисахаридов, что обуславливает актуальность представленных исследований.

Цель исследования — исследование применимости нетепловых эффектов ультразвука для модификации растительных полисахаридов, которые будут использоваться в качестве стабилизирующих частиц в технологии эмульсий, используемых при получении пищевых систем.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования выступали образцы эмульсий Пикеринга с липидной фракцией на основе льняного масла холодного отжима из семян сорта селекции «Уральский», стабилизированные микроструктурированными Фукоиданом и альгинатом натрия (Alg–Na). Для микроструктурирования применены эффекты кавитации с параметрами: $22 \pm 1,65$ кГц и интенсивностью излучения не менее 10 Вт/см².

Результаты. В ходе исследования оценивали антиоксидантную активность, дисперсные характеристики и морфологические изменения структуры частиц, а также характер встраивания их в эмульсии Пикеринга. Установлены рациональные режимы микроструктурирования. Отмечено увеличение антирадикальной активности для Фукоидана — в 5,2 раза (630 Вт/л; 30 мин), для Alg–Na — в 7,4 раза (630 Вт/л; 18 мин). После сонохимического микроструктурирования микрочастицы полисахаридов по-разному укладываются в системе эмульсии Пикеринга, что влияет на их вязкость и устойчивость.

Выводы. Представленные исследования подтверждают эффективность микроструктурирования полисахаридов бурых водорослей для стабилизации эмульсий Пикеринга, что обеспечивает возможность их применения в технологии пищевых систем нового поколения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

эмульсии Пикеринга, микроструктурирование, полисахариды бурых водорослей, ультразвуковое воздействие

Pickering Emulsions Based on Modified Brown Algae Polysaccharides for the Production of New Generation Food Systems

¹ South Ural State University (National Research University)

² Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences

Irina Yu. Potoroko¹, Ammar M.Y. Kadi¹, Anastasia V. Paymulina², Natalia V. Naumenko¹

CORRESPONDENCE:

Irina Yu. Potoroko

Address: 454080 Chelyabinsk,
86 Lenin Ave., Russia
E-mail potorokoi@susu.ru

FOR CITATIONS:

Potoroko, I. Yu., Kadi, A. M., Paymulina, A. V., & Naumenko, N. V. (2023). Pickering emulsions based on modified brown algae polysaccharides for the production of new generation food systems. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 136–149. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.417>

RECEIVED: 02.11.2022

ACCEPTED: 05.02.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction. The formation of a segment of a new generation of food products with stable functional properties is associated with a number of problems due to the significant variability in the quality of the feedstock. One of the ways to implement this direction can be the use of Pickering's emulsion as a matrix for the delivery of food bioactive ingredients. As stabilizing particles, the use of microstructured plant polysaccharides is promising, which determines the relevance of the presented studies.

Purpose of the study is to study the applicability of non-thermal ultrasound effects for the modification of plant polysaccharides, which will be used as stabilizing particles in the technology of emulsions used in the production of food systems.

Materials and Methods. The objects of the study were samples of Pickering emulsions with a lipid fraction based on cold-pressed linseed oil «Uralsky», stabilized with microstructured Fucoidan and sodium alginate (Alg–Na). For microstructuring, cavitation effects are applied, generated by low-frequency ultrasound with a frequency of mechanical vibrations of 22 ± 1.65 kHz and a radiation intensity of at least 10 W/cm².

Results. During the study, the antioxidant activity, disperse characteristics and morphological changes in the structure of particles, as well as the nature of their incorporation into Pickering emulsions, were evaluated. Established rational modes of microstructuring. An increase in antiradical activity against DPPH was noted for fucoidan – 5.2 times (630 W/l; 30 min), for Alg–Na – 7.4 times (630 W/l; 18 min). After sonochemical microstructuring, polysaccharide microparticles stack differently in the Pickering emulsion system, which affects the viscosity and stability over time.

Conclusions. The presented studies confirm the effectiveness of sonochemical microstructuring of brown algae polysaccharides for stabilizing Pickering emulsions with proven bioactivity, which makes it possible to use them in the technology of food systems of a new generation.

KEYWORDS

Pickering emulsions, microstructuring, brown algae polysaccharides, ultrasound exposure

ВВЕДЕНИЕ

Несбалансированное питание является триггером для целого ряда хронических заболеваний. Имеющиеся технологические и сырьевые ресурсы не позволяют в условиях разрыва технологий обеспечить устойчивую стабильность заявленных свойств продуктов питания. При формировании сегмента продуктов питания нового поколения, обладающих устойчивыми функциональными и здоровьесберегающими свойствами необходимы изменения в технологиях производства (Tang, 2020).

Для обеспечения устойчивости пищевых систем при значительной вариативности качества исходного сырья производителям требуются новые технологические решения, к числу которых возможно отнести эмульсии Пикеринга (ЭП) (Cen et al., 2022). Применение ЭП в технологиях пищевых производств, либо в качестве заменителей жира, либо для доставки пищевых биоактивных ингредиентов создает новые преимущества с точки зрения получения продуктов направленного профилактического действия (Huang et al., 2021).

Предлагаемые научным сообществом решения для использования ЭП в технологии продуктов питания обусловлены их способностью стабилизировать эмульсионную пищевую систему за счет сильной энергии сцепления и специфическому поверхностному взаимодействию (снижение межфазного натяжения). Обогащенные природными биоактивными компонентами ЭП, способные сохранять стабильность во времени они способны компенсировать проблемы как полифункциональные ингредиенты для пищевых систем (Zou et al., 2015).

Разработки последних лет доказывают применимость ЭП для пищевой индустрии с целью стабилизации эмульсионных пищевых систем независимо от их типа. Однако, в литературе представлены разные мнения об эффективности полноценной загрузки биологически активных веществ в структуру эмульсии и их сохранения при размещении в матрице продукта (Dhiman et al., 2021). Автор отмечает, что эффективность данного процесса в значительной степени может варьироваться и зависит от равномерности распределения биологически активных веществ в эмульсионной системе на этапе формирования прочного физического барьера, препятствующего ее разрушению. Ряд исследо-

вателей (Gong et al., 2020; Perrin et al., 2014; Tang, 2020), указывают на низкую стабильность данных систем, что обуславливает необходимость поиска экологически безопасных и экономически выгодных природных низкомолекулярных поверхностно-активных веществ, которые могут стабилизировать эмульсии Пикеринга (Li et al., 2021).

В качестве стабилизирующих компонентов рядом исследователей предлагаются различные компоненты. Так, доказано, что белки рыб могут образовывать физический барьер между дисперсной фазой для стабилизации эмульсий (Ribeiro et al., 2021). Предложения стабилизирующих частиц для ЭП, применимых в технологии пищевых систем включают гранулы крахмала (Zhang et al., 2013), глобулярные белковые наночастицы (Gong et al., 2020), белковые микрогели (Jiao et al., 2018), частицы целлюлозы (Chen et al., 2018), микрогели хитозана (Mok et al., 2019), желатин (Rui et al., 2014), нанокристаллы хитина (Perrin et al., 2014), белково-полисахаридные комплексы (Sun et al., 2020a) и так далее.

В качестве эффективных стабилизаторов эмульсии Пикеринга могут выступать микрочастицы, полученные на основе полисахаридов, которые подходят за счет биосовместимости с основными компонентами среды. Микрочастицы, обладающие биоактивностью, встраиваясь в матрицу продукта способны достигать соответствующих отделов организма человека, что полностью в дальнейшем обеспечит их функциональные свойства. При этом стабильность и свойства ЭП, нагруженных растительными компонентами, зависят от правильно подобранных соотношений основных фракции системы, свойств вносимого растительного компонента, а также факторов воздействия.

Одним из подходов, обеспечивающих создание, стабильность и заданные свойства ЭП может являться применение физических методов воздействия для процесса микроструктурирования растительных полисахаридов, выступающих в роли стабилизаторов системы. Исследования (Potoroko et al., 2018; Ashokkumar, 2015) доказывают, что обработка низкочастотным ультразвуком (УЗВ) является одним из наиболее часто применяемых физическим методом используемых для модификации биоактивных соединений. В пищевой промышленности предпочтение отдается низкочастотному ультразвуку в диапазоне 15–100 кГц, поскольку в этом

диапазоне происходит кавитация, вызывающая деполимеризацию высокомолекулярных углеводов и ускоряющая их встраивание в систему ЭП как поверхностно-активного компонента (Wani et al., 2022). Применение УЗВ в эмульгировании/гомогенизации способствует экономичному образованию эмульсии с минимальным использованием эмульгаторов для поддержания стабильности эмульсии (Dhiman et al., 2021; Kiani et al., 2011). Таким образом, была сформирована гипотеза о возможности применения кавитационных эффектов ультразвука в качестве инструмента для процесса микроstructuring растительных полисахаридов.

Цель исследования — исследование применимости нетепловых эффектов ультразвука для модификации растительных полисахаридов, которые будут использоваться в качестве стабилизирующих частиц в технологии эмульсий, используемых при получении пищевых систем.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты

В качестве стабилизирующих соединений были определены полисахариды водорослей: высокосульфатированный фуكان, выделенный из бурых водорослей *Fucus evanescens*, имеющий гетерополимерное строение (Фукоидан) (СГФ (ТУ 9284–067–02698170–2010, ТИБОХ ДВО РАН, Россия) и альгинат натрия (Alg–Na) из бурых водорослей *Laminaria Digitata* и *Laminaria Saccharina* (ТУ 15–544–83, TOPSPICE, Россия). Для наилучшего представления механизмов взаимодействия стабилизирующих соединений представлены их пространственные 3D-структуры (Рисунок 1).

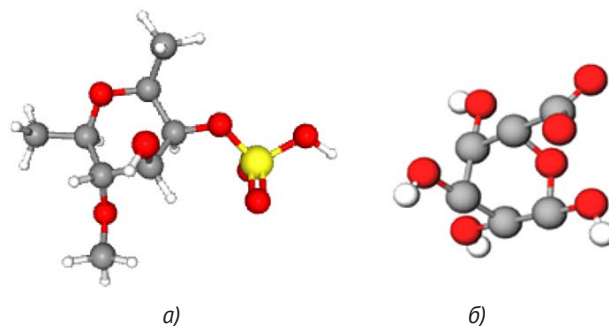
Объектами исследования являлись образцы эмульсий Пикеринга с липидной фракцией на основе льняного масла холодного отжима из семян сорта селекции «Уральский», стабилизированные микроstructuring Фукоиданом и Alg–Na.

Инструменты и оборудование

Для определения эффектов ультразвука для модификации растительных полисахаридов был проведен процесс микроstructuring. В качестве

Рисунок 1

Пространственная 3D-структура молекул Фукоидана (а) и альгиновой кислоты (б)



Примечание. What is PubChem (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>). In public domain.

* Трехмерные структуры веществ получены с базы данных PubChem, оптимизированной с использованием Ligands Input в AD 4.2.

** Атомы выделены цветом: серым — углерод; белым — водород; красным — кислород; желтым — сера.

воздействующего фактора были применены нетепловые эффекты кавитации, генерируемые низкочастотным ультразвуком с частотой механических колебаний $22 \pm 1,65$ кГц и интенсивностью излучения не менее 10 Вт/см^2 . В качестве генератора ультразвука использовали аппарат ультразвуковой технологической погружной «Волна-Л» модель УЗТА-0,63/22-ОЛ с рабочим инструментом грибового типа. Технические возможности используемого ультразвукового аппарата позволяют регулировать мощность (в диапазоне 190–630 Вт).

В целях обеспечения стабильности заявленных биологически-активных свойств в ведении процесса микроstructuring использовали систему принудительного охлаждения для поддержания температуры на уровне 50°C . Для микроstructuring готовили 1%-е водные растворы Фукоидана и Alg–Na. Контрольные образцы были получены путем растворения данных полисахаридов в дистиллированной воде с температурой 50°C .

Полученные водные суспензии вводили в липидную фракцию в соотношении 9:1 и обрабатывали низкочастотным ультразвуком мощностью 630 Вт/л в течение 16 мин (последовательно по 4 мин с перерывом 3 мин) при контроле температуры не выше 50°C .

Методы

Антирадикальную активность контрольных и микроструктурированных образцов Фукоидана и Alg-Na оценивали спектрофотометрически путем определения поглощающей способности свободного радикала 1,1-дифенил-2-пикрилгидразила (DPPH). Поглощение образцов определяли с использованием спектрофотометра Jenway (6405 UV/Vis, Англия) при 515 нм.

Размер частиц контрольных и микроструктурированных образцов Фукоидана и Alg-Na исследовали методом динамического рассеяния света на лазерном анализаторе размера частиц Nanotrac Ultra и Microtrac S3500 (Microtrac Inc., США).

Снимки для оценки морфологической структуры контрольных и микроструктурированных образцов Фукоидана и Alg-Na были получены с применением сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) высокого разрешения (растровый электронный микроскоп Jeol JSM-7001F, Япония), увеличение от $\times 500$ до $\times 10\,000$.

Исследование вязкости ЭП проводилось посредством определения камертонной вязкости на вискозиметре серии SV-10 (A&D, Япония).

Анализ данных

Исследования проводились в трехкратной повторности. Для решения задач оптимизации, получения поверхности отклика и уравнений регрессии, описывающих влияние ультразвукового микроструктурирования на антирадикальную активность Фукоидана и Alg-Na. На проводилась математическая обработка данных с применением двухфакторного регрессионного анализа. В качестве переменных факторов были выбраны продолжительность, мин (X) и мощность ультразвукового воздействия, Вт/л (Y). Контролируемым параметром являлось значение антирадикальной активности, DPPH, % (Z).

Экспериментальные данные обрабатывали методом математической статистики с использованием программы Statistica 12. Полученные данные представлены с коэффициентом достоверности 0,95.

Процедура исследования

На первом этапе исследований были получены 1%-е водные суспензии Фукоидана и Alg-Na. Для проведения процесса микроструктурирования использовали низкочастотный ультразвук с частотой механических колебаний $22 \pm 1,65$ кГц («Волна-Л» модель УЗТА-0,63/22-ОЛ) мощностью воздействия — 630 Вт/л в течение 20 мин (последовательно по 5 мин с перерывом 3 мин) при контроле температуры не выше 50 °С. Далее полученные водные суспензии вводили в липидную фракцию (льняного масла холодного отжима из семян сорта селекции «Уральский») в соотношении 9:1 и обрабатывали ультразвуком мощностью 630 Вт/л в течение 16 мин (последовательно по 4 мин с перерывом 3 мин) при контроле температуры не выше 50 °С.

На втором этапе исследования, проводили оценку показателей по следующей номенклатуре: антирадикальная активность, размер частиц и морфологическая структура образцов суспензий Фукоидана и Alg-Na; вязкость и морфологическая структура полученных Эмульсий Пикеринга.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Формирование пищевой системы, обладающей добавленной полезностью возможно за счет использования новых технологических решений получения физически и химически стабильных, устойчивых в хранении Эмульсий Пикеринга. Выбранные в качестве обогатителя полисахариды водорослей: Фукоидан и Alg-Na обладают комплексом доказанных биоактивных свойств, но имеют ограничительные барьеры (в частности, высокую молекулярную массу), которая снижает эффективность их применения в качестве биоусвояемых фортификатов пищевых систем, включая эмульсии. Изучение исходных свойств полисахаридов бурых водорослей и поиск подходов минимизации ограничительных барьеров для их применения в качестве стабилизирующих компонентов в технологии эмульсий Пикеринга стало основным направлением первого этапа исследований.

Эффективность использования полисахаридов бурых водорослей в системе пищевых продуктов

В многочисленных исследованиях (Таблица 1) за последние 10 лет сообщается о том, что альгинаты и фукоиданы обладают функционально-технологическими (стабилизирующими, гелеобразующими, эмульгирующими) и биологически активными свойствами, ниже приведены ссылки на исследования доказывающие заявленные свойства.

Таблица 1

Биологически активные свойства Фукоидана и Alg–Na

Наименования свойства	Наименование биологически активного вещества, ссылки на авторов доказательных исследований	
	Гетерополисахарид Фукоидан	Альгинат натрия (Alg–Na)
Антиоксидантная активность	Wang, 2019; Imbs, 2021; Koh, 2019	Sellimi, 2015; Torabi, 2022; Benslima, 2021
Антивирусная активность	Sun, 2020b; Krylova, 2020; Sun, 2018	Serrano-Aroca, 2021; Sano, 1999
Радиопротекторные свойства	Zvyagintseva, 2021; Lee, 2008; Wu, 2020	Сведения не установлены
Противоопухолевое и иммуномодулирующее действие	Tomori, 2019; Peng, 2019; Atashrazm, 2015	Сведения не установлены
Антикоагулянтная и антитромботическая активность	Zhao, 2016; Cui, 2018; Lin, 2022	Сведения не установлены
Сорбирующие свойства	Сведения не установлены	Kolodyńska, 2018; Wang, 2016; Cordova, 2018

Представленные данные свидетельствуют о выраженных антиоксидантных, противовирусных, иммуномодулирующих и др. свойствах данных соединений. При этом ряд авторов (Zhao et al., 2016; Lin et al., 2022; Torabi, 2022; Benslima et al., 2021) отмечают снижение эффективности их применения в качестве биоусвояемых фортификатов пищевых систем, включая эмульсии Пикеринга, что обуславливает необходимость поиска новых подходов, таких как ультразвуковое воздействие.

Влияние ультразвукового воздействия на антиоксидантные свойства бурых водорослей

Результаты исследования влияния параметров низкочастотного ультразвука, используемого для микроструктурирования Фукоидана и Alg–Na на ингибирование 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH) представлены в Таблице 2.

Таблица 2

Влияние ультразвукового воздействия при ведении процесса микроструктурирования на антирадикальную активность фукоидана и альгината натрия

Мощность воздействия, Вт/л	Длительность УЗВ, мин	Ингибирование DPPH, %	
		Фукоидан	Alg–Na
0	0	24,6	20,2
240	20	30,2	21,3
240	25	30,8	29,2
240	30	31,1	19,7
435	20	37,4	95,8
435	25	92,1	114,9
435	30	95,3	88,8
630	20	106,9	149,6
630	25	125,6	120,3
630	30	127,8	82,1

В результате ультразвукового микроструктурирования отмечено увеличение антирадикальной активности Фукоидана и Alg–Na в отношении DPPH. С увеличением мощности воздействия происходит наращивание данного показателя для Фукоидана — в 5,2 раза (630 Вт/л; 30 мин), для альгината натрия — в 7,4 раза (630 Вт/л; 20 мин).

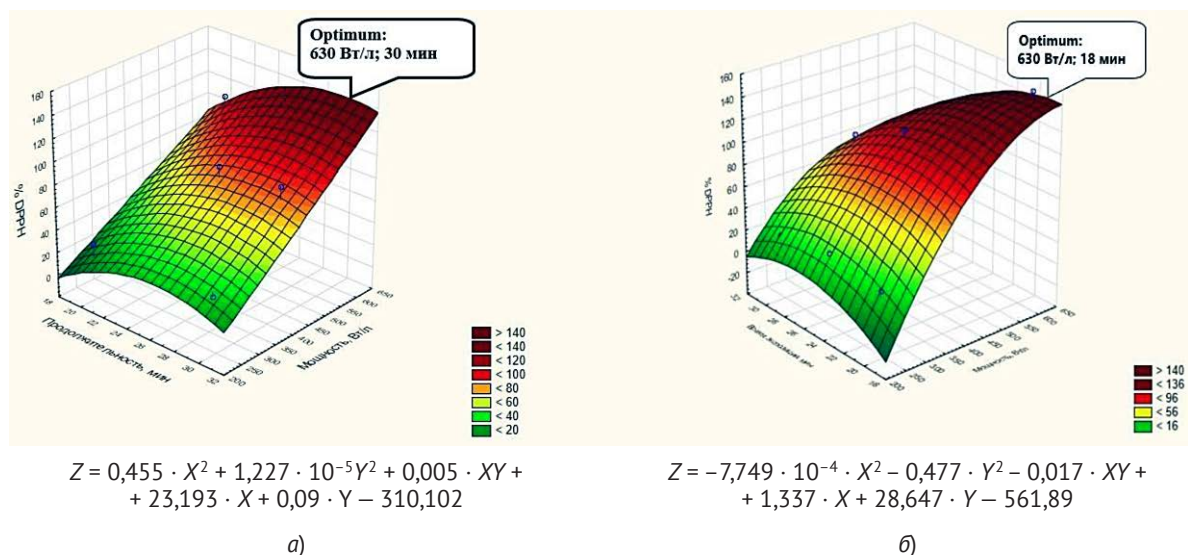
В результате решения задачи оптимизации были получены поверхности отклика и уравнения регрессии (Рисунок 2), описывающие влияние ультразвукового микроструктурирования на антирадикальную активность Фукоидана и Alg–Na .

Влияние ультразвукового воздействия на морфологию и размер частиц бурых водорослей

Проведено исследование влияния ультразвукового микроструктурирования на морфологию и размер частиц Фукоидана и Alg–Na с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и метода динамического рассеяния света (Рисунок 3).

Рисунок 2

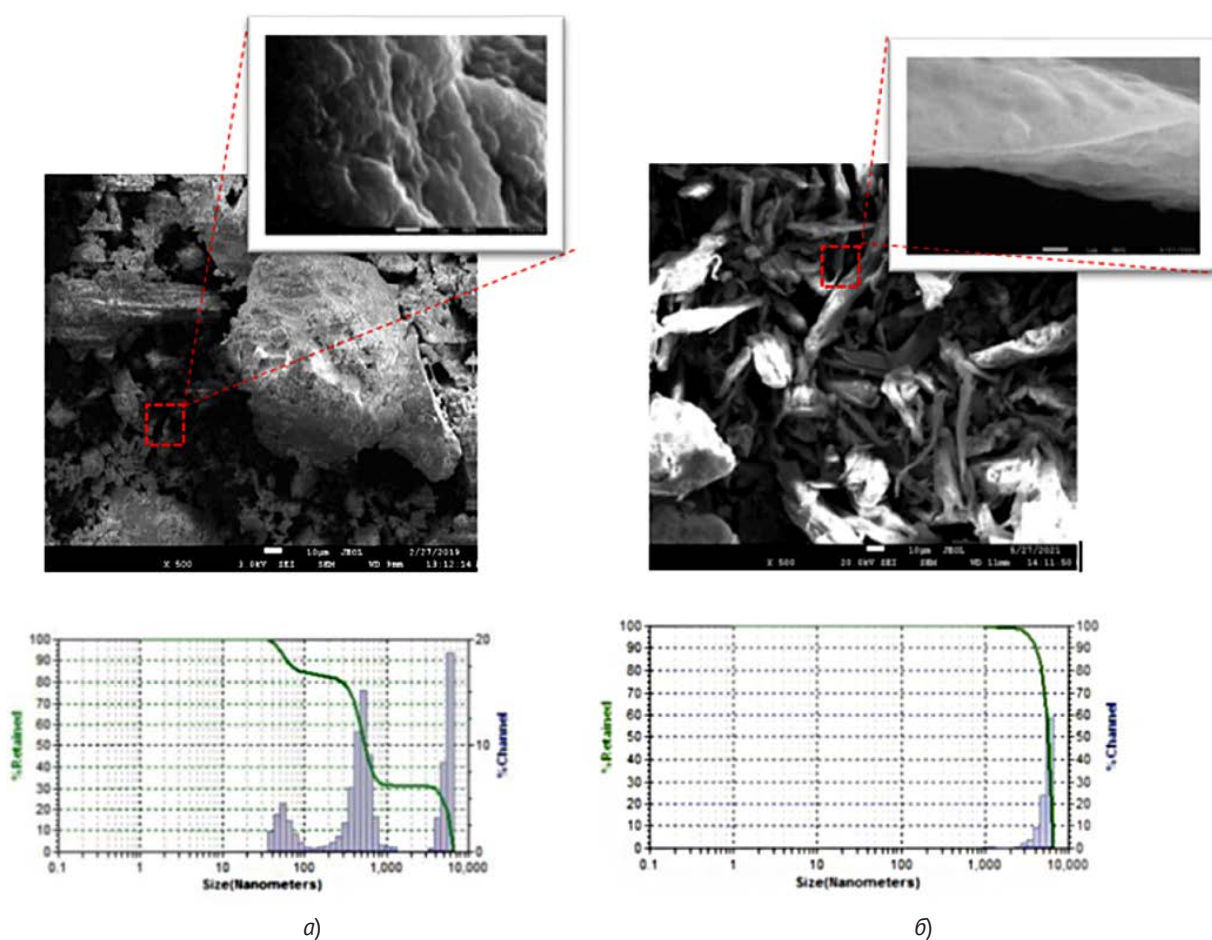
Поверхности отклика и уравнения регрессии зависимости значения антирадикальной активности от параметров ультразвукового микроструктурирования



Примечания: (а) Фукоидана; (б) Alg–Na

Рисунок 3

Результаты исследования влияния ультразвукового микроструктурирования на морфологию и размер частиц



Примечание. (а) Фукоидан; (б) Alg–Na

Анализ СЭМ-изображений доказал, что ультразвуковое микроструктурирование обеспечивает структурные изменения полисахаридов бурых водорослей. Фукоидан представляет собой частицы неправильной формы разных размеров (32,14 мкм — 77,1%; 103,90 мкм — 22,9%). При ультразвуковом микроструктурировании наблюдается деполимеризация частиц (664 нм — 83,6%; 2868 нм — 16,4%). Полученные данные согласуются с результатами исследований (Hmelkov, 2018).

Alg-Na в нативной форме представляет собой частицы нитевидной иррациональной формы с гладкой структурой поверхности (размером преимущественно 5650 нм). После ультразвукового микроструктурирования наблюдается деполимеризация крупных конгломератов, образуются более короткие элементы (размером 5670 нм — 30,6%; 502 нм — 53,4%; 56,1 нм — 16%), а в СЭМ изображениях на поверхности частиц визуализируется наличие ячеистости и присутствие надрывов.

Для оценки применимости микроструктурированных Фукоидана и Alg-Na в качестве стабилизиру-

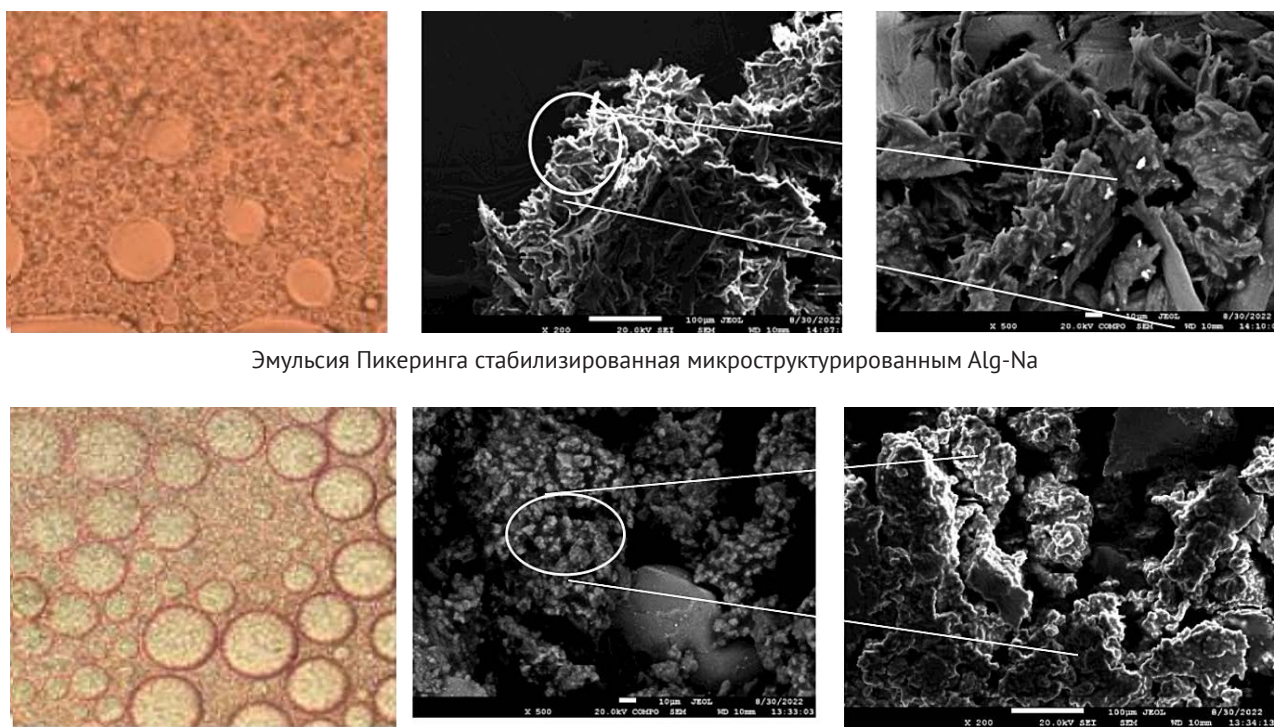
ющих биоактивных частиц эмульсий Пикеринга в экспериментальных исследованиях учитывались реологические характеристики (вязкость, мПа · с) и показатели биоактивности (АОА, DPPH, %).

Оценке применимости микроструктурированных Фукоидана и Alg-Na в составе эмульсий Пикеринга

Полисахариды бурых водорослей, широко применяются в технологиях пищевых продуктов, обладая доказанной биоактивностью и способностью формировать устойчивые гели, они могут стать эффективными технологически применимыми стабилизирующими компонентами, обеспечивающими устойчивость ЭП. Heenu Sharma (2023) в своих исследованиях подчеркивает, что размер частиц имеет прямую зависимость со стабильностью ЭП. Именно адсорбция мелких частиц на поверхности капель ЭП отвечает за их коллоидную стабильность, так как механизм их стабилизации сильно отличается от традиционного механизма создания молекулярной адсорбции межфазными пленками. В свя-

Рисунок 4

Результаты исследования состояния эмульсий Пикеринга стабилизированных микрочастицами полисахаридов бурых водорослей



Эмульсия Пикеринга стабилизированная микроструктурированным Alg-Na

Эмульсия Пикеринга стабилизированная микроструктурированным Фукоиданом

зи с чем наиболее важно проводить исследования по размещению Фукоидана и Alg-Na в матрице ЭП.

Частицы микроструктурированных полисахаридов бурых водорослей по-разному укладываются в матрице ЭП (Рисунок 4), а также влияют на вязкость и устойчивость эмульсий во времени. Следует отметить, что ЭП, стабилизированные микроструктурированным Фукоиданом, обладали вязкостью более низкой ($20,3 \text{ мПа} \cdot \text{с}$), нежели ЭП, стабилизированные микроструктурированным Alg-Na ($580 \text{ мПа} \cdot \text{с}$). При хранении в течение 24 часов ЭП, стабилизированные Фукоиданом сохраняли стабильность, в то время как в ЭП, стабилизированные Alg-Na имели незначительное расслоение, без образования крупных флоккул. Микроструктурированные Фукоидан и Alg-Na в составе ЭП сохраняют биоактивность, что подтверждают данные их антирадикальной активности, соответственно $5,120 \pm 0,005 \text{ DPPH, \%}$ и $4,162 \pm 0,004 \text{ DPPH, \%}$.

Микрофотографии СЭМ достоверно подтверждают образование эмульсии «масло-вода», капли масла в дисперсной среде распределяются равномерно без возникновения флокуляции. Образовавшийся межфазный барьер микроструктурированными биоактивными частицами Фукоидана и Alg-Na предотвращает коалесценцию эмульсии Пикеринга, что также подтверждают показатели ее стабильности при воздействии агрессивных факторов, что доказывает возможность использования ЭП наполненных биоактивными частицами модифицированных полисахаридов бурых водорослей в составе пищевых систем.

Полученные результаты подтверждают данные (Hmelkov et al., 2018; Potoroko et al., 2018; Ashokkumar, 2015) о том, что ультразвуковое воздействие обеспечивает структурные изменения полисахаридов бурых водорослей. При этом авторами впервые доказано, что сформированный микроструктурированными биоактивными частицами Фукоидана и Alg-Na межфазный барьер предотвращает коалесценцию эмульсии Пикеринга и делает их более стабильными в матрице пищевой системы.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования подтвердили эффективность сонохимического микроструктурирования полисахаридов бурых водорослей для получения микрочастиц частиц обладающих доказанной биоактивностью, способных эффективно стабилизировать Эмульсии Пикеринга. Встроенные в систему эмульсии микрочастицы полисахаридов, работают как поверхностно-активные вещества. Поэтому состояние обогатителя, его подтвержденная биологическая ценность может быть стабильна только при минимизации воздействующего фактора либо создания защитного слоя в сложных эмульсионных системах. Сочетание свойств поверхностно-активных и биологически активных веществ сонохимически микроструктурированных Фукоидана и Alg-Na обеспечивает возможности их применения в технологии эмульсионных пищевых систем нового поколения. В соответствии с изначальной гипотезой применение кавитационных эффектов ультразвука в качестве инструмента для процесса микроструктурирования растительных полисахаридов позволило обеспечить стабильность и безопасность разработанных Эмульсий Пикеринга. Интересным и перспективным видится дальнейшее развитие исследований в данном направлении, что позволит сформировать достаточную доказательную базу в отношении применимости стабилизированных эмульсий для пищевых систем с различным нутриентным составом.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Потороко Ирина Юрьевна — концептуализация, разработка методологии исследования, руководство исследованием, получение финансирования.

Кади Аммар Мохаммад Яхья — проведение исследования, написание — подготовка черновика рукописи, работа с программным обеспечением.

Паймулина Анастасия Валерияновна — написание — подготовка черновика рукописи, работа с программным обеспечением.

Науменко Наталья Владимировна — написание-редактирование рукописи, визуализация.

ЛИТЕРАТУРА

- Ashokkumar, M. (2015). Applications of ultrasound in food and bioprocessing. *Ultrasonics Sonochemistry*, 25, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.08.012>
- Atashrazm, F., Lowenthal, R. M., Woods, G. M., Holloway, A. F., & Dickinson, J. L. (2015). Fucoidan and cancer: A multifunctional molecule with anti-tumor potential. *Marine Drugs*, 13(4), 2327–2346. <https://doi.org/10.3390/md13042327>
- Benslima, A., Sellimi, S., Hamdi, M., Nasri, R., Jridi, M., Cot, D., Li, S., Nasri, M., & Zouari, N. (2021). The brown seaweed *Cystoseira schiffneri* as a source of sodium alginate: Chemical and structural characterization, and antioxidant activities. *Food Bioscience*, 40, Article 100873. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100873>
- Cen, S., Li, Z., Guo, Z., Li, H., Shi, J., Huang, X., Zou, X., & Holmes, M. (2022). 4D printing of a citrus pectin/ β -CD Pickering emulsion: a study on temperature induced color transformation. *Additive Manufacturing*, 56, Article 102925. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.102925>
- Chen, Q. H., Zheng, J., Xu, Y. T., Yin, S. W., Liu, F., & Tang, C. H. (2018). Surface modification improves fabrication of pickering high internal phase emulsions stabilized by cellulose nanocrystals. *Food Hydrocolloids*, 75, Article 125–130. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.005>
- Córdova, B. M., Jacinto, C. R., Alarcón, H., Mejía, I. M., López, R. C., de Oliveira Silva, D., Valderrama, A. C. (2018). Chemical modification of sodium alginate with thiosemicarbazide for the removal of Pb (II) and Cd (II) from aqueous solutions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 2259–2270. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.095>
- Cui, K., Tai, W., Shan, X., Hao, J., Li, G., & Yu, G. (2018). Structural characterization and anti-thrombotic properties of fucoidan from *nemacystus decipiens*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 1817–1822. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.079>
- Dhiman, A., & Prabhakar, P. K. (2021). Micronization in food processing: A comprehensive review of mechanistic approach, physicochemical, functional properties and self-stability of micronized food materials. *Journal of Food Engineering*, 292, Article 110248. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110248>
- Gong, J., Wang, S., Wang, J., Feng, W., Peng, H., Tang, J., & Yu, P. S. (2020). Attentional graph convolutional networks for knowledge concept recommendation in moocs in a heterogeneous view. In *Proceedings of the 43rd International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval* (pp. 79–88). <https://doi.org/10.1145/3397271.3401057>
- Sharma, H., Sharma, S., Bajwa, J., Chugh, R., Kumar, D. (2023). Polymeric carriers in probiotic delivery system *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 5, Article 100301, <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100301>
- Hmelkov, A. B., Zvyagintseva, T. N., Shevchenko, N. M. (2018). Ultrasound-assisted extraction of polysaccharides from brown alga *Fucus evanescens*. Structure and biological activity of the new fucoidan fractions. *Journal of Applied Phycology*, 30(3), 2039–2046. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1342-9>
- Huang, M., Wang, J., & Tan, C. (2021). Tunable high internal phase emulsions stabilized by cross-linking/electrostatic deposition of polysaccharides for delivery of hydrophobic bioactives. *Food Hydrocolloids*, 118, Article 106742. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106742>
- Imbs, T. I., & Ermakova, S. P. (2021). Can Fucoidans of Brown Algae Be Considered as Antioxidants? *Russian Journal of Marine Biology*, 47(3), 157–161. <https://doi.org/10.1134/S1063074021030056>
- Jiao, B., Shi, A., Wang, Q., & Binks, B. P. (2018). High-internal-phase pickering emulsions stabilized solely by peanut-protein-isolate microgel particles with multiple potential applications. *Angewandte Chemie*, 130(30), 9418–9422. <https://doi.org/10.1002/ange.201801350>
- Kiani, H., Zhang, Z., Delgado, A., & Sun, D. W. (2011). Ultrasound assisted nucleation of some liquid and solid model foods during freezing. *Food Research International*, 44(9), 2915–2921. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.051>
- Koh, H. S. A., Lu, J., & Zhou, W. (2019). Structure characterization and antioxidant activity of fucoidan isolated from *Undaria pinnatifida* grown in New Zealand. *Carbohydrate polymers*, 212, 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.02.040>
- Kolodyńska, D., Gęca, M., Skwarek, E., & Goncharuk, O. (2018). Titania-coated silica alone and modified by sodium alginate as sorbents for heavy metal ions. *Nanoscale Research Letters*, 13(1), Article 96. <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2512-7>
- Krylova, N. V., Ermakova, S. P., Lavrov, V. F., Leneva, I. A., Kompanets, G. G., Iunikhina, O. V., & Zaporozhets, T. S. (2020). The comparative analysis of antiviral activity of native and modified fucoidans from brown algae *Fucus evanescens* in vitro and in vivo. *Marine drugs*, 18(4), Article 224. <https://doi.org/10.3390/md18040224>
- Lee, J., Kim, J., Moon, C., Kim, S. H., Hyun, J. W., Park, J. W., Shin, T. (2008). Radioprotective effects of fucoidan in mice treated with total body irradiation. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 22(12), 1677–1681. <https://doi.org/10.1002/ptr.2562>
- Li, Q., Wu, Y., Fang, R., Lei, C., Li, Y., Li, B., & Luo, X. (2021). Application of Nanocellulose as particle stabilizer in food Pickering emulsion: Scope, Merits and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 573–583. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.027>
- Lin, P., Chen, S., Liao, M., & Wang, W. (2022). Physicochemical Characterization of Fucoidans from *Sargassum hen-*

- slowianum C. Agardh and Their Antithrombotic Activity In Vitro. *Marine Drugs*, 20(5), Article 300. <https://doi.org/10.3390/md20050300>
- Marefati, A., Sjöö, M., Timgren, A., Dejmeek, P., & Rayner, M. (2015). Fabrication of encapsulated oil powders from starch granule stabilized W/O/W Pickering emulsions by freeze-drying. *Food Hydrocolloids*, 51, 261–271. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.04.022>
- Mok, T. S., Wu, Y. L., Kudaba, I., Kowalski, D. M., Cho, B. C., Turna, H. Z., & Lu, S. (2019). Pembrolizumab versus chemotherapy for previously untreated, PD-L1-expressing, locally advanced or metastatic non-small-cell lung cancer (KEYNOTE-042): A randomised, open-label, controlled, phase 3 trial. *The Lancet*, 393(10183), 1819–1830. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32409-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32409-7)
- Peng, Y., Song, Y., Wang, Q., Hu, Y., He, Y., Ren, D., & Zhou, H. (2019). In vitro and in vivo immunomodulatory effects of fucoidan compound agents. *International Journal of Biological Macromolecules*, 127, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.197>
- Perrin, E., Bizot, H., Cathala, B., & Capron, I. (2014). Chitin nanocrystals for Pickering high internal phase emulsions. *Biomacromolecules*, 15(10), 3766–3771. <https://doi.org/10.1021/bm5010417>
- Potoroko, I. Yu., Kalinina, I. V., Naumenko, N. V., Fatkul'in, R. I., Nenasheva, A. V., Uskova, D. G., Sonawane, S. H., Ivanova, D. G., & Velyamov, M. T. (2018). Sonochemical micronization of taxifolin aimed at improving its bioavailability in drinks for athletes. *Human. Sport. Medicine*, 18(3), 90–100. <https://doi.org/10.14529/hsm180309>
- Ribeiro, E. F., Morell, P., Nicoletti, V. R., Quiles, A., & Hernandez, I. (2021). Protein- and polysaccharide-based particles used for Pickering emulsion stabilisation. *Food Hydrocolloids*, 119, Article 106839. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106839>
- Rui, X., Tan, H., & Yan, Q. (2014). Nanostructured metal sulfides for energy storage. *Nanoscale*, 6(17), 9889–9924. <https://doi.org/10.1039/C4NR03057E>
- Sano, Y. (1999). Antiviral activity of alginate against infection by tobacco mosaic virus. *Carbohydrate Polymers*, 38(2), 183–186. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(98\)00119-2](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(98)00119-2)
- Sellimi, S., Younes, I., Ayed, H. B., Maalej, H., Montero, V., Rinaudo, M., & Nasri, M. (2015). Structural, physicochemical and antioxidant properties of sodium alginate isolated from a Tunisian brown seaweed. *International Journal of Biological Macromolecules*, 72, 1358–1367. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.10.016>
- Serrano-Aroca, A., Ferrandis-Montesinos, M., & Wang, R. (2021). Antiviral properties of alginate-based biomaterials: Promising antiviral agents against SARS-CoV-2. *ACS Applied Bio Materials*, 4(8), 5897–5907. <https://doi.org/10.1021/acsabm.1c00523>
- Sun, Q. L., Li, Y., Ni, L. Q., Li, Y. X., Cui, Y. S., Jiang, S. L., & Dong, C. X. (2020a). Structural characterization and antiviral activity of two fucoidans from the brown algae *Sargassum henslowianum*. *Carbohydrate Polymers*, 229, Article 115487. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115487>
- Sun, S. H., Chen, Q., Gu, H. J., Yang, G., Wang, Y. X., Huang, X. Y., & Wang, Y. C. (2020b). A mouse model of SARS-CoV-2 infection and pathogenesis. *Cell Host & Microbe*, 28(1), 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2020.05.020>
- Sun, T., Zhang, X., Miao, Y., Zhou, Y., Shi, J., Yan, M., & Chen, A. (2018). Studies on antiviral and immuno-regulation activity of low molecular weight fucoidan from *Laminaria japonica*. *Journal of Ocean University of China*, 17(3), 705–711. <https://doi.org/10.1007/s11802-018-3794-1>
- Tang, C. H. (2020). Globular proteins as soft particles for stabilizing emulsions: Concepts and strategies. *Food Hydrocolloids*, 103, Article 105664. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105664>
- Tomori, M., Nagamine, T., Miyamoto, T., & Iha, M. (2019). Evaluation of the immunomodulatory effects of fucoidan derived from *Cladosiphon okamuranus* Tokida in mice. *Marine Drugs*, 17(10), Article 547. <https://doi.org/10.3390/md17100547>
- Torabi, P., Hamdami, N., & Keramat, J. (2022). Investigation on total phenolic content, antioxidant activity, and emulsifying capacity of sodium alginate from *Nizimuddiniana zanardini* during microwave-assisted extraction; optimization and statistical modeling. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(2), 1549–1558. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01255-4>
- Wang, Y., Xing, M., Cao, Q., Ji, A., Liang, H., & Song S. (2019). Biological activities of fucoidan and the factors mediating its therapeutic effects: A review of recent studies. *Marine Drugs*, 17(3), Article 183. <https://doi.org/10.3390/md17030183>
- Wang, Z., Huang, Y., Wang, M., Wu, G., Geng, T., Zhao, Y., & Wu, A. (2016). Macroporous calcium alginate aerogel as sorbent for Pb²⁺ removal from water media. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(3), 3185–3192. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.06.032>
- Wani, T. A., Masoodi, F. A., Akhter, R., Akram, T., Gani, A., & Shabir, N. (2022). Nanoencapsulation of hydroxytyrosol in chitosan crosslinked with sodium bisulfate tandem ultrasonication: Techno-characterization, release and antiproliferative properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 82, Article 105900. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105900>
- Wu, S. Y., Parasuraman, V., Arunagiri, V., Gunaseelan, S., Chou, H. Y., Anbazhagan, R., & Prasad, R. (2020). Radioprotective effect of self-assembled low molecular weight Fucoidan-Chitosan nanoparticles. *International Journal of Pharmaceutics*, 579, Article 119161. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2020.119161>
- Xu, Y. T., Yang, T., Liu, L. L., & Tang, C. H. (2020). One-step fabrication of multifunctional high internal phase pickering emulsion gels solely stabilized by a softer globular protein nanoparticle: S-Ovalbumin. *Journal of Colloid and Interface Science*, 580, 515–527. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.07.054>

- Zamani, S., Malchione, N., Selig, M. J., & Abbaspourrad, A. (2018). Formation of shelf stable Pickering high internal phase emulsions (HIPE) through the inclusion of whey protein microgels. *Food & Function*, 9(2), 982–990. <https://doi.org/10.1039/C7FO01800B>
- Zhang, H., Ling, M. X., Liu, Y. L., Tu, X. L., Wang, F. Y., Li, C. Y., & Sun, W. D. (2013). High oxygen fugacity and slab melting linked to Cu mineralization: Evidence from Dexing porphyry copper deposits, southeastern China. *The Journal of Geology*, 121(3), 289–305. <https://doi.org/10.1086/669975>
- Zhao, X., Guo, F., Hu, J., Zhang, L., Xue, C., Zhang, Z., & Li, B. (2016). Antithrombotic activity of oral administered low molecular weight fucoidan from *Laminaria Japonica*. *Thrombosis Research*, 144, 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.thromres.2016.03.008>
- Zou, Y., Guo, J., Yin, S. W., Wang, J. M., & Yang, X. Q. (2015). Pickering emulsion gels prepared by hydrogen-bonded zein/tannic acid complex colloidal particles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(33), 7405–7414. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03113>
- Zvyagintseva, T. N., Usoltseva, R. V., Shevchenko, N. M., Surits, V. V., Imbs, T. I., Malyarenko, O. S., & Ermakova, S. P. (2021). Structural diversity of fucoidans and their radioprotective effect. *Carbohydrate Polymers*, 273, Article 118551. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118551>

REFERENCES

- Ashokkumar, M. (2015). Applications of ultrasound in food and bioprocessing. *Ultrasonics Sonochemistry*, 25, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.08.012>
- Atashrazm, F., Lowenthal, R. M., Woods, G. M., Holloway, A. F., & Dickinson, J. L. (2015). Fucoidan and cancer: A multifunctional molecule with anti-tumor potential. *Marine Drugs*, 13(4), 2327–2346. <https://doi.org/10.3390/md13042327>
- Benslimi, A., Sellimi, S., Hamdi, M., Nasri, R., Jridi, M., Cot, D., Li, S., Nasri, M., & Zouari, N. (2021). The brown seaweed *Cystoseira schiffneri* as a source of sodium alginate: Chemical and structural characterization, and antioxidant activities. *Food Bioscience*, 40, Article 100873. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100873>
- Cen, S., Li, Z., Guo, Z., Li, H., Shi, J., Huang, X., Zou, X., & Holmes, M. (2022). 4D printing of a citrus pectin/ β -CD Pickering emulsion: a study on temperature induced color transformation. *Additive Manufacturing*, 56, Article 102925. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.102925>
- Chen, Q. H., Zheng, J., Xu, Y. T., Yin, S. W., Liu, F., & Tang, C. H. (2018). Surface modification improves fabrication of pickering high internal phase emulsions stabilized by cellulose nanocrystals. *Food Hydrocolloids*, 75, Article 125–130. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.005>
- Córdova, B. M., Jacinto, C. R., Alarcón, H., Mejía, I. M., López, R. C., de Oliveira Silva, D., Valderrama, A. C. (2018). Chemical modification of sodium alginate with thiosemicarbazide for the removal of Pb (II) and Cd (II) from aqueous solutions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 2259–2270. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.095>
- Cui, K., Tai, W., Shan, X., Hao, J., Li, G., & Yu, G. (2018). Structural characterization and anti-thrombotic properties of fucoidan from *nemacystus decipiens*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 1817–1822. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.079>
- Dhiman, A., & Prabhakar, P. K. (2021). Micronization in food processing: A comprehensive review of mechanistic approach, physicochemical, functional properties and self-stability of micronized food materials. *Journal of Food Engineering*, 292, Article 110248. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110248>
- Gong, J., Wang, S., Wang, J., Feng, W., Peng, H., Tang, J., & Yu, P. S. (2020). Attentional graph convolutional networks for knowledge concept recommendation in moocs in a heterogeneous view. In *Proceedings of the 43rd International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval* (pp. 79–88). <https://doi.org/10.1145/3397271.3401057>
- Sharma, H., Sharma, S., Bajwa, J., Chugh, R., Kumar, D. (2023). Polymeric carriers in probiotic delivery system *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 5, Article 100301, <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100301>
- Hmelkov, A. B., Zvyagintseva, T. N., Shevchenko, N. M. (2018). Ultrasound-assisted extraction of polysaccharides from brown alga *Fucus evanescens*. Structure and biological activity of the new fucoidan fractions. *Journal of Applied Phycology*, 30(3), 2039–2046. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1342-9>
- Huang, M., Wang, J., & Tan, C. (2021). Tunable high internal phase emulsions stabilized by cross-linking/electrostatic deposition of polysaccharides for delivery of hydrophobic bioactives. *Food Hydrocolloids*, 118, Article 106742. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106742>
- Imbs, T. I., & Ermakova, S. P. (2021). Can Fucoidans of Brown Algae Be Considered as Antioxidants? *Russian Journal of Marine Biology*, 47(3), 157–161. <https://doi.org/10.1134/S1063074021030056>
- Jiao, B., Shi, A., Wang, Q., & Binks, B. P. (2018). High-internal-phase pickering emulsions stabilized solely by peanut-protein-isolate microgel particles with multiple potential applications. *Angewandte Chemie*, 130(30), 9418–9422. <https://doi.org/10.1002/ange.201801350>
- Kiani, H., Zhang, Z., Delgado, A., & Sun, D. W. (2011). Ultrasound assisted nucleation of some liquid and solid model foods during freezing. *Food Research International*, 44(9), 2915–2921. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.051>

- Koh, H. S. A., Lu, J., & Zhou, W. (2019). Structure characterization and antioxidant activity of fucoidan isolated from *Undaria pinnatifida* grown in New Zealand. *Carbohydrate polymers*, 212, 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.02.040>
- Kolodyńska, D., Gęca, M., Skwarek, E., & Goncharuk, O. (2018). Titania-coated silica alone and modified by sodium alginate as sorbents for heavy metal ions. *Nanoscale Research Letters*, 13(1), Article 96. <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2512-7>
- Krylova, N. V., Ermakova, S. P., Lavrov, V. F., Leneva, I. A., Kompanets, G. G., Iunikhina, O. V., & Zaporozhets, T. S. (2020). The comparative analysis of antiviral activity of native and modified fucoidans from brown algae *Fucus evanescens* in vitro and in vivo. *Marine drugs*, 18(4), Article 224. <https://doi.org/10.3390/md18040224>
- Lee, J., Kim, J., Moon, C., Kim, S. H., Hyun, J. W., Park, J. W., Shin, T. (2008). Radioprotective effects of fucoidan in mice treated with total body irradiation. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 22(12), 1677–1681. <https://doi.org/10.1002/ptr.2562>
- Li, Q., Wu, Y., Fang, R., Lei, C., Li, Y., Li, B., & Luo, X. (2021). Application of Nanocellulose as particle stabilizer in food Pickering emulsion: Scope, Merits and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 573–583. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.027>
- Lin, P., Chen, S., Liao, M., & Wang, W. (2022). Physicochemical Characterization of Fucoidans from *Sargassum henslowianum* C. Agardh and Their Antithrombotic Activity In Vitro. *Marine Drugs*, 20(5), Article 300. <https://doi.org/10.3390/md20050300>
- Marefati, A., Sjöö, M., Timgren, A., Dejmek, P., & Rayner, M. (2015). Fabrication of encapsulated oil powders from starch granule stabilized W/O/W Pickering emulsions by freeze-drying. *Food Hydrocolloids*, 51, 261–271. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.04.022>
- Mok, T. S., Wu, Y. L., Kudaba, I., Kowalski, D. M., Cho, B. C., Turna, H. Z., & Lu, S. (2019). Pembrolizumab versus chemotherapy for previously untreated, PD-L1-expressing, locally advanced or metastatic non-small-cell lung cancer (KEYNOTE-042): A randomised, open-label, controlled, phase 3 trial. *The Lancet*, 393(10183), 1819–1830. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32409-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32409-7)
- Peng, Y., Song, Y., Wang, Q., Hu, Y., He, Y., Ren, D., & Zhou, H. (2019). In vitro and in vivo immunomodulatory effects of fucoidan compound agents. *International Journal of Biological Macromolecules*, 127, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.197>
- Perrin, E., Bizot, H., Cathala, B., & Capron, I. (2014). Chitin nanocrystals for Pickering high internal phase emulsions. *Biomacromolecules*, 15(10), 3766–3771. <https://doi.org/10.1021/bm5010417>
- Potoroko, I. Yu., Kalinina, I. V., Naumenko, N. V., Fatkullin, R. I., Nenasheva, A. V., Uskova, D. G., Sonawane, S. H., Ivanova, D. G., & Velyamov, M. T. (2018). Sonochemical micronization of taxifolin aimed at improving its bioavailability in drinks for athletes. *Human. Sport. Medicine*, 18(3), 90–100. <https://doi.org/10.14529/hsm180309>
- Ribeiro, E. F., Morell, P., Nicoletti, V. R., Quiles, A., & Hernandez, I. (2021). Protein- and polysaccharide-based particles used for Pickering emulsion stabilisation. *Food Hydrocolloids*, 119, Article 106839. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106839>
- Rui, X., Tan, H., & Yan, Q. (2014). Nanostructured metal sulfides for energy storage. *Nanoscale*, 6(17), 9889–9924. <https://doi.org/10.1039/C4NR03057E>
- Sano, Y. (1999). Antiviral activity of alginate against infection by tobacco mosaic virus. *Carbohydrate Polymers*, 38(2), 183–186. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(98\)00119-2](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(98)00119-2)
- Sellimi, S., Younes, I., Ayed, H. B., Maalej, H., Montero, V., Rinaudo, M., & Nasri, M. (2015). Structural, physicochemical and antioxidant properties of sodium alginate isolated from a Tunisian brown seaweed. *International Journal of Biological Macromolecules*, 72, 1358–1367. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.10.016>
- Serrano-Aroca, A., Ferrandis-Montesinos, M., & Wang, R. (2021). Antiviral properties of alginate-based biomaterials: Promising antiviral agents against SARS-CoV-2. *ACS Applied Bio Materials*, 4(8), 5897–5907. <https://doi.org/10.1021/acsabm.1c00523>
- Sun, Q. L., Li, Y., Ni, L. Q., Li, Y. X., Cui, Y. S., Jiang, S. L., & Dong, C. X. (2020a). Structural characterization and antiviral activity of two fucoidans from the brown algae *Sargassum henslowianum*. *Carbohydrate Polymers*, 229, Article 115487. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115487>
- Sun, S. H., Chen, Q., Gu, H. J., Yang, G., Wang, Y. X., Huang, X. Y., & Wang, Y. C. (2020b). A mouse model of SARS-CoV-2 infection and pathogenesis. *Cell Host & Microbe*, 28(1), 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2020.05.020>
- Sun, T., Zhang, X., Miao, Y., Zhou, Y., Shi, J., Yan, M., & Chen, A. (2018). Studies on antiviral and immunoregulation activity of low molecular weight fucoidan from *Laminaria japonica*. *Journal of Ocean University of China*, 17(3), 705–711. <https://doi.org/10.1007/s11802-018-3794-1>
- Tang, C. H. (2020). Globular proteins as soft particles for stabilizing emulsions: Concepts and strategies. *Food Hydrocolloids*, 103, Article 105664. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105664>
- Tomori, M., Nagamine, T., Miyamoto, T., & Iha, M. (2019). Evaluation of the immunomodulatory effects of fucoidan derived from *Cladosiphon okamuranus* Tokida in mice. *Marine Drugs*, 17(10), Article 547. <https://doi.org/10.3390/md17100547>
- Torabi, P., Hamdami, N., & Keramat, J. (2022). Investigation on total phenolic content, antioxidant activity, and emulsifying capacity of sodium alginate from *Nizimuddiniana zanardini* during microwave-assisted extraction; optimization and statistical modeling. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(2), 1549–1558. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01255-4>
- Wang, Y., Xing, M., Cao, Q., Ji, A., Liang, H., & Song, S. (2019). Biological activities of fucoidan and the factors medi-

- ating its therapeutic effects: A review of recent studies. *Marine Drugs*, 17(3), Article 183. <https://doi.org/10.3390/md17030183>
- Wang, Z., Huang, Y., Wang, M., Wu, G., Geng, T., Zhao, Y., & Wu, A. (2016). Macroporous calcium alginate aerogel as sorbent for Pb²⁺ removal from water media. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(3), 3185–3192. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.06.032>
- Wani, T. A., Masoodi, F. A., Akhter, R., Akram, T., Gani, A., & Shabir, N. (2022). Nanoencapsulation of hydroxytyrosol in chitosan crosslinked with sodium bisulfate tandem ultrasonication: Techno-characterization, release and antiproliferative properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 82, Article 105900. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105900>
- Wu, S. Y., Parasuraman, V., Arunagiri, V., Gunaseelan, S., Chou, H. Y., Anbazhagan, R., & Prasad, R. (2020). Radioprotective effect of self-assembled low molecular weight Fucoidan-Chitosan nanoparticles. *International Journal of Pharmaceutics*, 579, Article 119161. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2020.119161>
- Xu, Y. T., Yang, T., Liu, L. L., & Tang, C. H. (2020). One-step fabrication of multifunctional high internal phase pickering emulsion gels solely stabilized by a softer globular protein nanoparticle: S-Ovalbumin. *Journal of Colloid and Interface Science*, 580, 515–527. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.07.054>
- Zamani, S., Malchione, N., Selig, M. J., & Abbaspourrad, A. (2018). Formation of shelf stable Pickering high internal phase emulsions (HIPE) through the inclusion of whey protein microgels. *Food & Function*, 9(2), 982–990. <https://doi.org/10.1039/C7FO01800B>
- Zhang, H., Ling, M. X., Liu, Y. L., Tu, X. L., Wang, F. Y., Li, C. Y., & Sun, W. D. (2013). High oxygen fugacity and slab melting linked to Cu mineralization: Evidence from Dexing porphyry copper deposits, southeastern China. *The Journal of Geology*, 121(3), 289–305. <https://doi.org/10.1086/669975>
- Zhao, X., Guo, F., Hu, J., Zhang, L., Xue, C., Zhang, Z., & Li, B. (2016). Antithrombotic activity of oral administered low molecular weight fucoidan from Laminaria Japonica. *Thrombosis Research*, 144, 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.thromres.2016.03.008>
- Zou, Y., Guo, J., Yin, S. W., Wang, J. M., & Yang, X. Q. (2015). Pickering emulsion gels prepared by hydrogen-bonded zein/tannic acid complex colloidal particles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(33), 7405–7414. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03113>
- Zvyagintseva, T. N., Usoltseva, R. V., Shevchenko, N. M., Surits, V. V., Imbs, T. I., Malyarenko, O. S., & Ermakova, S. P. (2021). Structural diversity of fucoidans and their radioprotective effect. *Carbohydrate Polymers*, 273, Article 118551. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118551>

УДК 633.522:664.689

Влияние продуктов переработки конопли и природы белка в стеновом материале эмульсионного геля на качество и структуру заварного полуфабриката для эклера

¹ Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий

² ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»

³ ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Щеголева Ирина Дмитриевна

Адрес: 125080 г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: shchegoleva@mgupp.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Васькина, В. А., Шаршунов, В. А., Машкова, И. А., Быков, А. А., & Щеголева, И. Д. (2023). Влияние продуктов переработки конопли и природы белка в стеновом материале эмульсионного геля на качество и структуру заварного полуфабриката для эклера. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 150–162. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.414>

ПОСТУПИЛА: 10.03.2023

ПРИНЯТА: 26.03.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



В. А. Васькина¹, В. А. Шаршунов¹, И. А. Машкова¹, А. А. Быков², И. Д. Щеголева³

АННОТАЦИЯ

Введение. Основными недостатками технологии заварного полуфабриката для эклеров и профитролей является использование твердых животных жиров и высокие требования к пшеничной муке по количеству и качеству клейковины. Замена твердого жира на конопляное масло и пшеничной муки на безглютеновую смесь из конопляной и рисовой муки позволит получить продукт, обогащенный уникальным комплексом питательных веществ, и снизить риски ряда заболеваний. Однако, указанные замены рецептурных компонентов приведут к принципиальному изменению структурной основы теста и применению новых технологических решений.

Цель работы. Разработка технологии безглютенового заварного полуфабриката для эклеров и профитролей на основе продуктов переработки семян конопли (масла и муки) и белково-полисахаридных смесей.

Материалы и методы. Опытные образцы заварного полуфабриката готовили с заменой пшеничной муки на безглютеновую смесь из конопляной и рисовой муки и твердого животного жира — на конопляное масло. Необходимое структурообразование в тесте достигалось за счет введения белково-полисахаридных смесей, в которых использовали сухую молочную сыворотку или изолят белка сои и тройную смесь полисахаридов — альгинат натрия, пектин, натрий карбоксиметилцеллюлозу. Проведены исследования физико-химических, органолептических и рентгеноструктурных характеристик заварного полуфабриката в зависимости от технологии и рецептуры приготовления.

Результаты. Экспериментально доказана возможность получения заварного полуфабриката для эклеров и профитролей с высокими питательными свойствами по новой технологии, согласно которой пшеничную муку полностью заменяют безглютеновой смесью, состоящей из конопляной и рисовой муки в соотношении 50:50, а вместо твердого животного жира вносят конопляное масло, капсулированное в оболочки из белково-полисахаридных смесей. Готовые изделия имели хорошие физико-химические и органолептические характеристики. Отмечено, что изделия обладали немного более темным цветом поверхности, приятным вкусом и ароматом, а также более однородной структурой стенки, окружающей внутреннюю полость.

Выводы. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования технологий мучных кондитерских изделий с привлечением новых источников ценного растительного сырья.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

заварной полуфабрикат, конопляное масло, конопляная мука, белково-полисахаридная смесь, безглютеновый продукт, пищевая ценность, органолептические и физико-химические показатели качества, новая технология

Influence of Hemp Processing Products and the Nature of Protein in the Wall Material of Emulsion Gel on the Quality and Structure of Choux Semi-Finished for Eclair

¹ Belarusian State University of Food and Chemical Technologies

² Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University)

³ Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH)

CORRESPONDENCE:

Irina D. Shchegoleva

Address: 11, Volokolamsk highway, Moscow, 125080, Russia

E-mail: ShchegolevaID@mgupp.ru

FOR CITATIONS:

Vaskina, V. A., Sharshunov, V. A., Mashkova, I. A., Bykov, A. A., & Shchegoleva, I. D. (2023). Influence of hemp processing products and the nature of protein in the wall material of emulsion gel on the quality and structure of choux semi-finished for éclair. *Storage and Processing of Farm Products*, 1), 150–162. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.414>

RECEIVED: 10.03.2023

ACCEPTED: 26.03.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Valentina A. Vaskina¹, Vyacheslav A. Sharshunov¹, Irina A. Mashkova¹, Alexander A. Bykov², Irina D. Shchegoleva³

ABSTRACT

Background. The main disadvantages of technology for choux semi-finished for eclairs and profiteroles are the use of solid animal fats and high requirements for wheat flour in terms of the quantity and quality of gluten. Replacing solid fat with hemp oil and wheat flour with a gluten-free mixture of hemp and rice flour will provide a product enriched with a unique complex of nutrients and reduce the risks of a number of diseases. However, these replacements of prescription components will lead to a fundamental change in the structural basis of the dough and the use of new technological solutions.

Purpose. Development of technology for gluten-free custard semi-finished products for eclairs and profiteroles based on hemp seed processing products (oil and flour) and protein-polysaccharide mixtures.

Materials and Methods. Experimental samples of the choux semi-finished product were prepared with the replacement of wheat flour with a gluten-free mixture of hemp and rice flour and solid animal fat with hemp oil. The necessary structure formation in the dough was achieved by introducing protein-polysaccharide mixtures, in which whey powder or soy protein isolate and a triple mixture of polysaccharides - sodium alginate, pectin, sodium carboxymethylcellulose were used. Studies of the physicochemical, organoleptic and X-ray diffraction characteristics of the choux semi-finished product were carried out depending on the technology and recipe of preparation.

Results. Experimentally proved the possibility of obtaining choux semi-finished for eclairs and profiteroles with high nutritional properties using a new technology, according to which wheat flour is completely replaced with a gluten-free mixture consisting of hemp and rice flour in a ratio of 50:50, and instead of solid animal fat, hemp oil is added, encapsulated in shells made of protein-polysaccharide mixtures. Finished products had good physical, chemical and organoleptic characteristics. It was noted that the products had a slightly darker surface color, a pleasant taste and aroma, as well as a more uniform structure of the wall surrounding the internal cavity.

Conclusions. The results obtained can be used to improve the technology of flour confectionery products with the involvement of new sources of valuable plant raw materials.

KEYWORDS

choux semi-finished for éclair, hemp oil, hemp flour, protein-polysaccharide mixture, gluten free product, nutritional value, organoleptic and physicochemical quality indicators, new technology

ВВЕДЕНИЕ

Потребители постоянно интересуются здоровыми продуктами питания и стремятся устранить отдельные негативные последствия такие, как загрязненность пищи антипитательными ингредиентами, хронические заболевания, вызванные неправильным питанием, ущерб окружающей среде в связи с производством пищи. Прогрессивные технологии производства пищевых эмульсий используются для решения многих из этих проблем (Tan & McClements, 2021). В технологии кондитерских изделий широко применяются эмульсии, что характерно для производства шоколада, конфет, мучных изделий, кремов, начинок и других. Пирожные эклеры и профитролы изготавливаются на основе заварного полуфабриката, внутри которого имеется большая полость, заполняемая разнообразными начинками, что обеспечивает повышенный спрос всех категорий потребителей. Основными компонентами рецептуры заварного полуфабриката являются пшеничная мука, сливочное масло или маргарин, меланж (яйца) и соль. В технологию заварного полуфабриката включаются следующие стадии: приготовление мучной заварки и теста, формование тестовых заготовок и их выпечка. В варочный котел с мешалкой загружаются вода, сливочное масло и соль, затем смесь нагревается до кипения. Далее, не прекращая перемешивания, в кипящий водно-масло-солевой раствор добавляется мука и образуется заварка. Охлажденная мучная заварка загружается в сбивальную машину, добавляется яичный меланж и смесь сбивается для получения теста. Из полученного теста на листы формуется тестовые заготовки в виде трубочек, куполов или колец, которые затем для выпечки подаются в печь. Выпеченные заварные полуфабрикаты охлаждаются в камере и отправляются на отделку¹.

В свете современных тенденций здорового сбалансированного питания у потребителей могут возникнуть вопросы по наличию в рецептуре заварного полуфабриката твердого жира и пшеничного глютена. Твердые жиры (маргарин, сливочное мас-

ло и др.) содержат значительную долю высокоплавких триацилглицеринов, потребление которых рекомендуется ограничивать (Mozaffarian et al., 2006; Patel et al., 2020). Кроме того, существует признанное понимание, что потребление ненасыщенных жирных кислот оказывает положительное влияние на здоровье (Ghazani & Marangoni, 2016; Zárate et al., 2017; Djuricic & Calder, 2021). Вследствие этого, набирает популярность концепция замены насыщенных и трансизомеров жирных кислот ненасыщенными жирными кислотами в мучных изделиях. Однако, прямая замена твердого жира жидкими маслами обычными способами не происходит, так как имеются различия в их физических и сенсорных свойствах.

Другим недостатком заварного полуфабриката является повышенные требования к качеству муки, в которой содержание клейковины должно быть выше 30% и до 36%, при качестве не ниже 1-ой группы по ИДК. Применение муки с более низкими показателями по количеству и качеству клейковины приводит к получению заварного полуфабриката без полости внутри. Кроме того, глютен муки вызывает негативную реакцию у больных целиакией, которая становится все более частой (Leonard et al., 2017; Caio et al., 2019; Aljada et al., 2021). Эти обстоятельства привели к разработке безглютеновых мучных изделий (Šmídová & Rysová, 2022), в том числе и заварного полуфабриката.

Стремление создания безглютеновых заварных полуфабрикатов наблюдалось неоднократно. Так, известен способ получения заварного полуфабриката (Васькина и др., 2014), предусматривающий использование белково-полисахаридной смеси. Однако, предлагаемая технология не позволила исключить из рецептуры сливочное масло. Предложен способ получения безглютенового заварного полуфабриката на основе маргарина и смеси амарантовой муки и картофельного крахмала². По мнению автора патента, качество продукта по данной технологии оставалось невысоким. Популярен также способ приготовления безглютенового за-

¹ Кузнецова, Л. С., Сиданова, М. Ю. (2007). *Технология приготовления мучных кондитерских изделий: Учебник для студентов среднего специального образования*. М.: Академия.

² Магомедов, Г. О., Шевякова, Т. А., Мирошниченко, Л. А., Чернышева, Ю. А., & Лесникова, К. А. (2016). РФ Патент № 2603893. *Способ приготовления безглютенового заварного полуфабриката*. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий.

варного полуфабриката³, в котором используется смесь из рисовой и кукурузной муки и кукурузного крахмала. При этом в рецептуре остается сливочное масло, что не решает проблемы сокращения насыщенных жирных кислот в изделии.

Новым направлением в получении безглютенового заварного полуфабриката, обогащенного полиненасыщенными жирными кислотами, может стать замена в рецептуре заварного полуфабриката твердого жира на конопляное масло и пшеничной муки на конопляную муку. Известно, что семена конопли обладают уникальным сочетанием питательных и лечебных компонентов (Farinon et al., 2020; Aloo et al., 2022). По данным зарубежных авторов содержание белков в семенах конопли составляет от 24 до 35%, липидов — от 25 до 30% при высокой доле полиненасыщенных жирных кислот и оптимальном соотношении ω -6/ ω -3 кислот (Farinon et al., 2020; Aloo et al., 2022). В России конопля традиционно высоко ценилась как пищевая масличная и техническая культура. Опыт применения продуктов переработки семян конопли имеется в производстве хлеба (Liliana et al., 2018), макаронных изделий (Teterycz et al., 2021), мучных кондитерских изделий (Гончарова и соавт., 2022) и других пищевых продуктов.

Включение в рецептуру заварного полуфабриката жидкого растительного масла при одновременном изъятии пшеничной муки (следовательно, и клейковины) принципиально видоизменяет структурную основу теста, поэтому представляет собой сложную технологическую задачу. Одним из способов решения этой задачи является использование олеогелляторов, способных структурировать растительные масла, придавая им механическую прочность, реологию и термическое поведение, характерные для твердых жиров (Marangoni & Garti, 2018; Martins et al., 2018; Martins et al., 2022). Другим способом введения жидких масел в мучные изделия, является инкапсуляция или эмульгирование масла в виде коллоидных капсул или эмульсионного геля (Turasan et al., 2015; Li et al., 2020; Lai et al., 2021). Вещество оболочек, называемое «стеновой материал», имеет, как правило, микрофибрильную структуру, образуемую белково-полисахаридными смесями (БПС).

Ранее авторы работы изучали применение белково-полисахаридных смесей в качестве вспенивающих и эмульгирующих веществ в технологии таких изделий, как конфеты, пряники, шоколадно-ореховая начинка и другие (Монастырский & Васькина, 2018; Васькина и соавт., 2021; Бутин и соавт., 2022). Полученный положительный опыт применения БПС в технологии кондитерских изделий позволил авторам сформулировать гипотезу о возможности получения заварного полуфабриката, включающего продукты переработки семян конопли, при условии использования белково-полисахаридных смесей, обеспечивающих структурообразование жировой и белковой фаз теста.

Целью данного исследования была разработка технологии безглютенового заварного полуфабриката для эклеров и профитролей на основе продуктов переработки семян конопли (масла и муки) и белково-полисахаридных смесей. В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- (1) определение состава белково-полисахаридных смесей для капсулирования конопляного масла;
- (2) оценка влияния продуктов переработки семян конопли и природы белка в БПС на физико-химические показатели заварного полуфабриката;
- (3) оценка влияния продуктов переработки семян конопли и природы белка в БПС на органолептические показатели заварного полуфабриката;
- (4) обоснование технологических режимов производства заварного полуфабриката на основе продуктов переработки семян конопли и БПС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Объектами исследования были образцы заварных полуфабрикатов, полученных по традиционной и новой технологии с заменой пшеничной муки на смесь конопляной и рисовой муки, сливочного масла — конопляным маслом и добавлением белково-полисахаридных смесей (БПС). Были ис-

³ Садыгова, М. К., Фэртдинова, Л. Т., & Гасимова, Г. А. (2020). РФ Патент № 2731283. *Способ приготовления безглютенового заварного полуфабриката*. Саратов: Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова.

пользованы БПС следующего состава: белковая часть — сухая молочная сыворотка (СМС) или изолят белка сои (ИБС), полисахаридная часть — смесь из альгината натрия, пектина и натрий карбоксиметилцеллюлозы. В исследованиях применяли следующее сырье и материалы: муку пшеничную хлебопекарную высшего сорта; конопляную муку; рисовую муку; масло сливочное; конопляное масло; соль поваренную пищевую; яичный меланж; яичный желток; изолят белка сои; сухую молочную сыворотку; альгинат натрия; пектин; натрий карбоксиметилцеллюлозу; воду питьевую. Все сырье и материалы соответствовали требованиям нормативно-технической документации.

Оборудование

Лабораторная печь, рентгеновский томограф GM Nanomex 180.

Методы

В работе применяли общепринятые лабораторные методы исследования свойств сырья и готовых кондитерских изделий. Качество заварного полуфабриката оценивали по физико-химическим (плотность, влажность) и органолептическим (форма, цвет, внешний вид, структура и консистенция, вкус и аромат) показателям.

Процедура исследования

Лабораторные образцы заварного полуфабриката готовили по традиционной технологии (контроль) и новой технологии (опытные, с добавлением конопляного масла, конопляной и рисовой муки и БПС). Оба способа включали приготовление мучной заварки и теста, формование тестовых заготовок и выпечку. По традиционной технологии воду, сливочное масло и соль загружали в емкость и водно-масло-солевой раствор нагревали до кипения, затем в кипящий раствор, продолжая перемешивание, добавляли пшеничную муку для получения мучной заварки и массу охлаждали. Готовую заварку переносили в сбивальную машину, добавляли яичный меланж и смесь взбивали до образования теста, из которого вручную формовали тестовые заготовки. Заварной полуфабрикат выпекали в ла-

бораторной печи в течение 35–47 мин при температуре 190–220⁰ С. По новой технологии выполняли следующие операции: для приготовления БПС — смешивали ИБС (или СМС) с полисахаридами (альгинат натрия, пектин, натрий карбоксиметилцеллюлозы), добавляли воду и проводили набухание биополимеров БПС. Затем набухший раствор БПС сбивали до образования пенной массы. В пенную массу при сбивании вводили конопляное масло для получения эмульсионного геля (инкапсулированного конопляного масла в оболочках из БПС). После этого эмульсионный гель смешивали с водно-солевым раствором и смесь нагревали до кипения, и, продолжая перемешивание, загружали смесь из конопляной муки (40 %, 50 %, 60 % массы мучной смеси) и рисовой муки (остальное) для получения заварки. Готовую заварку переносили в сбивальную машину, добавляли яичный желток и массу взбивали до образования теста, из которого вручную формовали тестовые заготовки. Заварной полуфабрикат выпекали в лабораторной печи в течение 30–35 мин при температуре 190–220⁰ С

Органолептические свойства и плотность готовых изделий определяли в соответствии с ГОСТ 5897–90⁴, влажность — методом ГОСТ 5900–2014⁵.

Структуру стенок заварного полуфабриката анализировали методом рентгеновской томографии на установке GM Nanomex 180. Образцы помещались в пластиковую трубочку, где они практически не деформировались и не искривлялись в процессе вращения для накопления рентгеновских изображений, а сама трубочка являлась прозрачным для рентгеновского излучения материалом.

Анализ данных

Применяли статистический метод обработки экспериментальных данных, в ходе которого определяли среднее значение искомой величины из 3-х кратной повторности, среднееквадратическое отклонение и доверительный интервал при помощи программного пакета Microsoft Excel.

⁴ ГОСТ 5897–90. (2012). *Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей*. М.: Стандартинформ.

⁵ ГОСТ 5900–2014. (2019). *Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ*. М.: Стандартинформ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основной проблемой заварного полуфабриката является использование твердого жира и пшеничной муки с высокими требованиями к содержанию клейковины по количеству и качеству. Исходя из материалов научной литературы и опыта предыдущих работ, авторы предложили создание безглютенового заварного полуфабриката на основе продуктов переработки семян конопли. Возможность введения жидкого конопляного масла взамен твердого жира обеспечивали его предварительным капсулированием в оболочки из белково-полисахаридных смесей. Одновременно проверяли гипотезу, что биополимеры БПС могут влиять на структурирование белков конопляной и рисовой муки, формируя основу теста. За счет указанных корректировок в технологии, удалось получить тесто для заварного полуфабриката с необходимыми реологическими свойствами и готовое изделие с большой полостью внутри. В данном разделе представлены результаты исследования физико-химических и органолептических показателей заварного полуфабриката, полученных по новой технологии. Предварительно было установлено, что конопляную муку следует добавлять в смеси с рисовой мукой, поэтому в работе определяли оптимальное соотношение конопляной и рисовой муки в рецептуре изделия. Также анализировали эффективность белкового компонента в составе БПС. Полученные результаты позволили авторам выбрать наилучшую рецептуру заварного полуфабриката, когда качество изделия не уступает традиционному образцу. Учитывая инновационные решения в рецептуре и технологии заварного полуфабриката, авторы провели сравнительные томографические исследования образцов, приготовленных по разным технологиям, и попытались дать теоретическое объяснение процессам формирования структуры изделия в новых условиях.

Влияние продуктов переработки конопли и природы белка в БПС на физико-химические показатели заварного полуфабриката

Проведены исследования влияния доли конопляной муки в безглютеновой смеси, используемой взамен пшеничной муки, на качество заварного

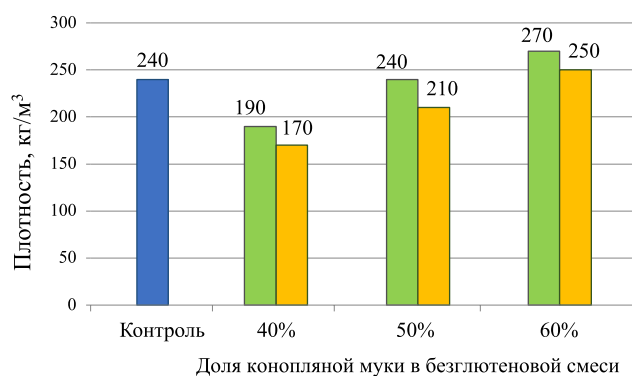
полуфабриката, приготовленного по новой технологии с капсулированным конопляным маслом. Стеновой материал для капсулирования был организован на основе БПС, в которых белками служили изолят белка сои или сухая молочная сыворотка, а полисахаридная часть включала альгинат натрия, пектин и натрий карбоксиметилцеллюлозу.

Доля конопляной муки в безглютеновых смесях составляла 40 %, 50 %, 60 %, остальное — рисовая мука. В качестве контроля служил заварной полуфабрикат, приготовленный по традиционной технологии и рецептуре на пшеничной муке и сливочном масле. Данные по плотности заварных полуфабрикатов, приготовленных по традиционной и новой технологиям, представлены на Рисунке 1.

Из данных Рисунка 1 видно, что плотность заварного полуфабриката, приготовленного по традиционной технологии с применением пшеничной муки и сливочного масла, составила 240 кг/м^3 . При введении в рецептуру заварного полуфабриката безглютеновой смеси с долей конопляной муки от 40% до 60% и эмульсионного геля в оболочках из БПС на основе молочной сыворотки наблюдается изменение плотности готового изделия в пределах от 190 кг/м^3 до 270 кг/м^3 . При замене СМС на изолят белка сои происходит небольшое снижение плотности с 170 кг/м^3 до 250 кг/м^3 . Следовательно, белки СМС оказывают более значимое влияние на плотность заварного полуфабриката.

Рисунок 1

Влияние доли конопляной муки в безглютеновой смеси на плотность заварного полуфабриката



Примечание: использованы БПС на основе молочной сыворотки (зеленый цвет) и изолята белка сои (желтый цвет)

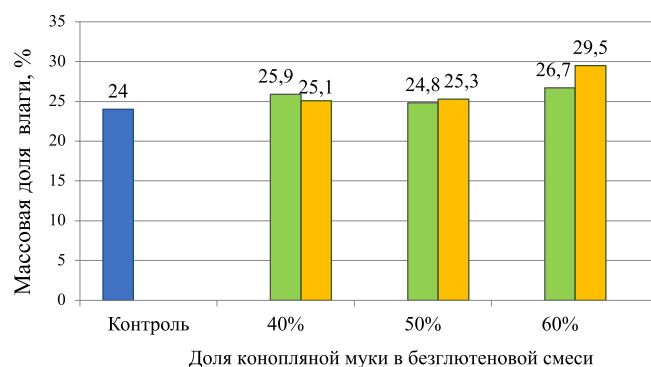
ката, чем ИБС. Для получения изделий, близких по плотности к контролю, количество конопляной муки в безглютеновой смеси должно составлять $50 \pm 5\%$. Это обеспечивает плотность изделия, равную 210 кг/м^3 на растительном белке (ИБС) или 240 кг/м^3 — на животном белке (СМС) в стеновом материале. Получены важные результаты, доказывающие, что в производстве заварного полуфабриката клейковину пшеничной муки можно полностью заменить белками стенового материала, конопляной и рисовой муки.

Экспериментальные данные по содержанию влаги в заварных полуфабрикатах, приготовленных по традиционной и новой технологиям, представлены на Рисунке 2.

Влажность контрольного заварного полуфабриката, приготовленного по традиционной технологии (Рисунок 2), составила 24,0%. При введении в заварной полуфабрикат безглютеновой смеси с долей конопляной муки от 40 % до 60 % и использовании в БПС сухой молочной сыворотки, влажность изделия варьировала в пределах от 24,8% до 26,7%. При замене белка СМС на изолят белка сои отмечалось небольшое повышение влажности — от 25,1% до 29,5%. Следовательно, ИБС оказывает более интенсивное влияние на влажность заварного полуфабриката, чем СМС. Ориентируясь на влажность контрольного образца, приходим к выводу, что содержание конопляной муки в безглютеновой смеси должно составлять

Рисунок 2

Влияние доли конопляной муки в безглютеновой смеси на влажность заварного полуфабриката



Примечание: использованы БПС на основе молочной сыворотки (зеленый цвет) и изолята белка сои (желтый цвет).

$50 \pm 5\%$, что по новой технологии обеспечивает влажность изделия 25,1% — на растительном белке (ИБС) и 24,8% — на животном белке (СМС). Сравнивая ИБС и СМС как важнейшие натуральные белки стенового материала и оценивая их влияние на плотность и влажность заварного полуфабриката, можно сделать вывод о большей эффективности СМС.

Влияние продуктов переработки конопли и природы белка в БПС на органолептические показатели заварного полуфабриката

На следующем этапе проведены исследования влияния конопляной муки и природы белков стенового материала капсулированного конопляного масла на органолептические показатели заварного полуфабриката (вкус, цвет, запах, внешний вид, форма, поверхность и другие). Для органолептической оценки были приготовлены два образца заварного полуфабриката по новой технологии, которые различались природой белка в стеновом материале (ИБС и СМС) для капсулирования конопляного масла. В опытных образцах доля конопляной муки в безглютеновой смеси составляла 50%, остальное — рисовая мука. В качестве контроля использовали заварной полуфабрикат, приготовленный традиционным способом. Контрольный и опытные образцы были предложены потенциальным потребителям для дегустации и оценки органолептических показателей. Результаты органолептической оценки заварного полуфабриката представлены в Таблице 1.

Данные Таблицы 1 показывают, что образцы заварного полуфабриката, приготовленные по технологии с использованием конопляной муки и капсулированного конопляного масла, получили высокие оценки по органолептическим показателям потенциальными потребителями. Эти изделия отличались более темной окраской поверхности, выраженным приятным вкусом и ароматом, а также гладкой, слегка шероховатой, поверхностью. Такие изменения органолептических свойств можно объяснить более интенсивным протеканием реакции Майяра, которая начинается на стадии капсулирования конопляного масла в термообработанный БПС, а затем продолжается на стадии приготовления мучной заварки и теста, а также на этапе выпечки готового изделия. Внешний вид и поперечный разрез опыт-

Таблица 1
Органолептическая оценка заварных полуфабрикатов, приготовленных по традиционной и новой технологии с использованием продуктов переработки конопли

Показатели качества изделия	Коэффициент значимости показателя	Число степеней качества	Оценка в баллах		
			Контроль	Опытные образцы, приготовленные с использованием конопляной муки и конопляного масла, на основе:	
				СМС	ИБС
Форма	1	1–3	2,5	2,6	2,6
Цвет и внешний вид	2	1–3	5,2	5,7	5,5
Структура и консистенция	3	1–3	6,1	6,5	6,4
Вкус и аромат	4	1–3	11,4	11,8	11,6
Суммарная оценка			25,2 ± 1,3	26,6 ± 1,3	26,1 ± 1,3

ных образцов заварного полуфабриката в сравнении с контролем представлены на Рисунке 3. На фотографиях видно, что опытные образцы больше по объему как целого изделия, так и внутренней полости для начинки; также видна более плотная и однородная структура стенки изделия.

Таким образом, введение конопляной муки и капсулированного конопляного масла в оболочках из БПС на основе различных по природе белков, оказывает положительное влияние на органолептические свойства заварного полуфабриката, улучшая цвет, вкус и аромат, форму и внутреннюю геометрию изделия.

Исследование структуры заварного полуфабриката методом рентгеновской томографии

Для объективной оценки изменения структуры заварного полуфабриката проводили томографические анализы структуры заварного полуфабриката на томографе GM Nanomex 180. В рамках работы были исследованы с помощью метода рентгеновской томографии три образца заварного полуфабриката — контрольный и два опытных. На Рисунке 4 показан срез томографического изображения образца, изготовленного по традиционной технологии и рецептуре. Можно увидеть, что в заварном

Рисунок 3
Внешний вид и разрез безглютеновых заварных полуфабрикатов, приготовленных по новой технологии с использованием конопляной муки и эмульсионного геля, в оболочках из БПС на основе изолята белка сои (В) и сухой молочной сыворотки (С), в сравнении с контролем (А).

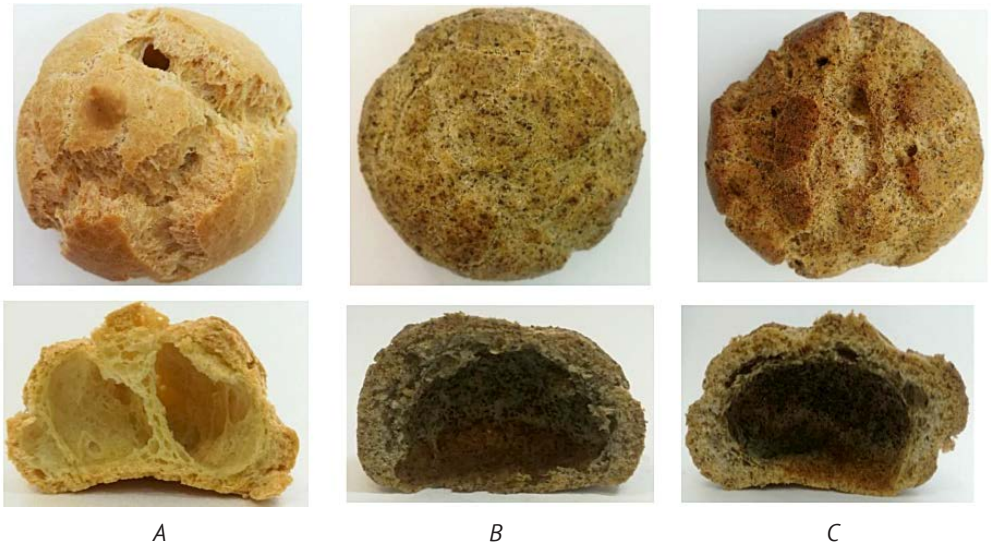
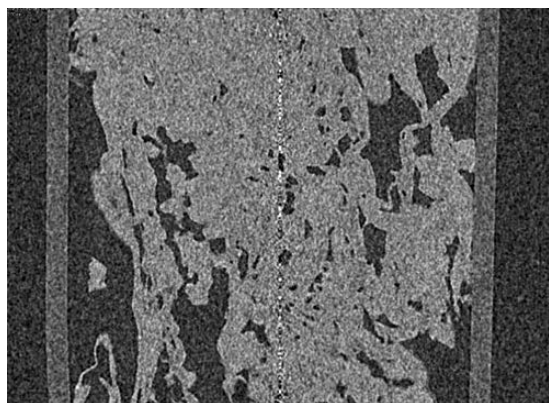


Рисунок 4

Срез томографического изображения заварного полуфабриката, приготовленного по традиционной технологии и рецептуре



полуфабрикате содержатся поры несферической формы.

На Рисунке 5 показаны срезы томографического изображения заварных полуфабрикатов, приготовленных по новой технологии с использованием в стеновом материале БПС на основе сухой молочной сыворотки (Рисунок 5А) и изолята белка сои (Рисунок 5В).

Так как образцы заварного полуфабриката являются мягким материалом и для помещения в трубки

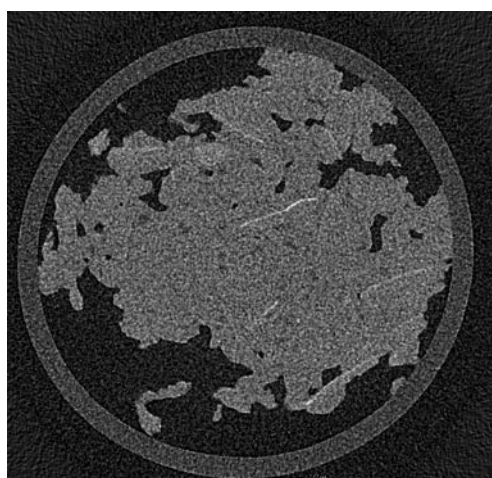
томографа были деформированы, то определение пористости не могло быть корректной величиной для измерения из-за изменения объема пор при деформации. В каждом образце можно увидеть уединенные, не связанные между собой небольшие поры, формирующие так называемую несвязную пористость, поэтому представлялось корректным определить количество таких несвязных пор в единице объема материала образцов.

В результате обработки полученных томографических изображений было определено, что в контрольном образце несвязных пор находится 14,5 шт. на кубический миллиметр, в образце с использованием в стеновом материале БПС на основе СМС — 2,29 шт. на кубический миллиметр, в образце — БПС на основе ИБС — 1,66 шт. на кубический миллиметр. Видно резкое уменьшение количества пор в образцах заварного полуфабриката по новой технологии, по сравнению с традиционной. Это указывает на уплотнение стенки изделия.

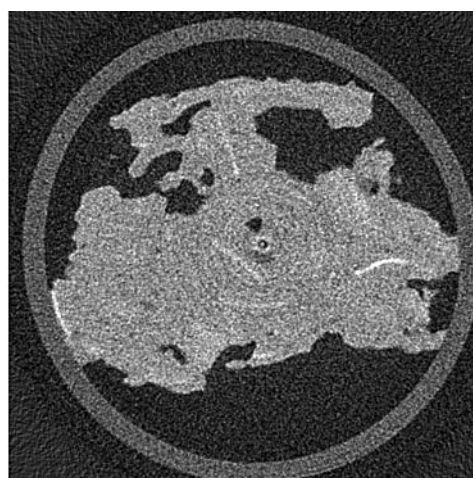
Белки муки и меланжа являются главными структурно-строительными материалами, которые обеспечивают образование полости внутри заварного полуфабриката **по традиционной технологии**. На стадии получения мучной заварки, когда в кипящий водно-масло-солевой раствор при перемешивании добавляют муку, происходит набухание биополимеров муки, при этом набухшие

Рисунок 5

Срез томографического изображения безглютеновых заварных полуфабрикатов, приготовленных по новой технологии и рецептуре



А



В

Примечание: использованы БПС на основе молочной сыворотки (А) и изолята белка сои (В)

зерна крахмала переходят в состояние клейстера, а белки пшеничной муки подвергаются денатурации и из глобулярной структуры разворачиваются в длинные гибкие фибриллы. На следующей стадии получения теста, когда в охлажденную мучную заварку при сбивании вводится меланж, происходит формирование из белков яйца амилоидных фибрилл. При этом ранее сформированные фибриллы из белков муки также оказывают влияние на доступные аминокислотные последовательности, склонные к агрегированию и образованию фибрилл из белков яйца. Процессы образования белковых фибрилл пшеничной муки и амилоидных фибрилл яичных белков были исследованы в модельных системах и описаны К. Янсенс с сотрудниками (Jansens et al., 2019). В ряде работ также сообщалось, что пшеничный глютен и другие растительные белки могут формировать волокнистые структуры с амилоидными фрагментами, обладающие функциональными свойствами, применимыми в пищевых технологиях (Cao & Mezzenga, 2019; Meng et al., 2022). Следует отметить, что соль и сливочное масло также сосредоточены на формирование длинных, гибких фибрилл из белков муки и яйца. Так, соль повышает температуру кипения водно-масло-солевого раствора, что улучшает термообработку белков муки, а сливочное масло в водно-солевом растворе образует эмульсию, что совершенствует процесс разворачивания и вытягивания белков муки и яйца в эластичные фибриллы. Таким образом, дисперсная система теста для заварного полуфабриката представляет собой прямую эмульсию, в которой сплошной средой является крахмальный клейстер, а дисперсной фазой — капельки масла, белковые фибриллы и полисахариды муки и меланжа.

Основными структурно-строительными материалами, которые участвуют в образовании полости внутри заварного полуфабриката **по новой технологии** являются белки конопляной и рисовой муки и протеины БПС. Основываясь на полученных в настоящей работе экспериментальных данных и выводах, сформулированных научной группой К. Янсенса (Jansens et al., 2019), авторы предлагают следующую модель образования структуры изделия. На стадии приготовления БПС изолят белка сои (или СМС) смешивают с водой и полисахаридами (альгинат натрия, пектин, натрий карбоксиметилцеллюлоза) для термообработки и набухания биополимеров. После набухания раствор БПС сбивают

до получения пенной массы. Затем в пенную массу вводят конопляное масло и при сбивании получают эмульсионный гель (капсулированное конопляное масло в оболочках из БПС). При этом белки ИБС (или СМС) образуют амилоидные фибриллы. Далее эмульсионный гель нагревают до кипения, добавляют соль, смесь конопляной и рисовой муки для получения заварки. При перемешивании происходит разворачивание и вытягивание глобулярных белков конопляной и рисовой муки в эластичные фибриллы. Амилоидные фибриллы из белков БПС также оказывают влияние на доступные аминокислотные последовательности, склонные к агрегированию для белков конопляной и рисовой муки. На следующей стадии охлажденную заварку смешивают с желтком яйца для получения теста. Таким образом, дисперсная система теста для заварного полуфабриката по новой технологии представляет собой также прямую эмульсию, в которой сплошной средой являлись не только крахмальный клейстер, но и полисахаридный гель БПС, а дисперсной фазой — капельки масла, белковые фибриллы из конопляной, рисовой муки и белковой основы БПС. Изменения в дисперсной системе теста для заварного полуфабриката по традиционной и новой технологиям хорошо отражаются в структуре стенок на снимках с томографа.

ВЫВОДЫ

Решена задача создания технологии безглютенового заварного полуфабриката для эклеров и профитролей, обогащенного питательными и биологически активными веществами продуктов переработки семян конопли. В результате проведенных исследований получены новые научные данные о функциональных свойствах продуктов переработки конопли и белково-полисахаридных смесей, играющих важную роль в производстве заварного полуфабриката для эклеров профитролей. Согласно разработанной технологии пшеничную муку полностью заменяют безглютеновой смесью из конопляной и рисовой муки в соотношении 50:50, а вместо твердого животного жира вносят конопляное масло, капсулированное в оболочки из белково-полисахаридных смесей. Установлен оптимальный состав БПС — белок получают из сухой молочной сыворотки (преимущественный вариант) или изолята белка сои, а полисахариды представлены комбинацией из альгината натрия,

пектина, натрий карбоксиметилцеллюлозы. Изделия, приготовленные на основе продуктов переработки конопли и БПС, имеют сформированную внутреннюю полость для начинки и характеризуются высокими органолептическими свойствами. В результате исследования структуры заварного полуфабриката методом рентгеновской томографии показано снижение количества несвязных пор в стенке корпуса изделия при переходе на новую технологию; благодаря этому стенка становится более однородной, плотной, формируется изделие правильной формы с гладкой поверхностью. Полученные результаты имеют прикладное значение, их можно использовать в промышленности, а также они расширяют сырьевые ресурсы растительного сырья для производства кондитерских изделий.

ЛИТЕРАТУРА

- Бутин, С. А., Васькина, В. А., & Щеголева, И. Д. (2022). Влияние полисахаридного комплекса в стеновом материале эмульсионного геля на качество шоколадно-ореховой начинки для кондитерских изделий. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), 173–187. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.303>
- Васькина, В. А., Кандроков, Р. Х., & Хайдар-Заде, Л. Н. (2021). Исследование влияния амарантовой муки и стенового материала инкапсулированного орехового масла на качество сырцовых пряников. *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук*, 59(2), 243–254. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-243-254>
- Гончарова, А. А., Ушаповский, В. И., & Миневич, И. Э. (2022). Влияние продуктов переработки семян конопли на потребительские свойства мучных кондитерских изделий. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 120–133. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.291>
- Монастырский, В. Е., & Васькина, В. А. (2018). Использование инкапсулированного растительного масла в производстве молочных конфет. *Кондитерское и хлебопекарное производство*, (9–10), 62–64.
- Aljada, B., Zohni, A., & El-Matary, W. (2021). The gluten-free diet for celiac disease and beyond. *Nutrients*, 13(11), Article 3993. <https://doi.org/10.3390/nu13113993>
- Aloo, S. O., Godfrey Mwiti, G., Ngugi, L.W., & Oh, D. (2022). Uncovering the secrets of industrial hemp in food and nutrition: The trends, challenges, and new-age perspectives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, Article 2149468. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2149468>
- Caio, G., Volta, U., Sapone, A., Leffler, D. A., de Giorgio, R., Catassi, C., Fasano, A. Celiac disease: A comprehensive current review. *BMC Medicine*, 17(1), Article 142. <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1380-z>
- Cao, Y., & Mezzenga, R. (2019). Food protein amyloid fibrils: Origin, structure, formation, characterization, applications and health implications. *Advances in colloid and interface science*, 269, 334–356. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.05.002>
- Djuricic, I., & Calder, P. C. (2021). Beneficial outcomes of omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids on human health: An update for 2021. *Nutrients*, 13(7), Article 2421. <https://doi.org/10.3390/nu13072421>
- Farinon, B., Molinari, R., Costantini, L., & Merendino, N. (2020). The seed of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.): Nutritional quality and potential functionality for human health and nutrition. *Nutrients*, 12(7), Article 1935. <https://doi.org/10.3390/nu12071935>
- Ghazani, M. S., & Marangoni, A. G. (2016). Healthy fats and oils. In Wrigley, C., Corke, H., Seetharaman, K., Faubion, J. (Eds.) *Encyclopedia of food grains* (pp. 257–267). Oxford: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.00100-1>
- Jansens, K. J., Lambrecht, M. A., Rombouts, I., Monge Morena, M., Brijs, K., Rousseau, F., Schymkowitz, R. J., & Delcour, J. A. (2019). Conditions governing food protein amyloid fibril formation—Part I: Egg and cereal proteins. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 18(4), 1256–1276. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12462>

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Васькина Валентина Андреевна — формулирование идеи; Разработка или проектирование методологии исследования, подготовка и создание рукописи, её комментирование или пересмотр.

Шаршунов Вячеслав Алесеевич — создание модели исследования; проведение экспериментов.

Машкова Ирина Анатольевна — проведение экспериментов; визуализация/представление данных.

Быков Александр Андреевич — проведение экспериментов.

Щеголева Ирина Дмитриевна — проведение экспериментов; подготовка и создание черновика рукописи, в частности написание первоначального текста рукописи.

- Lai, Q., Doan, N. T. T., & Nguyen, T. T. T. (2021). Influence of wall materials and homogenization pressure on microencapsulation of rice bran oil. *Food and Bioprocess Technology*, 14(10), 1885–1896. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02685-0>
- Leonard, M. M., Sapone, A., Catassi, C., & Fasano, A. (2017). Celiac disease and nonceliac gluten sensitivity: A review. *Jama*, 318(7), 647–656. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.9730>
- Li, Q., He, Q., Xu, M., Li, J., Liu, X., Wan, Z., & Yang, X. (2020). Food-grade emulsions and emulsion gels prepared by soy protein–pectin complex nanoparticles and glycyrrhizic acid nanofibrils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(4), 1051–1063. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b04957>
- Liliana, B. C., Livia, A., & Laura, M. (2018). Effects of hemp flour, seeds and oil additions on bread quality. *Journal of Engineering and Applied Science*, 8, 73–78. <https://doi.org/10.9790/9622-0805037378>
- Marangoni, A. G., & Garti, N. (Eds.). (2018). *Edible oleogels: Structure and health implications*. Elsevier.
- Martins, A. J., Cerqueira, F., Vicente, A. A., Cunha, R. L., Pastana, L. M., & Cerqueira, M. A. (2022). Gelation behavior and stability of multicomponent sterol-based oleogels. *Gels*, 8(1), Article 37. <https://doi.org/10.3390/gels8010037>
- Martins, A. J., Vicente, A. A., Cunha, R. L., & Cerqueira, M. A. (2018). Edible oleogels: An opportunity for fat replacement in foods. *Food & Function*, 9(2), 758–773. <https://doi.org/10.1039/C7FO01641G>
- Meng, Y., Wei, Z., & Xue, C. (2022). Protein fibrils from different food sources: A review of fibrillation conditions, properties, applications and research trends. *Trends in Food Science & Technology*, 121, 59–75. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.031>
- Mozaffarian, D., Katan, M. B., Ascherio, A., Stampfer, M. J., & Willett, W. C. (2006). Trans fatty acids and cardiovascular disease. *New England Journal of Medicine*, 354(15), 1601–1613. <https://doi.org/10.1056/NEJMra054035>
- Patel, A. R., Nicholson, R. A., & Marangoni, A. G. (2020). Applications of fat mimetics for the replacement of saturated and hydrogenated fat in food products. *Current Opinion in Food Science*, 33, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.008>
- Šmídová, Z., & Rysová, J. (2022). Gluten-free bread and bakery products technology. *Foods*, 11(3), Article 480. <https://doi.org/10.3390/foods11030480>
- Tan, C., & McClements, D. J. (2021). Application of advanced emulsion technology in the food industry: A review and critical evaluation. *Foods*, 10(4), Article 812. <https://doi.org/10.3390/foods10040812>
- Teterycz, D., Sobota, A., Przygodzka, D., & Łysakowska, P. (2021). Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) enriched pasta: Physicochemical properties and quality evaluation. *Plos One*, 16(3), Article e0248790. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248790>
- Turasan, H., Sahin, S., & Sumnu, G. (2015). Encapsulation of rosemary essential oil. *LWT-Food Science and Technology*, 64(1), 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.036>
- Zárate, R., el Jaber-Vazdekis, N., Tejera, N., Pérez, J. A., & Rodríguez, C. (2017). Significance of long chain polyunsaturated fatty acids in human health. *Clinical and translational medicine*, 6(1), Article e25. <https://doi.org/10.1186/s40169-017-0153-6>

REFERENCES

- Butin, S. A., Vaskina, V. A., & Shchegoleva, I. D. (2022). Vliyanie polisakharidnogo kompleksa v stenovom materiale emul'sionnogo gelya na kachestvo shokoladno-orekhovoi nachinki dlya konditerskikh izdelii [The effect of the polysaccharide complex in the emulsion gel wall material on the quality of chocolate-nut filling for confectionery]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (2), 173–187. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.303>
- Goncharova, A. A., Ushchapovskii, V. I., & Minevich, I. E. (2022). Vliyanie produktov pererabotki semyan konopli na potrebitel'skie svoystva muchnykh konditerskikh izdelii [The influence of hemp seed processing products on the consumer properties of flour confectionery products]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (3), 120–133. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.291>
- Monastyrskii, V. E., & Vaskina, V. A. (2018). Ispol'zovanie inkapsulirovannogo rastitel'nogo masla v proizvodstve molochnykh konfet [The use of encapsulated vegetable oil in the production of milk candies]. *Konditerskoe i khlebopekarnoe proizvodstvo* [Confectionery and Bakery Production], (9–10), 62–64.
- Vaskina, V. A., Kandrov, R. Kh., & Khaidar-Zade, L. N. (2021). Issledovanie vliyaniya amarantovoi muki i stenovogo materiala inkapsulirovannogo orekhovogo masla na kachestvo syrtsovykh pryanykov [Investigation of the influence of amaranth flour and the wall material of encapsulated nut butter on the quality of raw gingerbread]. *Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Agricultural Sciences], 59(2), 243–254. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-243-254>
- Aljada, B., Zohni, A., & El-Matary, W. (2021). The gluten-free diet for celiac disease and beyond. *Nutrients*, 13(11), Article 3993. <https://doi.org/10.3390/nu13113993>
- Aloo, S. O., Godfrey Mwiti, G., Ngugi, L.W., & Oh, D. (2022). Uncovering the secrets of industrial hemp in food and nutrition: The trends, challenges, and new-age perspectives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, Article 2149468. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2149468>

- Caio, G., Volta, U., Sapone, A., Leffler, D. A., de Giorgio, R., Catassi, C., Fasano, A. Celiac disease: A comprehensive current review. *BMC Medicine*, 17(1), Article 142. <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1380-z>
- Cao, Y., & Mezzenga, R. (2019). Food protein amyloid fibrils: Origin, structure, formation, characterization, applications and health implications. *Advances in colloid and interface science*, 269, 334–356. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2019.05.002>
- Djuricic, I., & Calder, P. C. (2021). Beneficial outcomes of omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids on human health: An update for 2021. *Nutrients*, 13(7), Article 2421. <https://doi.org/10.3390/nu13072421>
- Farinon, B., Molinari, R., Costantini, L., & Merendino, N. (2020). The seed of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.): Nutritional quality and potential functionality for human health and nutrition. *Nutrients*, 12(7), Article 1935. <https://doi.org/10.3390/nu12071935>
- Ghazani, M. S., & Marangoni, A. G. (2016). Healthy fats and oils. In Wrigley, C., Corke, H., Seetharaman, K., Faubion, J. (Eds.) *Encyclopedia of food grains* (pp. 257–267). Oxford: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.00100-1>
- Jansens, K. J., Lambrecht, M. A., Rombouts, I., Monge Morera, M., Brijs, K., Rousseau, F., Schymkowitz, R. J., & Delcour, J. A. (2019). Conditions governing food protein amyloid fibril formation—Part I: Egg and cereal proteins. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 18(4), 1256–1276. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12462>
- Lai, Q., Doan, N. T. T., & Nguyen, T. T. T. (2021). Influence of wall materials and homogenization pressure on microencapsulation of rice bran oil. *Food and Bioprocess Technology*, 14(10), 1885–1896. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02685-0>
- Leonard, M. M., Sapone, A., Catassi, C., & Fasano, A. (2017). Celiac disease and nonceliac gluten sensitivity: A review. *Jama*, 318(7), 647–656. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.9730>
- Li, Q., He, Q., Xu, M., Li, J., Liu, X., Wan, Z., & Yang, X. (2020). Food-grade emulsions and emulsion gels prepared by soy protein–pectin complex nanoparticles and glycyrrhizic acid nanofibrils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(4), 1051–1063. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b04957>
- Liliana, B. C., Livia, A., & Laura, M. (2018). Effects of hemp flour, seeds and oil additions on bread quality. *Journal of Engineering and Applied Science*, 8, 73–78. <https://doi.org/10.9790/9622-0805037378>
- Marangoni, A. G., & Garti, N. (Eds.). (2018). *Edible oleogels: Structure and health implications*. Elsevier.
- Martins, A. J., Cerqueira, F., Vicente, A. A., Cunha, R. L., Pastana, L. M., & Cerqueira, M. A. (2022). Gelation behavior and stability of multicomponent sterol-based oleogels. *Gels*, 8(1), Article 37. <https://doi.org/10.3390/gels8010037>
- Martins, A. J., Vicente, A. A., Cunha, R. L., & Cerqueira, M. A. (2018). Edible oleogels: An opportunity for fat replacement in foods. *Food & Function*, 9(2), 758–773. <https://doi.org/10.1039/C7FO01641G>
- Meng, Y., Wei, Z., & Xue, C. (2022). Protein fibrils from different food sources: A review of fibrillation conditions, properties, applications and research trends. *Trends in Food Science & Technology*, 121, 59–75. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.031>
- Mozaffarian, D., Katan, M. B., Ascherio, A., Stampfer, M. J., & Willett, W. C. (2006). Trans fatty acids and cardiovascular disease. *New England Journal of Medicine*, 354(15), 1601–1613. <https://doi.org/10.1056/NEJMra054035>
- Patel, A. R., Nicholson, R. A., & Marangoni, A. G. (2020). Applications of fat mimetics for the replacement of saturated and hydrogenated fat in food products. *Current Opinion in Food Science*, 33, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.008>
- Šmídová, Z., & Rysová, J. (2022). Gluten-free bread and bakery products technology. *Foods*, 11(3), Article 480. <https://doi.org/10.3390/foods11030480>
- Tan, C., & McClements, D. J. (2021). Application of advanced emulsion technology in the food industry: A review and critical evaluation. *Foods*, 10(4), Article 812. <https://doi.org/10.3390/foods10040812>
- Teterycz, D., Sobota, A., Przygodzka, D., & Łysakowska, P. (2021). Hemp seed (*Cannabis sativa* L.) enriched pasta: Physicochemical properties and quality evaluation. *Plos one*, 16(3), Article e0248790. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248790>
- Turasan, H., Sahin, S., & Sumnu, G. (2015). Encapsulation of rosemary essential oil. *LWT-Food Science and Technology*, 64(1), 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.036>
- Zárate, R., el Jaber-Vazdekis, N., Tejera, N., Pérez, J. A., & Rodríguez, C. (2017). Significance of long chain polyunsaturated fatty acids in human health. *Clinical and translational medicine*, 6(1), Article e25. <https://doi.org/10.1186/s40169-017-0153-6>

УДК 641.3:613.26:634.7

Информационные системы контроля и управления процессов дегидратации плодово-ягодного сырья

И. А. Бакин¹, С. В. Шилов², А. С. Мустафина³

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева

² ООО «Технологии Без Границ»

³ Кемеровский государственный университет

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Бакин Игорь Алексеевич

127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

E-mail: bakin@kemsu.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования

доступны по запросу

у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Бакин, И. А., Шилов, С. В., & Мустафина, А. С. (2023). Информационные системы контроля и управления процессов дегидратации плодово-ягодного сырья. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 163–176. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.277>

ПОСТУПИЛА: 26.01.2022

ПРИНЯТА: 01.03.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. Производственный процесс выработки конечной продукции пищевой промышленности требует соблюдения регламентированных параметров обработки сырья. Контроль определяющих параметров технологии позволяет обеспечить требования качества и безопасности. Повышение эффективности и конкурентоспособности предприятия достигается внедрением систем управления производством и цифровыми технологиями. Для снижения доли ручного сбора данных и автоматизированного управления технологическим циклом предложено использовать цифровые системы управления и мониторинга оборудования. Принимая во внимание, что качество переработки плодово-ягодного сырья напрямую связано с операциями термической обработки, необходимо обеспечить контроль и управление процессами на этих этапах.

Цель. Разработка концепции и обеспечение автоматизированной системы управления вакуумной дегидратации плодово-ягодного сырья, с реализацией алгоритмов управления в среде SIMATIC PCS7, с использованием программируемых логических контроллеров Siemens Simatic.

Материалы и методы. Объект исследования – система управления и автоматизации для вакуумной дегидратации плодов и ягод, имеющих твердый каркас и капиллярно-пористую структуру, с начальной влажностью до 90 %. В качестве методов исследования и реализации методологии управления информационной системы процессов дегидратации использована среда разработки Simatic WinCC. Исследования проводились на оригинальной конструкции сушильной установки. Определение эффективного коэффициента диффузии влаги и константы скорости сушки реализовывалось численными методами решением модели Аррениуса для неизотермических условий.

Результаты. Результатом анализа стал алгоритм изменения параметров технологического процесса дегидратации. Предложено для ускорения процессов обезвоживания применить пониженное давление в первые периоды сушки и последующий кондуктивный энергоподвод. Определены три цикла управления. Вначале осуществляется кондуктивный нагрев до 60 °С при атмосферном давлении. Далее камера сушки вакуумируется до давления 0,5 кПа и до 0,2 кПа. Установлена длительность предварительного прогрева для ягодного сырья – до 10 минут, второго цикла сушки – до 15 минут при температуре 35 °С. Продолжительность третьего цикла 20 минут, при температуре точки насыщения 22 °С. Сформулированы задачи управления процессами с использованием программируемых логических контроллеров Siemens Simatic. Описаны каналы управления и параметры регулирования для обеспечения сохранности биоактивных компонентов сырья.

Выводы. В среде проектирования Simatic WinCC реализованы модули с функциями: прием и передача значений параметров процесса сушки; визуальный контроль; конфигурирование и настройка параметров; принудительное изменение параметров; просмотр информации о регистрируемых в технологической системе событиях. Разработана система визуализации сушильного процесса. Реализованы операторские интерфейсы на панели управления Simatic HMI.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

дегидратация, SCADA, технологические параметры, плодовое сырье, средства мониторинга

Information Systems for Control and Management of Processes of Dehydration of Fruit and Berry Raw Materials

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy

² LLC «Technologies without Borders»

³ Kemerovo State University

CORRESPONDENCE:

Igor A. Bakin

Address: 49, Timiryazevskaya st., Moscow, 127434

E-mail: bakin@kemsu.ru

FOR CITATIONS:

Bakin, I. A., Shilov, S. V., & Mustafina, A. S. (2023). Information systems for control and management of processes of dehydration of fruit and berry raw materials. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 163–176. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.277>

RECEIVED: 26.01.2022

ACCEPTED: 01.03.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Igor A. Bakin¹, Sergey V. Shilov², Anna S. Mustafina³

ABSTRACT

Background. The production process of producing the final products of the food industry requires compliance with the regulated parameters of processing raw materials. The control of the defining parameters of the technology allows us to ensure the requirements of quality and safety. Increasing the efficiency and competitiveness of the enterprise is achieved by the introduction of production management systems and digital technologies. To reduce the share of manual data collection and automated control of the technological cycle, it is proposed to use digital control and monitoring systems of equipment. Taking into account that the quality of processing of fruit and berry raw materials is directly related to heat treatment operations, it is necessary to ensure control and management of processes at these stages.

Purpose. The purpose of the study is to develop the concept and provide an automated control system for vacuum dehydration of fruit and berry raw materials, with the implementation of control algorithms in the SIMATIC PCS7 environment, using programmable logic controllers Siemens Simatic.

Materials and Methods. The object of research is a control and automation system for vacuum dehydration of fruits and berries having a solid frame and a capillary-porous structure, with an initial humidity of up to 90 %. The Simatic WinCC development environment was used as methods of research and implementation of the management methodology of the information system of dehydration processes. The research was carried out on the original design of the drying unit. Determination of the effective moisture diffusion coefficient and the drying rate constant was realized by numerical methods by solving the Arrhenius model for non-isothermal conditions.

Results. The result of the analysis was an algorithm for changing the parameters of the dehydration process. It is proposed to use reduced pressure during the first drying periods and subsequent conductive power supply to accelerate the dehydration processes. Three control cycles are defined. Initially, conductive heating is carried out up to 60 °C at atmospheric pressure. Next, the dryer chamber is evacuated to a pressure of 0.5 kPa and up to 0.2 kPa. The duration of preheating for berry raw materials is up to 10 minutes, the second drying cycle is up to 15 minutes at a temperature of 35 °C. The duration of the third cycle is 20 minutes, at a saturation point temperature of 22 °C. The tasks of process control using programmable logic controllers Siemens Simatic are formulated. Control channels and control parameters are described to ensure the safety of bioactive components of raw materials.

Conclusions. In the Simatic WinCC design environment, modules with functions are implemented: receiving and transmitting the values of the drying process parameters; visual control; configuration and parameter adjustment; forced parameter change; viewing information about events registered in the technological system. A system for visualizing the drying process has been developed. Operator interfaces are implemented on the Simatic HMI control panel.

KEYWORDS

dehydration, SCADA, technological parameters, fruit raw materials, monitoring tools

ВВЕДЕНИЕ

В условиях перехода к цифровым производствам в отраслях АПК становится актуальной разработка и внедрение систем автоматического управления, SCADA комплексов и схем контроля технологическими процессами. Для технологий переработки сырья это позволяет оптимизировать основные влияющие параметры для достижения нужного уровня требований технологии (Школьников и соавт., 2018). Цифровые решения будущего АПК при системном подходе изменяют технологические процессы для повышения производительности, оптимизации и автоматизации перерабатывающих производств (Bakin et al., 2021).

Современные тенденции в области управления производственными процессами направлены на создание регулируемых и реконфигурируемых систем, на внедрение комплексов с минимальным вмешательством людей-операторов. Промышленные предприятия переходят к технологическим процессам с повышенной производительностью, гибкой настройкой и высокой экономической эффективностью. Сокращение ручного управления и эффективного мониторинга процессов реализуется путем отслеживания производственных этапов общей технологии и анализа данных в режиме реального времени непосредственно в цифровой системе, с получением соответствующей информации, используемой для организации контроля, прогнозирования и выбора оптимальных бизнес-процессов (Kiangala & Wang, 2019).

Внедрение промышленной автоматизации устраняет ручные рутинные операции, в том числе получение информации на рабочих местах и ее интерпретацию (Chen et al., 2020). Оперативный контроль и управление сокращают энергопотребление и увеличивают производительность. Повышение эффективности управления единичных производственных операций достигается оперативным сбором и передачей параметрических данных производственного оборудования и технологических процессов. В то же время точное прогнозирование параметров для управления требует проведения экспериментов и моделирования технологических процессов. Современные тенденции внедрения цифровых производств показывают

перспективность и актуальность комплексного управления технологией, обеспечиваемой мониторингом параметров и функциями автоматического регулирования на всех операциях.

Расширение функции автоматизации производства достигается объединением датчиков, исполнительных механизмов, микроконтроллеров и программного обеспечения в единую систему (Bolton, 2021). В соответствии со стандартом ISA-95¹ второй уровень контроля в иерархии программно-аппаратного комплекса сбора данных и диспетчерского контроля технологических процессов (SCADA) успешно и наименее затратно реализуется системами автоматизации на базе программируемых логических контроллеров (PLC). Однако несмотря на то, что системы автоматизации на базе контроллеров PLC успешно применяются в химической, машиностроительной отрасли, а также на участках дозирования, упаковки и розлива конечной продукции пищевой промышленности (Kiangala & Wang, 2019) в агропромышленном комплексе цифровые технологии и автоматизированные средства для мониторинга и управления процессами первичной переработки растительной и плодовой продукции не получили широкого распространения, используются частично, в основном для отдельных операций. С учетом этого, исследование и разработка автоматизированных технологий и практических рекомендаций по использованию цифровых систем для процессов переработки плодово-ягодного сырья является актуальной задачей.

Производственные процессы перерабатывающих отраслей АПК являются динамическими и многопараметрическими. Характеристики и свойства сырья изменяются как на входе в цепи поставок, так и во времени, в процессах переработки. При хранении и созревании сырья происходят физические и биохимические процессы, влияющие на органолептические и показатели качества, внешний вид, пищевую ценность. Первичная обработка сельскохозяйственного сырья, содержащего значительное количество влаги, является эффективным способом снижения потерь и пищевых отходов. Дегидратация позволяет увеличить хранимоспособность и транспортабельность продукции, сохранить внешний вид, вкус и пищевую ценность. Традиционно при удалении влаги используется конвективный

¹ ANSI/ISA-95.00.05–2013 *Enterprise-Control System Integration*. (2013). <https://www.isa.org/>

способ энергоподвода, однако при этом возникают потери активных компонентов, ухудшение показателей качества. Под воздействием высоких температур вместе с диффузией влаги происходит перенос растворенных веществ из глубины к поверхности сырья. Рекомендовано для предотвращения указанных нежелательных явлений дегидратацию рекомендуется проводить в контролируемых режимах. Установлено, что управление параметрами процесса напрямую связано с их эффективностью, экономичностью и качеством сырья (Maytakov et al., 2018).

Перспективным решением для сохранности биоактивных компонентов при обработке сырья является использование процессов вакуумной низкотемпературной дегидратации. Использование вакуума приводит к повышению капиллярной диффузии влаги в пористой структуре растительного сырья, отводу воздушных прослоек и в целом интенсификации процесса массопереноса. Изучение кинетики обезвоживания овощей показало повышение осмотических процессов переноса влаги за счет применения пониженного давления в первые минуты сушки и последующего импульсного вакуумирования (Junqueira et al., 2021). Сравнительный анализ энергетических затрат, проведенный для двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки показал преимущество способа, сочетающего фазы прогрева, вакуумирования и вакуумной дегидратации, при уменьшении энергоемкости на 40 % (Иванова и соавт., 2021). В тоже время возникает техническая задача по обеспечению подвода энергии в сушильную установку в целом и в разные периоды сушки.

Удаление влаги из воздуха в сушильной камере происходит на конденсаторе холодильной установки. Конденсационное осушение сушильного агента было предметом исследования многих работ (Cong et al., 2008; Wawrzyniak et al., 2017; Jian et al., 2021; Krishna & Abhijit, 2012). Однако полученные аналитические модели и рекомендации по организации процесса дегидратации основывались на ряде упрощающих допущений, таких как однородность объекта сушки, стационарное распределение влаги и теплоты, изотермические параметры материала и воздуха. Нерешенными остаются вопросы организации процесса дегидратации применительно к конкретному виду растительного сырья, обеспечение эффективного энергоподвода, в частности для неизотермических условий.

Возможным решением повышения эффективности энергоподвода может стать непосредственный способ передачи энергии от нагревателей к поверхности сырья при кондуктивном обогреве. Для групп растительного сырья исследователями (Wawrzyniak et al., 2017) показано преимущество этого способа для быстрого прогрева и сохранения полезных свойств. Опытным путем подтверждено, что вакуумная дегидратация имеет преимущества в меньшей длительности обработки и минимизации потерь активных компонентов. Эта технология также обеспечивает лучшие физико-химические и органолептические показатели (Xu et al., 2021). Исследователями установлено, что интенсивный нагрев сырья следует проводить в определенной последовательности изменения параметров. Так как определяющим фактором в технологии становится контроль параметров обработки при дегидратации, необходимо проведение исследований по организации сушильного процесса и разработке алгоритма изменения влияющих параметров.

Проведение исследований по определению условий дегидратации, при возможности сокращения времени процесса и улучшения конечного качества высушенного плодово-ягодного сырья, актуально для перерабатывающих отраслей. Опыт исследователей и практические разработки показывают перспективность использования вакуума и импульсного энергоподвода в процессе влагоотвода для сокращения потерь активных компонентов и деградации показателей качества сырья. Решение задачи обеспечения энергоэффективности и повышения скорости процесса основано на использовании информационных систем с интеллектуальным управлением технологическими процессами.

Цель данного исследования: разработка концепции и обеспечение автоматизированной системы управления вакуумной дегидратации плодово-ягодного сырья, с реализацией алгоритмов управления в среде SIMATIC PCS7, с использованием программируемых логических контроллеров Siemens Simatic. Предложена гипотеза, заключающаяся в том, что оптимизацию процесса управления необходимо проводить по контрольным значениям параметров формирования показателей качества сырья и продукции.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Технологические процессы дегидратации, как объекты контроля и управления, являются динамической системой, восприимчивой к внешним изменениям, влияние которых можно определить эмпирическим путем (Bakin et al., 2021). Процессы сушки растительного сырья являются ключевыми для обеспечения хранения, логистики, эффективности использования ресурсов и определяют свойства конечных пищевых систем.

В процессе влагоудаления в период падающей скорости сушки интенсивность десорбции и теплообмена уменьшаются вследствие проявления термовлагопроводности. В этот период времени значительно повышается температура сырья. При наступлении состояния равновесной влажности, когда парциальное давление паров влаги на поверхности объекта и в окружающем пространстве уравниваются, интенсивность испарения становится равной нулю. На практике, для продолжения десорбции для большинства объектов сушки увеличивают температуру сушильного агента (Сафин и соавт., 2016; Федоренко и соавт., 2020). В случае с плодово-ягодным сырьем это приводит к нежелательным эффектам: уплотнению поверхности, с последующим изменением формы; высокотемпературной дегградации с реакциями карамелизации и меланоидинообразования; окислению полифенольных веществ (Paramanandam et al., 2021).

Предотвратить негативные воздействия, характерные для конвективного подвода теплоты, предложено путем реализации процесса дегидратации в условиях вакуумной низкотемпературной сушки. Создание давления вакуума в основном периоде сушки увеличивает движущую силу при повышении влагопроводности и позволяет снизить температуру процесса. Перемещение влаги с поверхности сырья возрастает вследствие уменьшения парциального давления паров в сушильной камере. Диффузия влаги и воздуха из пор каркаса растительного сырья обуславливается термодиффузией и бародиффузией.

Градиент влагопроводности для растительного сырья в тонком слое, в радиальном направлении,

может быть описан на основе второго закона Фика (Crank, 1979) в виде выражения (1)

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla[D_{\text{eff}}(\nabla M)], \quad (1)$$

где M — влагосодержание в сырье (г воды / г сухого твердого вещества); t — продолжительность дегидратации (с); D_{eff} — эффективный коэффициент диффузии влаги ($\text{м}^2/\text{с}$).

Аналитическое решение уравнения (1) (Crank, 1979; Mulet, 1994) для коэффициента влагосодержания MR (*moisture ratio*) для тел с развитой поровой структурой, при рассмотрении нестационарного процесса, без учета эффектов переноса влаги под действием градиентов температур, описывается в виде уравнения (2):

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{6}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-n^2 \pi^2 \frac{D_{\text{eff}} \times t}{R_{\text{eq}}^2}\right), \quad (2)$$

где M_0 — начальное влагосодержание, (г воды / г сухого твердого вещества); M_e — равновесное влагосодержание, (г воды / г сухого твердого вещества); R_{eq}^2 — эквивалентный размер плодово-ягодного сырья (м); n — положительное целое число.

Перенос влаги путем влагопроводности предложено находить, исходя из предположения, что скорость её удаления пропорциональна переносу влаги за счет десорбции с поверхностного слоя сырья. Аппроксимация адаптированной модели десорбции (2) описана в виде экспоненциального выражения (Phoungchandang & Woods, 2000):

$$MR = \exp(-(Kt)^N), \quad (3)$$

где K — константа сушки, N — показатель уравнения сушки.

Исследователями (Xie et al., 2017) показано, что значение эффективного коэффициента диффузии влаги в уравнении (2) успешно находится по модели Аррениуса. Метод основан на определении постоянной сушки K при варьировании параметров процесса (температуры материала и его влагосодержания).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект

Объект исследования — система управления и автоматизации для вакуумной дегидратации плодов и ягод, состоящих из твердого каркаса и имеющих капиллярно-пористую структуру, с начальной влажностью до 90%.

Методы и инструменты

Аналитическое определение параметров процесса вакуумной дегидратации основано на решении математической модели Аррениуса для неизотермических условий. Численное решение модели реализовывалось на ЭВМ в разработанном программном комплексе (Bakin et al., 2012).

Методология исследования основана на аналитическом определении основных параметров процесса вакуумной дегидратации, путем решения модели Аррениуса для неизотермических условий. Численное моделирование параметров термовлагопроводности, реализованное на ЭВМ, положено в основу создаваемого алгоритма управления процессом дегидратации. Достоверность результатов обеспечивалась использованием при моделировании фундаментальных уравнений тепломассопереноса, сопоставлением и согласованием результатов расчета с известными данными. Для найденных параметров предложены практические решения управления сушильной установкой для вакуумной дегидратации плодов и ягод с использованием программируемых логических контроллеров.

Оборудование

Практическая реализация сформулированного алгоритма управления параметрами и разработка информационной системы контроля и управления технологическими процессами дегидратации проводились на базе ООО «Технологии Без Границ» г. Бийск. Техническое решение технологии вакуумной дегидратации реализовано в виде устройства «Сушильная камера для сушки пищевых продуктов»,

состоящей из герметичной вакуумируемой камеры с крышкой. Подвод теплоты производился от нагревательной рубашки с жидким теплоносителем, циркулирующим под поверхностью сушильного стола. Датчики для сбора информации в реальном времени (температуры и давления) располагались на поверхности крышки и сушильного стола. Вакуумное оборудование состояло из вакуумного и водокольцевого насосов, клапанов управления давлением (Патент № 200436, 2020²).

Процедура исследования

Реализация схемы пропорционально-интегрального управления с обратной связью процессов дегидратации проводилась с использованием компонентов систем автоматизации PLC. Данная методология основана на управлении исполнительных механизмов, соединенных шлюзами с центральной системой программного обеспечения, по сигналам реагирования на изменение параметров процесса от датчиков и сенсорных устройств (Roblek et al., 2016). Стратегия управления, применительно к процессам дегидратации, на основе PLC глобальных производителей описана в технических решениях (Junqueira et al., 2021; Majstorovic et al., 2021).

Функциональная интегрированная система реализовывалась аппаратными PLC компании Simatic системы управления производством Siemens AG.³ Интерфейс компонентов приводов и датчиков обеспечивался по протоколу PROFIBUS (шины AS-интерфейс), стандартизированному компанией Siemens AG. Разработка интерфейсов SCADA-системы производилась в среде TIA (Totally Integrated Automation) Portal. Графическое отображение параметров производственного процесса, отрисовка мнемосхем и динамических объектов проектировалось для использования виртуального HMI комплекса и аппаратных панелей оператора (KP8F key panels) Simatic HMI.

Исследование функционирования устройства проводилось при последовательных циклах обработки сырья и определении параметров и циклов управления устройством. Вначале осуществлялся подъем

² Платицын, А. А., & Шилов, С. В. (2020). РФ Патент № 200436. Сушильная камера. М.: Технологии Без Границ.

³ Distributed Control System SIMATIC PCS 7. <https://mall.industry.siemens.com>

крышки со световой и звуковой индикацией. Далее, после загрузки сырья по уровню оператором, производился запуск процесса дегидратации. На следующих этапах последовательно реализовывались автоматические операции: закрытие крышки пневматической системой; вакуумирование рабочей камеры; кондуктивный нагрев стола с материалом; создание дополнительного разрежения и отвод паров влаги в вакуумную магистраль; отключение энергоподвода и выравнивание давления в камере до атмосферного; сигнализация об окончании обработки. Открытие камеры выполнялось при окончании запрограммированного цикла обработки и дополнительной проверки условий достижения необходимой влажности продукции. На всех этапах сигналы от контрольно-измерительных приборов установки регистрировались и сравнивались с заданными установками управляющего контроллера. Совокупность управляющих воздействий и контролируемых параметров процесса, их взаимосвязь находились для конкретной группы растительного сырья по результатам аналитических и эмпирических исследований.

Анализ данных

Статистическая обработка экспериментальных данных по кинетике процесса вакуумной дегидратации, по средним значениям из трех повторностей, проводилась с использованием программ StatSoft Statistica и MS Excell. Достоверность результатов обеспечивалась использованием фундаментальных уравнений тепломассопереноса, сопоставлением и согласованием результатов расчета с данными исследователей по сушке в условиях кондуктивного энергоподвода (Cong et al., 2008).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования определялись основные параметры, влияющие на ход процесса вакуумной дегидратации. Далее найденные значения положены в разрабатываемый алгоритм управления сушиль-

ной установкой. Практическая реализация по разработке SCADA-системы мониторинга и управления процессами переработки плодово-ягодного сырья выполнялась с использованием контроллеров PLC.

Определение управляющих параметров процессов гидратации и теплообмена

На первом этапе определялись управляющие воздействия, от которых зависит изменение качественных показателей сырья в ходе технологических операций дегидратации: заданная последовательность длительности циклов нагрева, диапазонов варьирования температуры сырья и остаточного давления в сушильной камере. Сделано допущение, что величина давления вакуума, как и количество отводимых паров, практически не изменяется во всех рабочих периодах дегидратации. На практике это обеспечивается параллельной установкой вакуумного и водокольцевого насосов в спроектированной установке и подключением их в заданной последовательности.

Значение коэффициента D_{eff} в выражении (2) находилось по уравнению Аррениуса, в зависимости от температуры и характеристик высушиваемого сырья. Метод определения D_{eff} по численным значениям коэффициентов наклона, полученным путем графического дифференцирования кривых сушки плодового сырья $\ln MR$, основан на работе (Alves-Filho et al., 1997). Расчетная зависимость эффективного коэффициента диффузии влаги имеет вид:

$$D_{\text{eff}} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right), \quad (4)$$

где D_0 — предэкспоненциальный множитель уравнения Аррениуса ($\text{м}^2/\text{с}$); E_a — энергия активации (кДж/моль), R — газовая постоянная ($8,31 \text{ кДж/моль} \cdot \text{К}$) и T — температура процесса (град Кельвин).

Для автоматизации процедуры расчета значений коэффициентов диффузии и влагосодержания (MR), при варьировании параметров дегидратации и размеров плодово-ягодного сырья разработана программа для ЭВМ⁴.

⁴ Бакин, И. А., Мустафина, А. С., Ащеулов, А. С., Кобзев, Ю. Н. & Ащеулова, А. С. (2012). Программа для ЭВМ 2012614315. Программа для расчета коэффициента молекулярной диффузии растительного сырья. Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности.

На следующем этапе изучены кинетические закономерности процессов теплообмена. В разработанной установке подвод теплоты к материалу осуществляется за счет кондукции через поверхность сушильного стола. Кондуктивный обогрев обеспечивает возможность отвода образующихся паров влаги при пониженном давлении, в отличие от конвективного способа нагрева. Инерционное изменение лимитирующих параметров в толще материала, вызванное изменением его теплофизических свойств, обуславливает необходимость оперативного управления величиной подводимой тепловой энергии. Достигается это изменением расхода теплоносителя в рубашке кондуктивного нагрева. Трансфер тепловой энергии в процессе подвода теплоты в неизотермических условиях с достаточной точностью определяется следующим уравнением (Шахов и соавт., 2014):

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = k \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \beta \cdot (T - T_0), \quad (5)$$

где T — температура материала в измеряемой точке (град Кельвин); x — координата по толщине продукта (м), $x \in [0; l]$; l — толщина слоя (м); k — коэффициент температуропроводности ($\text{м}^2/\text{с}$); β — коэффициент теплопоглощения; T_0 — температура процесса сушки (град Кельвин).

Результаты численного решения дифференциальных уравнений (1) и (5) в виде полученного массива данных по изменению параметров процесса положены в алгоритм управления процессом дегидратации. Начальные параметры, характеристики сырья, значения теплофизических коэффициентов и условия протекания процесса для конкретного продукта определялись эмпирическим путем. Полученные результаты по кинетике процесса сушки в виде рассчитанных значений величин влагосодержания в сырье (MR) в определенный момент времени качественно соотносятся с известной теорией сушки (Wawrzyniak et al., 2017).

Характер кривых сушки, по которым происходит изменение (уменьшение) MR по экспоненциальным зависимостям, является аналогичным ранее полученным в работе (Phoungchandang & Woods, 2000).

Исследование кинетики процессов дегидратации

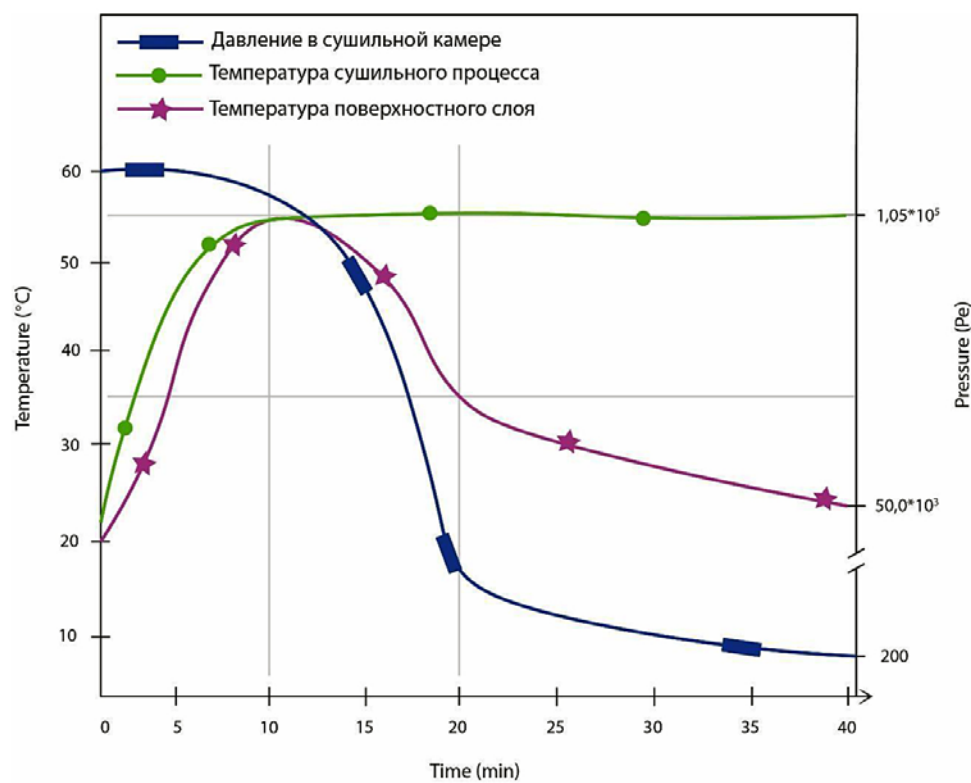
В соответствии с выделенными периодами процесса дегидратации определены три цикла управления.

Первый этап характеризуется удалением свободной влаги, далее выделен этап удаления связанной влаги. Для повышения скорости диффузии влаги в этот период необходимо уменьшить давление в камере аппарата. Реализация управляющего воздействия на величину давления в этом цикле обуславливает уменьшение температуры сырья до температуры точки насыщения вследствие фазового перехода влаги. Данное явление объясняется тем, что поток теплоты, поступающий в материал за счет теплопроводности от поверхности сушильного стола, расходуется в большей степени на испарение влаги в условиях пониженного давления. Данное предположение и результаты расчетов коэффициента MR в программе для ЭВМ хорошо согласуются с данными известных исследований (Cong et al., 2008). В тоже время необходимо учитывать дополнительный поток теплоты, подводимый от кондуктивной поверхности сушильного стола, с температурой равной 60°C . Для предотвращения явления сорбции влаги на поверхности сырья, имеющего более низкую температуру (35°C) необходимо понизить давление на третьем цикле. Произведен расчет параметров для третьего цикла и определены контролируемые параметры для варианта, когда начальная температура сырья составляет 20°C . Предложенная последовательность циклов дегидратации для плодово-ягодного сырья показана на графике (Рисунок 1).

Согласно разработанному алгоритму параметрами управления являются продолжительность нагрева, температура сырья в поверхностном слое, расход теплоносителя (температура поверхности стола). Вначале осуществляется кондуктивный нагрев (температура поверхности 60°C , продолжительность 10 минут) подготовленного сырья при атмосферном давлении. В этот момент происходит перераспределение концентрации влаги к поверхностной диффузионной зоне. При удалении от зоны нагрева в сырье проявляется термодиффузионный фактор, наблюдается отрицательный концентрационный градиент.

Рисунок 1

Алгоритм изменения параметров технологического процесса дегидратации



В процессе сушки, с уменьшением влагосодержания материала, количество диффундирующего пара уменьшается. В этом случае необходимо повышать перепад давлений в камере и парциального давления паров в порах сырья. На втором цикле камера сушилки вакуумируется до давления 0,5 кПа, в результате чего градиенты влажностности выравниваются, диффузионный поток можно считать стационарным. Продолжительность второго цикла ограничивается наступлением периода падающей скорости сушки. Для изученного ягодного сырья длительность второго периода сушки — до 15 минут при температуре от 55 °С до 35 °С. На третьем цикле, после включения водокольцевого вакуумного насоса, происходит понижение остаточного давления до 200 Па. В этих условиях водяной пар диффундирует из поровых каналов и удаляется из камеры аппарата. Температура продукта при этом понижается до температуры точки насыщения, равной 22 °С. Продолжительность третьего цикла, достаточная для достижения коэффициента влажности MR , соответствующего равновесному влагосодержанию до 5 %, составляет до 20 минут. По окончании циклов обработки происходит выравнивание давления до атмосферного при пре-

кращении нагрева (перекрытие подачи теплоносителя в рубашки стола).

Разработка SCADA-системы управления

Однородные способы управления полученными данными реализованы с использованием программируемых логических контроллеров Siemens Simatic. Модуль контроля состояния сушильной установки обеспечивает прием и передачу значений параметров процесса сушки для визуального контроля оператором. Кроме того, решались задачи ручного конфигурирования и настройки параметров технологического процесса, с возможностью принудительного изменения параметров управляющим персоналом в случае обработки другого вида сырья. Предусмотрено архивирование текущих параметров мониторинга и управления, запись корректирующих действий оператора. В SCADA-системе реализован доступ к единой базе данных параметрами обработки для различных видов сырья.

Точная адаптация нелинейного управления параметрами кондуктивного энергоподвода процесса

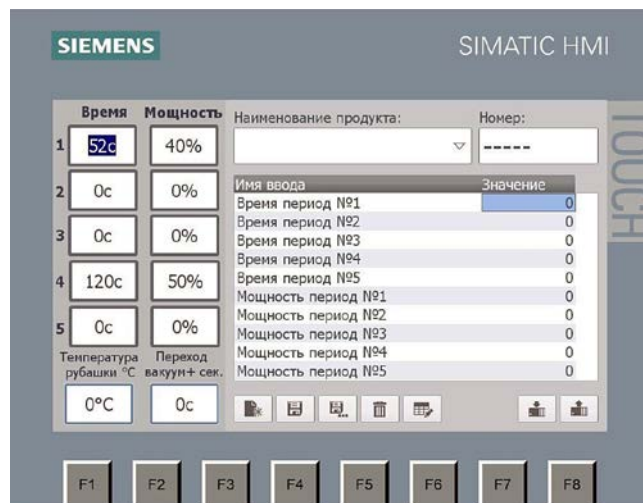
дегидратации оказалась возможной благодаря использованию контроллеров с пропорционально интегральной производной. Состояние дискретных сигналов модулей нагрева через интерфейсные модули передаются к PLC, далее по схеме регулирования производится управлением переменными параметрами температуры стола и расхода теплоносителя. Общий подход к выбору элементов системы согласуется с рекомендациями для моделирования PLC (Bolton, 2021). Программный модуль системами кондуктивного нагрева поверхностей и вакуумирования камеры показан на схеме (Рисунок 2).

Учитывая термолабильность объектов сушки, разработаны функции отключения кондуктивного нагрева при превышении температурных параметров процесса в нештатных ситуациях. Программный модуль предусматривает режим отключения, если любой из контролируемых параметров выходит за заданные пределы. В этой ситуации на панель оператора выводится экран «Процесс сушки невозможен»), а PLC переходит в режим ожидания.

Функции управления и мониторинга сушильного процесса реализованы с отображением информации на панели управления Simatic HMI. Интерфейс для организации человеко-машинного интерфейса для экрана оператора при программировании ме-

Рисунок 3

Операторский интерфейс ввода установок на панели управления SIMATIC HMI

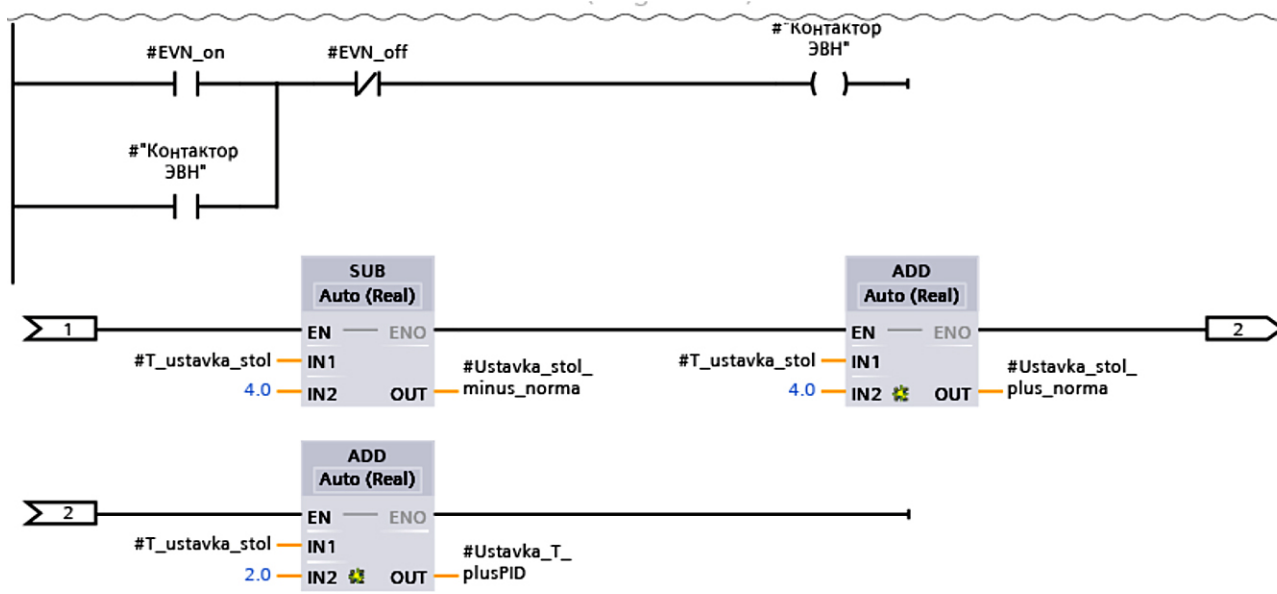


тодом ручной настройки установок технологического процесса показан на Рисунке 3.

В соответствии с поставленной задачей создания интеллектуальной системы управления, реализована возможность ввода параметров процесса оператором в среде Simatic WinCC, либо непосредственно с экрана управления. Параметры сохраняются в системе управления базой данных. На

Рисунок 2

Схема регулирования температуры процесса



экранах панели оператора реализованы функции мониторинга и диалоговые окна ввода управляющих параметров дегидратации. Концепция организации коммуникаций в киберфизической системе (Majstorovic et al., 2021), допускающая участие человека для организации новых технологических циклов, согласуется с реализованным в программе модульным выбором типа обрабатываемого сырья, вводом и коррекцией параметров технологического процесса для переработки других видов, либо изменения партии сырья.

Использование вакуумно-импульсной дегидратации создает чередование циклов расширения и сжатия заземленного водяного пара в порах сырья, что за счет гидродинамических механизмов переноса увеличивает общий массоперенос (Сафин, 2016). В исследовании показано, что увеличение значений эффективного коэффициента диффузии, установленное при решении модели Аррениуса, объясняет уменьшение продолжительности процесса вакуумной дегидратации. В тоже время найденные параметры управления процессом справедливы для неизотермических условий, следовательно, в дальнейшем необходимы исследования для нахождения условий обработки при постоянных температурах. В настоящее время для автоматизации операций и технологий переработки растительного сырья ограничено используются комплексы и системы SCADA. Показанное применение системы мониторинга и управления процессами сушки ягодного сырья может служить примером повышения эффективности технологических процессов при внедрении интеллектуальных систем автоматического управления. Результаты моделирования переноса влаги путем влагонепроводности, количественные параметры процессов дегидратации, могут быть воспроизведены и использованы в смежных отраслях промышленности, таких, как сушка лекарственного и овощного сырья. Авторы рекомендуют полученные количественные результаты моделирования и схемы управления в качестве успешных примеров подхода к автоматизации производственных процессов и использования цифровых технологий.

ВЫВОДЫ

Показатели качества при переработке плодово-ягодного сырья напрямую зависят от соблюдения регламентированных параметров технологии. В ходе термических операций сохранность ценных компонентов определяется температурой и продолжительностью обработки. Цифровые системы управления и мониторинга оборудованием снижают долю человеческого вмешательства и обеспечивают автоматизированное управление технологическим циклом. В исследовании, для понижения температуры и повышения эффективности процесса изучен способ вакуумной дегидратации.

Разработка алгоритма изменения параметров технологического процесса дегидратации основана на решении модели Аррениуса для неизотермических условий. Определение эффективного коэффициента диффузии влаги и константы скорости сушки реализовывалось численными методами в разработанном программном обеспечении.

Предложенные циклы управления процессом дегидратации, при чередовании которых изменяется степень теплоподвода и давление вакуума, могут рассматриваться как энергоэффективные. Установлено, что кондуктивный нагрев ягодного сырья до 60 °С при давлении до 0,5 кПа, значительно уменьшает продолжительность регидратации. Рекомендованные управляющие параметры процессов дегидратации и теплообмена могут использоваться для других групп растительного сырья, позволяют увеличить скорость сушки и уменьшить потребление энергии в сравнении с традиционными методами.

С использованием цифровых решений в области автоматизации промышленных процессов разработана информационно-коммуникационная система управления процессами вакуумной низкотемпературной сушки пищевых систем. Разработанная системная архитектура обеспечивает автоматическое регулирование температуры и давления на базе контроллеров Siemens Simatic в сушильной камере, передачу сигналов и операторский контроль. В среде проектирования SIMATIC WinCC разработана система визуализации сушильного процесса. Программная и аппаратная часть системы дегидратации могут использоваться в перерабатывающих отраслях АПК и других технологиях для реализации процессов дегидратации термолабильного сырья.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Бакин Игорь Алексеевич — формулирование исследовательских целей и задач, разработка или проектирование методологии исследования, подготовка и создание рукописи, её комментирование или пересмотр, ответственность за управление и координацию.

Шилов Сергей Викторович — проведение исследовательского процесса, в частности, проведение экспериментов.

Мустафина Анна Сабирдзяновна — подготовка и создание черновика рукописи, в частности написание первоначального текста рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

- Иванова, Э. С., Родионов, Ю. В., & Зорина, О. А. (2021). Инновационные конструкции и технологии сушки плодовоовощной продукции. *Наука в центральной России*, (1), 43–53. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-1-43-53>
- Сафин, Р. Р., Хасаншин, Р. Р., Гараева, А. Ф., & Ахметов, А. И. (2016). Вакуумно-конвективная сушка измельченного растительного сырья. *Вестник технологического университета*, (19), 63–67.
- Федоренко, И. Я., Землянухина, Т. Н., Шилов, С. В., & Орлова, Н. А. (2020). Обоснование параметров конвективно-вакуумной сушки растительного сырья. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, (11), 120–125.
- Шахов, С. В., Мосолов, Г. И., & Барыкин, Р. А. (2014). Разработка вакуум-сублимационной сушки для обезвоживания жидких продуктов. *Вестник международной академии холода*, (3), 58–60.
- Школьников, М. Н., Бакин, И. А., Мустафина, А. С., & Алексенко, Л. А. (2018). Оптимизация процессов получения экстрактов фитобиотических фармсубстанций ягодного сырья. *Техника и технология пищевых производств*, 48(4), 121–130. <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-4-121-130>
- Alves-Filho, O., Strommen, I., & Thorbergsen, E. (1997). A simulation model for heat pump dryer plants for fruits and roots. *Drying Technology*, 15(5), 1369–1398. <http://doi.org/10.1080/07373939708917299>
- Bakin, I., Panfilov, V. & Popov, A. (2021). Synergy of a complex of complex technologies of the future agro-industrial complex. In *Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems: E3S Web Conference: International Scientific and Practical Conference* (vol. 262, Article 01009). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126201009>
- Bolton, W. (2021). Chapter 7 — PLC Systems. *Instrumentation and Control Systems*, 2021, 165–188. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823471-6.00007-1>
- Chen, X. & Voigt, T. (2020). Implementation of the Manufacturing Execution System in the Food and Beverage Industry. *Journal of Food Engineering*, 278, Article 109932. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109932>
- Cong, D. T., Haddad, M. A., Rezzoug, Z., Lefevre, L. & Allaf, K. (2008). Dehydration by successive pressure drops for drying paddy rice treated by instant controlled pressure drop. *Drying Technology*, 26(4), 443–451. <https://doi.org/10.1080/07373930801929300>
- Crank, J. (1979). *The mathematics of diffusion*. Oxford university press.
- Jian, L., Jinfeng, B., Fengzhao, W., Xin, J., Xinye, W., & Jin, X. (2021). Recent developments and trends of instant controlled pressure drop drying—a review. *Drying Technology*, 39(11), 1704–1719. <http://doi.org/10.1080/07373937.2021.1916753>
- Junqueira, J. R., Corrêa, J. L. G., de Mendonça, K. S., de Melo Junior, R. E., & Souza, A. U. (2021). Modeling mass transfer during osmotic dehydration of different vegetable structures under vacuum conditions. *Food Science and Technology, Campinas*, 41(2), 439–448. <https://doi.org/10.1590/fst.02420>
- Kiangala, K. S., & Wang, Z. (2019). An Industry 4.0 approach to develop auto parameter configuration of a bottling process in a small to medium scale industry using PLC and SCADA. *Procedia Manufacturing*, 35, 725–730. <http://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.015>
- Krishna, K. P., & Abhijit, K. (2012). Heat pump assisted drying of agricultural produce — an overview. *Journal of Food Science and Technology*, 49(2), 142–160. <http://doi.org/10.1007/s13197-011-0334-z>
- Majstorovic, V., Jankovic, G., Zivkov, S., & Stojadinovic, S. (2021). Digital Manufacturing in SMEs based on the context of the Industry 4.0 framework — one approach. *Procedia Manufacturing*, 54, 52–57. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.07.009>
- Maytakov, A. L., Yusupov, Sh. T., & Popov, A. M. (2018). Study of the process of concentration as a factor of product quality formation. *Foods and Raw Materials*, 6(1), 172–181. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-172-181>
- Mulet, A. (1994). Drying modelling and water diffusivity in carrots and potatoes. *Journal of Food Engineering*, 22(1–4), 329–348. [http://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)90038-8](http://doi.org/10.1016/0260-8774(94)90038-8)
- Paramanandam, V., Jagadeesan, G., Muniyandi, K., Manoharan, A. L., Nataraj, G., Sathyanarayanan, S., & Thangaraj, P. (2021). Comparative and variability analysis of different

- drying methods on phytochemical, antioxidant and phenolic contents of ficus auriculata lour. Fruit. *Phytomedicine Plus*, 1(3), Article 100075. <http://doi.org/10.1016/j.phyplu.2021.100075>
- Phoungchandang, S., & Woods, J. L. (2000). Moisture diffusion and desorption isotherms for banana. *Journal of Food Science*, 65(4), 651–657. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16067.x>
- Roblek, V., Mesko, M., & Krapez, A. (2016) A complexity view of Industry 4.0. *SAGE Open*, 6(2), Article 21582440166. <http://doi.org/10.1177/2158244016653987>
- Wawrzyniak, P., Zbicinski, I., & Sobulska, M. (2017). Applications: Drying of materials. In *CRC Handbook of Thermal Engineering* (pp. 1306–1337). Publisher: CRC Press.
- Xie, L., Mujumdar, A. S., Fang, X., Wang, J., Dai, J., Du, Z., Xiao, H., Liu, Y. & Gao, Z. (2017). Far-infrared radiation heating assisted pulsed vacuum drying (FIR-PVD) of wolfberry (*Lycium barbarum* L.): Effects on drying kinetics and quality attributes. *Food and Bioprocess Processing*, 102, 320–331. <http://doi.org/10.1016/j.FBP.2017.01.012>
- Xu, P., Peng, X., Yang, J., Li, X., Zhang, H., Jia, X., Liu, Y., Wang, Z., & Zhang, Z. (2021). Effect of vacuum drying and pulsed vacuum drying on drying kinetics and quality of bitter orange (*Citrus aurantium* L.) slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45, Article e16098. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16098>
- ## REFERENCES
- Fedorenko, I. Ya., Zemlyanukhina, T. N., Shilov, S. V., & Orlova, N. A. (2020). Obosnovanie parametrov konvektivno-vakuumnoi sushilki rastitel'nogo syr'ya [Substantiation of the parameters of a convective vacuum dryer of vegetable raw materials]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Altai State Agrarian University]*, (11), 120–125.
- Ivanova, E. S., Rodionov, Yu. V., & Zorina, O. A. (2021). Innovatsionnye konstruksii i tekhnologii sushki plo-dooovoshchnoi produktii [Innovative designs and technologies for drying fruit and vegetable products]. *Nauka v tsentral'noi Rossii [Science in Central Russia]*, (1), 43–53. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-1-43-53>
- Safin, R. R., Khasanshin, R. R., Garaeva, A. F., & Akhmetov, A. I. (2016). Vakuumno-konvektivnaya sushka izmel'chen-nogo rastitel'nogo syr'ya [Vacuum-convective drying of crushed vegetable raw materials]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Technological University]*, (19), 63–67.
- Shakhov, S. V., Mosolov, G. I., & Barykin, R. A. (2014). Raz-rabotka vakuum-sublimatsionnoi sushilki dlya obez-vozhivaniya zhidkikh produktov [Development of a vacuum freeze dryer for dehydration of liquid products]. *Vestnik mezhdunarodnoi akademii kholoda [Bulletin of the International Academy of Cold]*, (3), 58–60.
- Shkol'nikova, M. N., Bakin, I. A., Mustafina, A. S., & Aleksenko, L. A. (2018). Optimizatsiya protsessov polucheniya ekstraktov fitobioticheskikh farmsubstantsii yagodnogo syr'ya [Optimization of the processes of obtaining extracts of phytobiotic pharmaceutical substances of berry raw materials]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Equipment and Technology of Food Production]*, 48(4), 121–130. <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-4-121-130>
- Alves-Filho, O., Strommen, I., & Thorbergsen, E. (1997). A simulation model for heat pump dryer plants for fruits and roots. *Drying Technology*, 15(5), 1369–1398. <http://doi.org/10.1080/07373939708917299>
- Bakin, I., Panfilov, V. & Popov, A. (2021). Synergy of a complex of complex technologies of the future agro-industrial complex. In *Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems: E3S Web Conference: International Scientific and Practical Conference* (vol. 262, Article 01009). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126201009>
- Bolton, W. (2021). Chapter 7 — PLC Systems. *Instrumentation and Control Systems, 2021*, 165–188. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823471-6.00007-1>
- Chen, X. & Voigt, T. (2020). Implementation of the Manufacturing Execution System in the Food and Beverage Industry. *Journal of Food Engineering*, 278, Article 109932. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109932>
- Cong, D. T., Haddad, M. A., Rezzoug, Z., Lefevre, L. & Allaf, K. (2008). Dehydration by successive pressure drops for drying paddy rice treated by instant controlled pressure drop. *Drying Technology*, 26(4), 443–451. <https://doi.org/10.1080/07373930801929300>
- Crank, J. (1979). *The mathematics of diffusion*. Oxford university press.
- Jian, L., Jinfeng, B., Fengzhao, W., Xin, J., Xinye, W., & Jin, X. (2021). Recent developments and trends of instant controlled pressure drop drying-a review. *Drying Technology*, 39(11), 1704–1719. <http://doi.org/10.1080/07373937.2021.1916753>
- Junqueira, J. R., Corrêa, J. L. G., de Mendonça, K. S., de Melo Junior, R. E., & Souza, A. U. (2021). Modeling mass transfer during osmotic dehydration of different vegetable structures under vacuum conditions. *Food Science and Technology, Campinas*, 41(2), 439–448. <https://doi.org/10.1590/fst.02420>
- Kiangala, K. S., & Wang, Z. (2019). An Industry 4.0 approach to develop auto parameter configuration of a bottling process in a small to medium scale industry using PLC and SCADA. *Procedia Manufacturing*, 35, 725–730. <http://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.015>

- Krishna, K. P., & Abhijit, K. (2012). Heat pump assisted drying of agricultural produce — an overview. *Journal of Food Science and Technology*, 49(2), 142–160. <http://doi.org/10.1007/s13197-011-0334-z>
- Majstorovic, V., Jankovic, G., Zivkov, S., & Stojadinovic, S. (2021). Digital Manufacturing in SMEs based on the context of the Industry 4.0 framework — one approach. *Procedia Manufacturing*, 54, 52–57. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.07.009>
- Maytakov, A. L., Yusupov, Sh. T., & Popov, A. M. (2018). Study of the process of concentration as a factor of product quality formation. *Foods and Raw Materials*, 6(1), 172–181. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-172-181>
- Mulet, A. (1994). Drying modelling and water diffusivity in carrots and potatoes. *Journal of Food Engineering*, 22(1–4), 329–348. [http://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)90038-8](http://doi.org/10.1016/0260-8774(94)90038-8)
- Paramanandam, V., Jagadeesan, G., Muniyandi, K., Manoharan, A. L., Nataraj, G., Sathyanarayanan, S., & Thangaraj, P. (2021). Comparative and variability analysis of different drying methods on phytochemical, antioxidant and phenolic contents of ficus auriculata lour. Fruit. *Phytomedicine Plus*, 1(3), Article 100075. <http://doi.org/10.1016/j.phyplu.2021.100075>
- Phoungchandang, S., & Woods, J. L. (2000). Moisture diffusion and desorption isotherms for banana. *Journal of Food Science*, 65(4), 651–657. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16067.x>
- Roblek, V., Mesko, M., & Krapez, A. (2016) A complexity view of Industry 4.0. *SAGE Open*, 6(2), Article 21582440166. <http://doi.org/10.1177/2158244016653987>
- Wawrzyniak, P., Zbicinski, I., & Sobulska, M. (2017). Applications: Drying of materials. In *CRC Handbook of Thermal Engineering* (pp. 1306–1337). Publisher: CRC Press.
- Xie, L., Mujumdar, A. S., Fang, X., Wang, J., Dai, J., Du, Z., Xiao, H., Liu, Y. & Gao, Z. (2017). Far-infrared radiation heating assisted pulsed vacuum drying (FIR-PVD) of wolfberry (*Lycium barbarum* L.): Effects on drying kinetics and quality attributes. *Food and Bioprocess Processing*, 102, 320–331. <http://doi.org/10.1016/j.FBP.2017.01.012>
- Xu, P., Peng, X., Yang, J., Li, X., Zhang, H., Jia, X., Liu, Y., Wang, Z., & Zhang, Z. (2021). Effect of vacuum drying and pulsed vacuum drying on drying kinetics and quality of bitter orange (*Citrus aurantium* L.) slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45, Article e16098. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16098>

УДК 631.563.8 : 546.214

Влияние процесса озонирования на качественные показатели зерна озимой пшеницы

¹ Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

² Панинская средняя общеобразовательная школа Панинского муниципального района Воронежской области

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Баскаков Иван Васильевич
394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1
E-mail: vasich2@yandex.ru

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

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Баскаков, И. В., Оробинский, В. И., Гиевский, А. М., Чернышов, А. В., & Чернова, О. В. (2023). Влияние процесса озонирования на качественные показатели зерна озимой пшеницы. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 177–189. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.396>

ПОСТУПИЛА: 27.12.2022

ПРИНЯТА: 05.03.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



И. В. Баскаков¹, В. И. Оробинский¹, А. М. Гиевский¹,
А. В. Чернышов¹, О. В. Чернова²

АННОТАЦИЯ

Введение. Озонирование позволяет провести дезинсекцию зерна, предпосевную обработку семян, дезинфекцию зерноскладов, дезодорацию продукции, санацию повреждённых зерновок. Однако озонирование способствует протеканию ряда химических реакций, которые оказывают влияние на зерно.

Цель. Определение влияния режимов озонной обработки на качественные показатели зерна озимой пшеницы.

Материалы и методы. При получении озоновоздушной смеси использовали регулируемый по концентрации озонатор производства ООО «ОЗОН ПРОМ-ТЕХ», генерация озона в котором происходит благодаря импульсным преобразователям напряжения и частоты из воздуха. Качественные показатели зерна определяли по соответствующим ГОСТам.

Результаты. Установлено, что озонная обработка зернового материала в течение 1–4 часов с концентрацией озона в диапазоне 1,24–2,62 мг/м³ способствует повышению содержания клейковины в зерне озимой пшеницы с 21 % до 23–24 %. При этом показатель ИДК увеличился с 68 единиц в контрольном варианте до 71...81 единиц в экспериментальных образцах. Содержание белка в зерне повысилось с 9,74 % до 10,69–15,0 % в зависимости от режима озонной обработки. Стекловидность зерна при озонировании в исследуемом диапазоне концентраций колебалась в диапазоне от -5 до 7 % относительно контрольного значения равного 58 %. Содержание жира в зерне изменялось вокруг контроля в 0,95–1,2 раз. Большие экспозиции, как правило, негативно сказывались на качестве зерна.

Выводы. Рациональное время озонирования составило 100 мин при концентрации озона в озоно-воздушной смеси около 1,6 мг/м³. Это позволит увеличить содержание клейковины и белка в зерне на 2 %, жира — в 1,2 раза, показатель ИДК возрастет на 7 единиц, а стекловидность — на 4 %. При этом рациональная доза озонной обработки составила 179 мг-мин/м³.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

озонная обработка, озимая пшеница, качественные показатели зерна, рациональные режимы озонирования

The Influence of the Ozonation Process on the Quality Indicators of Winter Wheat Grain

¹ Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

² Paninskaya secondary general education school of Paninsky municipal district of the Voronezh region

CORRESPONDENCE:

Ivan V. Baskakov

Address: 1, Michurina street, Voronezh, 394087

E-mail: vasich2@yandex.ru

FOR CITATIONS:

Baskakov, I. V., Orobinsky, V. I., Gievsky, A. M., Chernyshov, A. V., & Chernova, O. V. (2023). The Influence of the ozonation process on the quality indicators of winter wheat grain. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 177–189. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.396>

RECEIVED: 27.12.2022

ACCEPTED: 05.03.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Ivan V. Baskakov¹, Vladimir I. Orobinsky¹, Aleksey M. Gievsky¹, Aleksey V. Chernyshov¹, Olga V. Chernova²

ABSTRACT

Background. Ozonation makes it possible to carry out grain disinfection, pre-sowing seed treatment, disinfection of grain storage, deodorization of products, sanitation of damaged grain. However, ozonation promotes a number of chemical reactions that affect the grain.

Purpose. Determination of the influence of ozone treatment regimes on the quality indicators of winter wheat grain.

Materials and Methods. When obtaining an ozone-air mixture, a concentration-controlled ozonizer manufactured by OZON PROM-TECH LLC was used, in which ozone generation occurs due to pulsed voltage and frequency converters from the air. The quality indicators of grain were determined according to the relevant GOST standards.

Results. It was found that ozone treatment of grain material for 1–4 hours with an ozone concentration in the range of 1.24–2.62 mg/m³ increases the gluten content in winter wheat grain from 21 % to 23–24 %. At the same time, the IDC indicator increased from 68 units in the control variant to 71–81 units in experimental samples. The protein content in the grain increased from 9.74 % to 10.69–15.0 %, depending on the mode of ozone treatment. The vitreous content of the grain during ozonation in the studied concentration range ranged from -5 to 7 % relative to the control value of 58 %. The fat content in the grain varied around the control by 0.95–1.2 times. Large exposures, as a rule, negatively affected the quality of grain.

Conclusions. The rational ozonation time was 100 minutes with an ozone concentration in the ozone-air mixture of about 1.6 mg/m³. This will increase the content of gluten in grain by 2 %, protein – by 2 %, fat – by 1.2 times, the IDC index will increase by 7 units, and vitreous – by 4 %. At the same time, the rational dose of ozone treatment was 179 mg·min/m³.

KEYWORDS

ozone treatment, winter wheat, grain quality indicators, rational ozonation regimes

ВВЕДЕНИЕ

Всё большую популярность приобретают экологически чистые технологии обработки сельскохозяйственного сырья, при которых не происходит образования вредных побочных продуктов. При этом процесс озонирования является одним из самых перспективных в агропромышленном комплексе (Авдеева & Безгина, 2014; Морозова, 2020; Нечаев, 2022; Сигачева, 2015; Baskakov et al., 2020a; Baskakov et al., 2020b). Озонная обработка позволяет провести предпосевную обработку семян (Авдеева и соавт., 2015; Долговых & Огнев, 2014; Сигачева & Пинчук, 2012) продезинсекцировать зерновой ворох (Закладной и соавт., 2003; Rozado et al., 2008; Baskakov et al., 2022), продезинфицировать зерносклады (Нормов, Федоренко, 2009), продезодорировать сельскохозяйственное сырьё (László et al., 2008), просанировать повреждённые рабочими органами специализированного оборудования плоды (Baskakov et al., 2020), проинтенсифицировать сушку влажного урожая (Буханцов, 2012а; Буханцов, 2012б; Буханцов, 2012в; Голубкович с соавт., 2002; Пахомов и соавт., 2013а; Пахомов и соавт., 2013б), увеличить сроки безопасного хранения продукции (Закладной & Осман, 2011) и т.д. При этом после выполнения заданной функции озон распадается до молекулярного кислорода, не образуя побочных вредных веществ. Однако озонирование способствует протеканию ряда химических реакций, которые трудно предсказать. Атомарный кислород, образующийся при распаде озона, настолько активен, что начинает вступать во взаимодействие с различными веществами. Причём это приводит к распаду уже имеющихся химических соединений и образованию новых. При достаточной экспозиции озон проникает внутрь зерновки, взаимодействуя с её органическими компонентами. В результате химический состав зерна может измениться, что повлияет на его качество (Авдеева и соавт., 2013а; Авдеева и соавт., 2013б; Пинчук и соавт., 2014; Сорокин & Морозова, 2018).

Озон активизирует протекающие в зерновке процессы. Поэтому даже предпосевная обработка семян, которая проводится за несколько месяцев до получения нового урожая, влияет на содержание макро- и микроэлементов в выращиваемом зерне. Сигачева и Пинчук (2012) установили, что озонирование посевного материала яровой пшеницы сорта Маринка в течение 15 и 45 минут при кон-

центрации озона 85 и 170 мг/м³ способствует снижению содержания железа и цинка в будущей зерновке на 2...3 мкг/кг и 5...7,5 мкг/кг соответственно. При этом не изменялось или повышалось количество кальция — до 0,11 %, натрия — до 0,03 г/кг, марганца — до 3,34 мг/кг. Содержание фосфора, калия, магния, меди в зависимости от режимов озонирования посевного материала варьировало вокруг контрольных значений, как в положительную сторону, так и в отрицательную. Наилучшую эффективность показала озонная предпосевная обработка семян в течение 15 мин при концентрации озона в озоновоздушной смеси 170 мг/м³. При этом в выращенном зерне содержание кальция повысилось на 0,11 %, калия — на 0,08 г/кг, марганца — 2,67 мг/кг, меди — 0,33 мг/кг, но снизилось количество фосфора на 0,05 %, магния — на 0,06 г/кг, железа — на 2 мг/кг, цинка — на 5 мг/кг (Морозова, 2020; Сигачева, Пинчук, 2012). Кроме того, предпосевная озонная обработка посевного материала при тех же режимах отразилась на повышении наличия белка в выращенной зерновке. Так, в контрольном варианте белка в зерне содержалось 12,55 %, а в экспериментальных образцах его количество увеличилось на 0,94...2,3 % в зависимости от условий озонирования (Сигачева, 2015).

Озонирование способствует санации семян, благодаря чему их потенциальные возможности реализуются в большей степени. Это подтверждают исследования Сорокина и Морозовой (2018), которые на протяжении трёх лет изучали влияние предпосевной озонной обработки семян яровой пшеницы сорта Дарья на содержание белка в выращенном зерне. При этом озонирование проводили с концентрацией озона в озоновоздушной смеси 1,5 мг/м³ в течение 20 минут и концентрацией 2,8 мг/м³ в течение 30 мин. В результате установлено, что предпосевная озонная обработка семян способствовала повышению содержания белка в выращенном зерне в 2015 году с 10,2 % до 11,4 и 11,1 % соответственно режиму. Однако в 2016 году данный параметр от контрольного значения варьировал на –0,3 и 0,7 %. В 2017 году предпосевное озонирование посевного материала обеспечило повышение содержания белка в выращенном зерне с 8,54 % до 8,63 и 8,71 %. Следовательно, в среднем за три года озонная обработка семян способствовала повышению белковистости в зерновке. При озонировании посевного материала в течение 20 мин при концентрации озона в озоновоздушной смеси

1,5 мг/м³ увеличение содержания белка в выращенном зерне составило 0,33%, а при озонировании в течение 30 мин и концентрации озона 2,8 мг/м³ — 0,59% (Сорокин & Морозова, 2018).

Озонная обработка способствует изменению состояния внутренних тканей зерновки. Это подтверждают исследования Авдеевой и Безгиной (2013), которые изучали влияние процесса озонирования на электропроводность зерна озимой пшеницы. В результате установлено, что озонирование с дозой озона 14,7 г · с/м³ способствует активизации клеточных мембран. Это отражается в снижении электропроводности зерна с 133,4 до 104,1 мкСм/см. Также озонирование оказывает влияние на строение эндосперма и его консистенцию, что подтверждают исследования Долговых и Огнева (2014), которые установили, что в результате озонной обработки с концентрацией озона в озоновоздушной смеси 2,128 г/м³ стекловидность зерна возрастала, относительно контрольного значения 62%, в зависимости от режима обработки до 2%. При этом масса 1 л зерна в контрольном варианте составляла 753 г/л, а в экспериментальных образцах натура варьировала на -3 и 6 г/л. Массовая доля сырой клейковины в контроле составляла 21,4%, а при озонной обработке повысилась на 0,2 и 1,1%. Причём её качество по ИДК варьировала на ±2, относительно контрольного значения 65 единиц.

Исследования по влиянию процесса озонирования на качественные показатели зерна крайне скудны ввиду сложности обоснования и интерпретации колебаний результатов исследований. Некоторые авторы отмечают, что процесс озонирования оказывает некоторое воздействие на состояние зерновки. Например, при исследовании возможности использования озона с целью снижения уровня афлатоксинов в зерне кукурузы было отмечено, что операция способствовала образованию в зерне жирорастворимых продуктов (Prudente & King, 2002). Однако, на данный момент подобные исследования малочисленны и разрозненны.

Цель исследования: определить влияние режимов озонной обработки на качественные показатели зерна озимой пшеницы. Задача исследования состоит в установлении рациональных режимов озонной обработки, обеспечивающих наилучшее качество зерна. Фактором, оказывающим наибольшее влияние на качественные показатели зерна

при озонировании, является доза озонной обработки, которую можно определить путем произведения времени экспозиции на концентрацию озона в озоновоздушной смеси. За критерии оценки эффективности процесса озонирования было принято улучшение показателей качества зерна, таких как: содержание в зерне белка, жира, клейковины, а также стекловидность зерна.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект

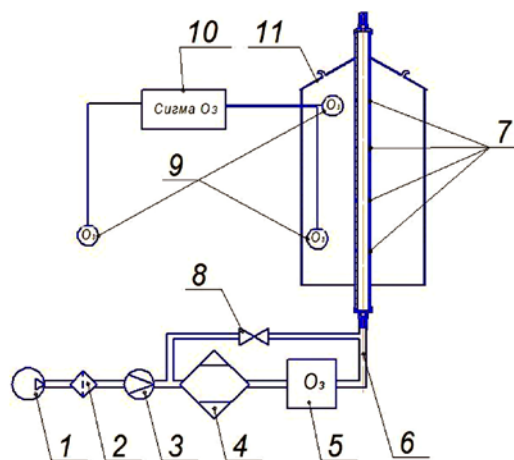
Объектом исследования является процесс взаимодействия зерна с озоновоздушной смесью.

Оборудование

При получении озоновоздушной смеси использовали регулируемый по концентрации озонатор модели ОВ производства ООО «ОЗОН ПРОМ-ТЕХ» г. Коломна с барьерным типом газового разряда. Генерация озона в нём происходит из атмосферного воздуха, благодаря импульсным преобразователям напряжения и частоты. Схема лабораторной установки представлена на Рисунке 1. Её принцип действия следующий. Компрессор 1

Рисунок 1

Схема лабораторной установки



Примечание: 1 — компрессор воздушный; 2 — фильтр воздушный; 3 — расходомер; 4 — осушитель воздуха; 5 — озонатор ОВ регулируемый; 6 — газопровод; 7 — распределитель; 8 — кран; 9 — датчик концентрации озона; 10 — сигнализатор Сигма О₃; 11 — ёмкость

нагнетает воздушный поток через фильтр 2, расходомер 3, осушитель воздуха 4 в озонатор 5. Далее озонозовоздушная смесь через распределитель 7 поступает в зерновой слой, находящийся в ёмкости 11. Для более равномерного распределения газа нижние отверстия в распределителе 7 имеют меньший диаметр, чем более верхние. Поскольку интерес представляли небольшие концентрации озона, то для её поддержания в озонозовоздушную смесь подавали небольшой объём (примерно 15 %) атмосферного воздуха через отдельный газовод, перекрывающийся краном 8. Для определения концентрации озона внутри межзернового пространства использовали газоанализатор «Сигма-03» 10 с электрохимическими датчиками «Сигма-03.ДЭ» 9. Существенной разницы значений на входе и выходе из ёмкости 11 не выявлено ввиду слишком малого объёма и массы зерна.

Процедура исследования

Для подтверждения и расширения представленных данных в ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ проводили лабораторные исследования по изучению влияния озонной обработки на качественные показатели зерна озимой пшеницы. Перед проведением исследований посредством лабораторного решетного отсева У1-ЕРЛ-2-1 было отобрано 6,2 кг зерна средней влажностью 14 %, имеющего ширину зерновок более 2,0 мм. Урожай твёрдой озимой пшеницы был собран за месяц до эксперимента. Озонирование проводили в течение 4 часов в ёмкости, из которой ежечасно извлекали опытный образец массой 1,2 кг для проведения соответствующих экспериментов. Расход озонозовоздушной смеси в среднем составлял 0,65 м³/ч, температура окружающего воздуха — 18 °С, относительная влажность воздуха — 43 %. При проведении озонной обработки концентрация озона внутри ёмкости колебалась в диапазоне 1,24...2,62 мг/м³ (Таблица 1), её измеряли каждые 10 мин. Контрольный образец массой 1,2 кг не подвергался озонированию.

Таблица 1

Условия озонирования зерна озимой пшеницы

Время опыта, мин	Концентрация озона в озонозовоздушной смеси, мг/м ³			Примечание
	через 10 мин	в среднем за час	в среднем за опыт	
10	1,72	1,62	1,62	Образец №1 1 час озонной обработки
20	1,8			
30	1,56			
40	1,76			
50	1,56			
60	1,32	1,48	1,55	Образец №2 2 часа озонной обработки
70	1,24			
80	1,4			
90	1,36			
100	1,54			
110	1,56	2,17	1,76	Образец №3 3 часа озонной обработки
120	1,8			
130	2,2			
140	2,26			
150	2,0			
160	2,04	2,45	1,93	Образец №4 4 часа озонной обработки
170	2,2			
180	2,32			
190	2,32			
200	2,4			
210	2,36			
220	2,4			
230	2,62			
240	2,6			

Методы

Отобранные образцы исследовали в лаборатории массовых анализов ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ согласно действующим стандартам. При определении количества и качества клейковины руководствовались требованиями ГОСТ Р 54478–2011¹. Содержание белка в зерне находили по ГОСТ 10846–91². При определении стекловидности использовали ГОСТ 10987–76³. Содержание жира в зерне находили согласно требованиям ГОСТ 29033–91⁴.

¹ ГОСТ Р 54478–2011. (2012). *Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице*. М.: Стандартинформ.

² ГОСТ 10846–91. (2009). *Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка*. М.: Стандартинформ.

³ ГОСТ 10987–76. (2009). *Зерно. Методы определения стекловидности*. М.: Стандартинформ.

⁴ ГОСТ 29033–91. (2004). *Зерно и продукты его переработки. Метод определения жира*. М.: Стандартинформ.

Обработка экспериментальных данных

При обработке полученных результатов исследований и получении уравнений регрессии использовали программу Microsoft Office Excel, в частности универсальный инструмент технического анализа «Построение линии тренда (аппроксимация и сглаживание)».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для решения поставленной задачи исследования необходимо провести эксперимент по озонной обработке зерна при разных режимах озонирования и проанализировать полученные результаты исследований, что позволит установить рациональные режимы операции, обеспечивающие наилучшие качественные показатели зерна.

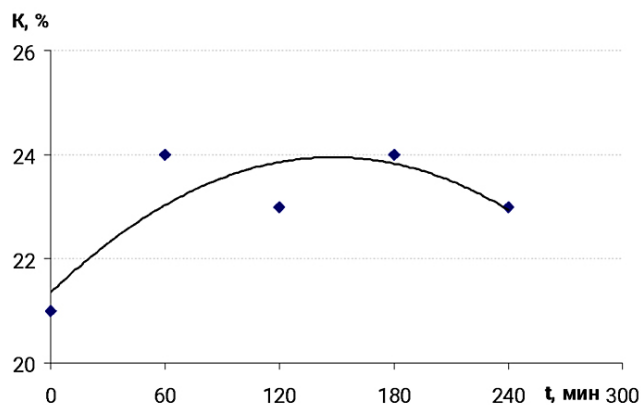
На основе проведённых лабораторных исследований получены результаты, представленные в Таблице 2.

Результаты исследований по влиянию процесса озонирования на содержание в зерне клейковины и её качество

Озонирование зерна способствовало увеличению содержания в нём клейковины на 2...3% относительно контрольного значения 21 % (Рисунок 2).

Рисунок 2

Зависимость содержания клейковины (K) в зерне от времени озонной обработки (t)



Аппроксимация полученных значений подчиняется полиномиальной зависимости второй степени

$$K = -0,0001 \cdot t^2 + 0,0352 \cdot t + 21,343, \quad (1)$$

где K — количество клейковины в зерне, %; t — время озонной обработки, мин.

Анализ Рисунка 2 и формулы 1 показывает, что наибольшее расчётное значение содержания клейковины в зерне при округлении до целого числа получается в диапазоне времени озонирования от 80 до 240 мин. Это говорит о том, что озонная обработка в течение указанного периода при концентрации озона в озонозвоздушной смеси 1,55–1,93 мг/м³

Таблица 2

Влияние озонной обработки зерна на его качественные показатели

Время озонной обработки, мин	Средняя концентрация озона, мг/м ³	Доза озонной обработки, мин·мг/м ³	Содержание клейковины, %	Качество клейковины ИДК, ед.	Содержание белка, %	Стекловидность, %
0 (контроль)	0	0	21	68	9,74	58
60	1,62	97,2	24	81	15,0	65
120	1,55	186	23	71	11,97	59
180	1,76	316,8	24	77	10,69	53
240	1,93	463,2	23	76	12,13	

примерно равноценна по данному параметру. При этом озонирование будет способствовать увеличению содержания клейковины в зерне на 3%. Данный параметр в зависимости от дозы, т.е. произведении времени обработки на концентрацию озона, имеет следующий вид (Рисунок 3).

Аппроксимация полученных экспериментальных точек показала, что содержание клейковины в зерне в зависимости от дозы озонной обработки подчиняется полиномиальной зависимости второй степени

$$K = -0,00003 \cdot d^2 + 0,0188 \cdot d + 21,408, \quad (2)$$

где d — доза озонной обработки, мин·мг/м³.

Анализ Рисунка 3 и формулы 2 показывает, что наибольшее расчётное значение содержания клейковины в зерне при округлении до целого числа получается в диапазоне доз озонирования от 145 до 481 мин·мг/м³.

Озонирование способствовало повышению показателя ИДК с 68 единиц до 71...81 единиц (Рисунки 4 и 5). Это может быть нежелательным, т.к. согласно ГОСТ Р 54478–2011 качество клейковины относится к категории хорошая если ИДК=43...77 единиц.

Следовательно, озонную обработку необходимо применять для зёрен, имеющих удовлетворительную крепкую клейковину. Это позволит повысить ИДК и возможно поспособствует переходу зерна

Рисунок 3

Зависимость содержания клейковины (K) в зерне от дозы озонной обработки (d)

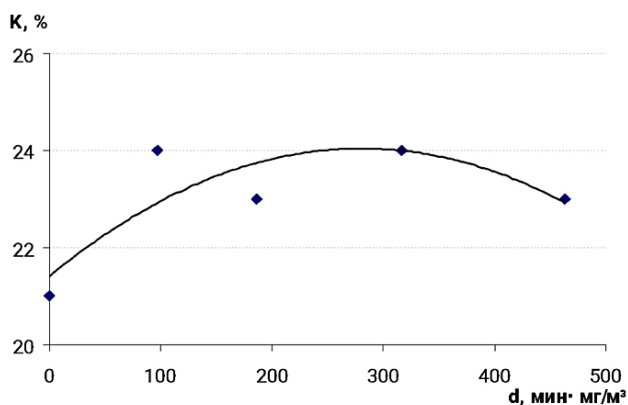


Рисунок 4

Зависимость качества клейковины по показателю ИДК от времени озонной обработки (t)

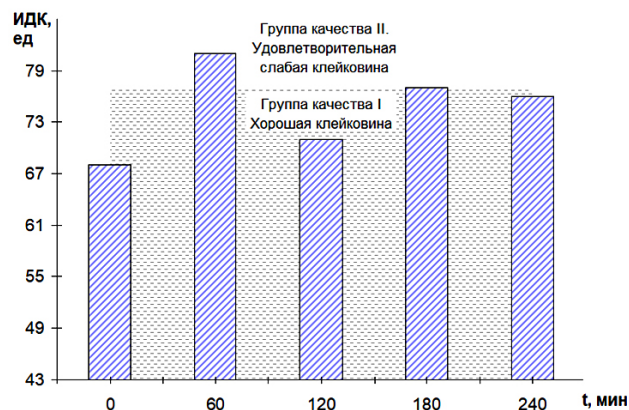
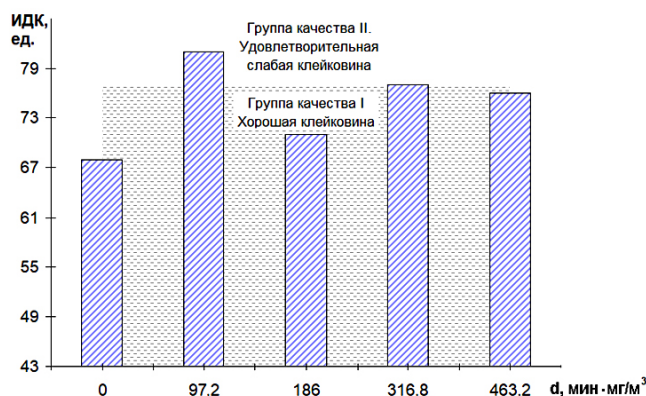


Рисунок 5

Зависимость качества клейковины по показателю ИДК от дозы озонной обработки (d)



в первую группу качества — хорошая. При этом улучшатся деформационные свойства клейковины. Если зерно по качеству клейковины находится в группе удовлетворительная слабая, то озонирование нежелательно, а если озонная обработка необходима, то следует максимально возможно уменьшать время обработки.

Полученные данные свидетельствуют о том, что озонная обработка противоречиво влияет на качество и количество клейковины. Некоторые авторы (Авдеева и соавт., 2013а) не смогли выявить достоверного влияния процесса озонирования на данный показатель, что может быть объяснимо завершившимся периодом послеуборочного дозревания зерна и слишком большими концентрациями озона в озонотехнологической смеси, которым противодействует зерно. Однако в нашем случае

изменения имели место, как и в ряде других исследований (Долговых & Огнев, 2014). Это может быть объяснено менее жесткими режимами озонной обработки и незавершившимся периодом послеуборочного дозревания зерна. Следовательно, необходимы дальнейшие исследования в данном направлении, которые позволили бы расширить банк экспериментальных данных.

Результаты исследований по влиянию процесса озонирования на содержание в зерне белков

Увеличение содержание клейковины сопровождается повышением количества белков в зерне. Озонирование способствовало увеличению содержания белка в зерне с 9,74% до 10,96...15,0% (Рисунок 6). Однако в зависимости от режима обработки данный показатель возрастал неравномерно.

Аппроксимация полученных экспериментальных точек показала, что содержание белков в зерне в зависимости от времени и дозы озонной обработки подчиняется полиномиальной зависимости второй степени

$$B = -0,0001 \cdot t^2 + 0,0288 \cdot t + 10,971, \quad (3)$$

$$B = -0,00002 \cdot d^2 + 0,0109 \cdot d + 11,224, \quad (4)$$

где B — содержание белка в зерне, %.

Анализ Рисунка 6 и формулы 3 показывает, что наибольшее расчётное значение содержания белков в зерне при округлении до десятых получается в ди-

Рисунок 6

Зависимость содержания белков (B) в зерне от времени озонной обработки (t)

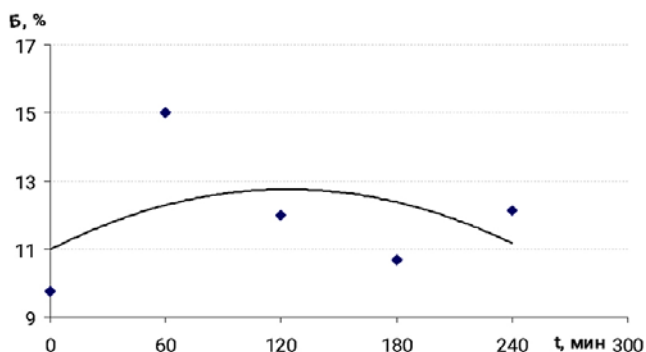
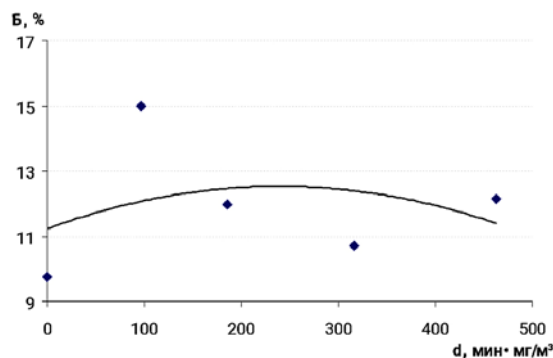


Рисунок 7

Зависимость содержания белков (B) в зерне от дозы озонной обработки (d)



апазоне времени озонирования от 114 до 174 мин. Это говорит о том, что озонная обработка в течение указанного периода при концентрации озона в озонотвоздушной смеси 1,55–1,93 мг/м³ оказывает одинаковое влияние на данный параметр. При этом озонирование будет способствовать увеличению содержания белка в зерне до 2 %. Данный параметр в зависимости от дозы озонной обработки представлен на Рисунке 7.

Анализ Рисунка 7 и формулы 4 показывает, что наибольшее расчётное значение содержания белка в зерне при округлении до десятых получается в диапазоне доз озонирования от 219 до 326 мин · мг/м³.

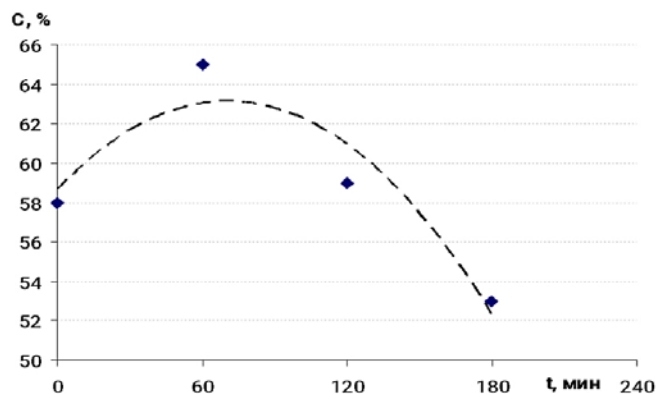
Полученные данные свидетельствуют о том, что озонная обработка оказывает влияние на содержание белка в свежесобранном зерне. Некоторые авторы (Сорокин & Морозова, 2018; Сигачева & Пинчук, 2012) отмечали положительное влияние процесса озонирования на данный показатель. Однако объём подобных исследований слишком мал, чтобы можно было выработать практические рекомендации, они задают только направление для более глубокого изучения озонной обработки зерна.

Результаты исследований по влиянию процесса озонирования на стекловидность зерна и содержание в нём жира

Озонирование способствовало изменению стекловидности зерна на –5...7 % относительно контрольного значения 58 % (Рисунок 8). При этом экспозиции более 2 часов снижали данный параметр, а меньшее время обработки — повышало.

Рисунок 8

Зависимость стекловидности зерна (C) от времени озонной обработки (t)



Статистическая обработка экспериментальных точек показала, что стекловидность зерна в зависимости от времени и дозы озонной обработки подчиняется полиномиальной зависимости второй степени

$$C = -0,0009 \cdot t^2 + 0,1275 \cdot t + 58,65, \quad (5)$$

$$C = -0,0003 \cdot d^2 + 0,0607 \cdot d + 58,875, \quad (6)$$

где C — стекловидность зерна, %.

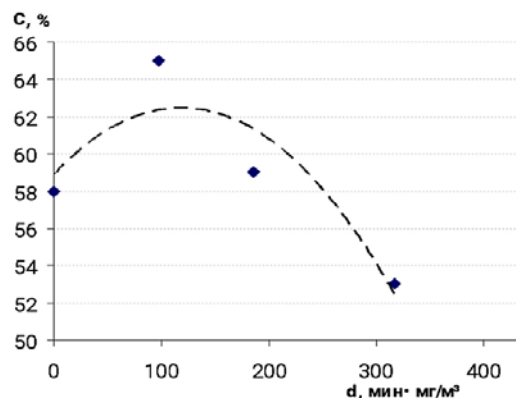
Анализ Рисунок 8 и формулы 5 показывает, что наибольшее расчётное значение стекловидности зерна при округлении до целого числа получается в диапазоне времени озонирования от 44 до 98 мин. Это говорит о том, что озонная обработка в течение указанного периода при концентрации озона в озонозвоздушной смеси около $1,6 \text{ мг/м}^3$ примерно равноценна по данному параметру. При этом озонирование будет способствовать увеличению стекловидности зерна на 4%. Данный параметр в зависимости от дозы озонной обработки представлен на Рисунок 9.

Анализ Рисунок 9 и формулы 6 показывает, что наибольшее расчётное значение стекловидности зерна при округлении до целого числа получается в диапазоне доз озонирования от 63 до $139 \text{ мин} \cdot \text{мг/м}^3$.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что озонная обработка оказывает влияние на стекловидность свежесобранного зерна. Некоторые авторы (Долговых, Огнев, 2014) отмечали положительное влияние процесса озонирования на данный

Рисунок 9

Зависимость стекловидности зерна (C) от дозы озонной обработки (d)



показатель. Необходимо расширять экспериментальный банк исследований для выработки практических рекомендаций по применению озонной обработки зерна.

Озонирование зерна повлияло на содержание в нем жира, которое колебалось от 0,95 до 1,18 раза относительно контрольного значения. При этом рациональное время озонной обработки, при котором расчётное значение содержания жира при округлении до десятой максимально, находится в диапазоне 79...113 мин, а рациональная доза — $143...227 \text{ мин} \cdot \text{мг/м}^3$.

Полученные результаты согласуются с исследованиями других ученых (Prudente, King, 2002), которые также отмечали увеличение в зерне жирорастворимых продуктов при его озонировании.

Рациональные режимы озонной обработки зерна

Обобщая представленные данные можно составить Таблицу 3 рациональных режимов озонной обработки для каждого исследуемого показателя качества зерна.

Руководствуясь данными Таблицы 3 при озонной обработке, например при дезинсекции или другой какой-либо операции, одновременно с основной задачей можно улучшить один или несколько показателей качества зерна. Для этого следует проводить озонирование, придерживаясь предложенных ре-

Таблица 3

Рациональные режимы озонной обработки зерна при исследуемых условиях

Показатель	Режим озонирования, при котором получен наилучший показатель	
	Среднее время обработки, мин	Средняя доза обработки, мин·мг/м ³
Содержание клейковины	176	313
Качество клейковины ИДК	15	25
Содержание белка	144	272,5
Стекловидность	71	101
Содержание жира	96	185
В среднем	100	179

жимов. Если в каждом диапазоне определить среднее значение, то впоследствии можно их усреднить и тем самым найти рациональное время озонной обработки равное 100 мин и дозу — 179 мин · мг/м³. Этот режим позволит с максимальной эффективностью и минимальными отклонениями повысить качество озонированного зерна. Увеличивать продолжительность озонной обработки или применять большие дозы не рекомендуется из-за снижения некоторых показателей качества зерна.

ВЫВОДЫ

Таким образом, заявленную цель исследований по определению рациональных режимов озонной обработки зерна озимой пшеницы, которые позволяют получить наилучшие его качественные показатели в заданных условиях достичь удалось. Для улучшения качества зерна можно применять озонную обработку. Результаты исследований оказались ожидаемыми, поскольку озон влияет на целый спектр показателей, что способствует изменению характера протекающих в зерне процессов. В исследуемых условиях рациональное время озонирования при концентрации озона в озонородной смеси 1,55–1,93 мг/м³ составило 100 мин. Озонная обработка при заданном режиме позволила увеличить содержание клейковины и белка в зерне на 2 %, жира — в 1,2 раза, показатель ИДК возрос на 7 единиц, а стеклоидность — на 4 %. Как правило, сильно меняющиеся внешние параметры среды и объекта

не позволяют поддерживать заданную концентрацию газа, поэтому необходимо ориентироваться на рациональную дозу озонной обработки зернового материала, которая в рассматриваемых условиях составила 179 мг · мин/м³. Несмотря на то что, результаты исследований вполне соотносимы с наиболее приближенными по цели экспериментами, всё же имеются отличительные признаки, которые выражены в изменении качественных показателей зерна, в котором период послеуборочного дозревания незавершён. Необходимо расширять подобные исследования, как по количеству исследуемых факторов, так и по диапазону их варьирования. Это позволит в будущем лучше понять биохимические процессы, протекающие внутри зерновки при контакте с озоном и дать более точные практические рекомендации по применению процесса озонирования с целью улучшения качественных показателей зерна при озонной обработке с концентрацией озона в озонородной смеси до 5 мг/м³.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Баскаков Иван Васильевич — концептуализация, разработка методологии исследования, создание рукописи и её редактирование.

Оробинский Владимир Иванович — научное руководство исследованием, администрирование проекта.

Гиевский Алексей Михайлович — курирование данных, верификация данных, формальный анализ данных.

Чернышов Алексей Викторович — визуализация, проведение исследования, работа с программным обеспечением

Чернова Ольга Васильевна — ресурсы, создание черновика рукописи

ЛИТЕРАТУРА

- Авдеева, В. Н., & Безгина, Ю. А. (2013). Воздействие озонированного воздуха на качественные показатели пшеницы. *Вестник АПК Ставрополя*, (2), 97–100.
- Авдеева, В. Н., & Безгина, Ю. А. (2014). Влияние озона на качественные показатели озимой пшеницы. В *Аграрная наука, образование, производство: актуальные вопросы: Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием* (с. 131–133). Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет.
- Авдеева, В. Н., Безгина, Ю. А., & Молчанов, А. Г. (2013а). Влияние озона на электропроводность зерна пшеницы. В *Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: Материалы 77 научно-практической конференции* (с. 3–5). Ставрополь: АГРУС.
- Авдеева, В. Н., Безгина, Ю. А., & Хаджихахметова, О. М. (2013б). Влияние озона на качество клейковины и электропроводность зерна пшеницы. В *Применение современных ресурсосберегающих инновационных технологий в АПК: Материалы III международной научно-практической конференции* (с. 3–5). Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I.
- Авдеева, В. Н., Безгина, Ю. А., Авдеева, В. Н., & Любая, С. И. (2015). Озонирование — экологический способ обеззараживания зерносмесей. *Вестник государственного аграрного университета Северного Зауралья*, (3), 23–29.
- Буханцов, К. Н. (2012а). Озон и аэроионы: Возможности и проблемы использования для сушки зерна (Часть 1). *Хранение и переработка сельхозсырья*, (8), 11–17.
- Буханцов, К. Н. (2012б). Озон и аэроионы: Возможности и проблемы использования для сушки зерна (Часть 2). *Хранение и переработка сельхозсырья*, (9), 13–16.
- Буханцов, К. Н. (2012в). Озон и аэроионы: Возможности и проблемы использования для сушки зерна (Часть 3). *Хранение и переработка сельхозсырья*, (10), 18–20.
- Голубкович, А. В., Рудобашта, С. П., & Нуриев, Н. Н. (2002). Энергосбережение при активном вентилировании и низкотемпературной сушке зерна озono-воздушной смесью. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (8), 59–60.
- Долговых, О. Г., & Огнев, В. Н. (2014). Экологически безопасная предпосевная обработка семян пшеницы. *Инженерный вестник Дона*, (4), Статья 2565.
- Закладной, Г. А., & Осман, М. А. М. (2011). Биологическая оценка озона как средства борьбы с вредителями зерна и зернопродуктов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (5), 8–9.
- Закладной, Г. А., Саеид, Е. К. М., & Когтева, Е. Ф. (2003). Биологическая активность озона в отношении вредителей зерна — рисового долгоносика и амбарного долгоносика. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 59–61.
- Морозова, Т. М. (2020). Воздействие озонозовоздушного потока на посевные и фитосанитарные качества зерна яровой пшеницы. *Владимирский земледелец*, (4), 37–40. <https://doi.org/10.24411/2225-2584-2020-10143>
- Нечаев, В. Н. (2022). Изучение физических способов и технических средств обеззараживания зерна: сетевой анализ. *Аграрный научный журнал*, (8), 90–97. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i8pp90-97>
- Нормов, Д. А., & Федоренко, Е. А. (2009). Обеззараживание зерна озонированием. *Комбикорма*, (4), 44.
- Пахомов, В. И., Максименко, В. А., & Буханцов, К. Н. (2013а). Энергосберегающая технология комбинированной высокотемпературной конвективной сушки и озono-воздушной обработки зерна (Часть 1). *Хранение и переработка сельхозсырья*, (5), 19–25.
- Пахомов, В. И., Максименко, В. А., & Буханцов, К. Н. (2013б). Энергосберегающая технология комбинированной высокотемпературной конвективной сушки и озono-воздушной обработки зерна (Часть 2). *Хранение и переработка сельхозсырья*, (6), 23–27.
- Пинчук, Л. Г., Сигачева, М. А., & Гридина, С. Б. (2014). Оценка белковистости зерна яровой мягкой пшеницы под влиянием предпосевного озонирования семян в Кузнецкой лесостепи. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, (9), 5–8.
- Сигачева, М. А. (2015). Влияние предпосевного озонирования семян на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в Кузнецкой лесостепи [Кандидатская диссертация, Кемеровский государственный сельскохозяйственный университет]. Кемерово, Россия.
- Сигачева, М. А., & Пинчук, Л. Г. (2012). Влияние предпосевного озонирования на химический состав зерна. В *Тенденции сельскохозяйственного производства в современной России: Материалы XI международной научно-практической конференции* (с. 129–131). Кемерово: Экспо-Сибирь.
- Сорокин, А. Н., & Морозова, Т. М. (2018). Влияние озонирования семян на урожайность и показатели качества зерна яровой пшеницы. *Владимирский земледелец*, (3), 32–35.
- Baskakov, I. V., Orobinsky, V. I., Gievsky, A. M., Gulevsky, V. A., & Chernyshov, A. V. (2022). Grain disinfestation with ozone-air mixture. *Earth and Environmental Science*, 1043, Article 012037. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012037>
- Baskakov, I. V., Orobinsky, V. I., Gulevsky, V. A., Gievsky, A. M., & Chernyshov, A. V. (2020a). Influence of ozonation in seed storage on corn grain yield and its quality. *Earth and Environmental Science*, 488, Article 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/488/1/012007>
- Baskakov, I. V., Orobinsky, V. I., Gulevsky, V. A., Gievsky, A. M., & Chernyshov, A. V. (2020b). Studies of the ozonation process when drying grain. *Earth and Environmental Sci-*

- ence, 422, Article 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012009>
- László, Z., Hovorka-Horváth, Z., Beszédes, S., Kertész, S., Gyimes, E., & Hodúr, C. (2008). Comparison of the effects of ozone, UV and combined ozone / UV treatment on the color and microbial counts of wheat flour. *Ozone: Science and Engineering*, 30(6), 413–417. <https://doi.org/10.1080/01919510802474607>
- ## REFERENCES
- Avdeeva, V. N., & Bezgina, Yu. A. (2013). Vozdeistvie ozonirovannogo vozdukh na kachestvennye pokazateli pshenitsy [The effect of ozonated air on the quality indicators of wheat]. *Vestnik APK Stavropol'ya* [Bulletin of Agroindustrial Complex of Stavropol], (2), 97–100.
- Avdeeva, V. N., & Bezgina, Yu. A. (2014). Vliyanie ozona na kachestvennye pokazateli ozimoi pshenitsy [The effect of ozone on the quality indicators of winter wheat]. In *Agrarnaya nauka, obrazovanie, proizvodstvo: aktual'nye voprosy: Sbornik trudov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Agricultural science, education, production: Topical issues: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation] (pp. 131–133). Novosibirsk: Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet.
- Avdeeva, V. N., Bezgina, Yu. A., & Khadzhiakhmetova, O. M. (2013a). Vliyanie ozona na kachestvo kleikoviny i elektroprovodnost' zerna pshenitsy [The effect of ozone on gluten quality and electrical conductivity of wheat grain]. In *Primenenie sovremennykh resursoberegayushchikh innovatsionnykh tekhnologii v APK: Materialy III mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [The application of modern resource-saving innovative technologies in agriculture: Materials of the 3rd international scientific and practical conference] (pp. 3–5). Voronezh: Voronezhskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet imeni Imperatora Petra I.
- Avdeeva, V. N., Bezgina, Yu. A., & Molchanov, A. G. (2013b). Vliyanie ozona na elektroprovodnost' zerna pshenitsy [The effect of ozone on the electrical conductivity of wheat grain]. In *Metody i tekhnicheskie sredstva povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya elektrooborudovaniya v promyshlennosti i sel'skom khozyaistve: Materialy 77 nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Methods and technical means of increasing the efficiency of the use of electrical equipment in industry and agriculture: Materials of the 77th scientific and practical conference] (pp. 3–5). Stavropol': AGRUS.
- Avdeeva, V. N., Bezgina, Yu. A., Avdeeva, V. N., & Lyubaya, S. I. (2015). Ozonirovanie — ekologicheskii sposob obezzarazhivaniya zernosmesei [Ozonation is an ecological method of disinfection of grain mixtures]. *Vestnik gosudarstvennogo agrarnogo universiteta Severnogo Zaural'ya* [Bulletin of the State Agrarian University of the Northern Trans-Urals], (3), 23–29.
- Prudente, A., & King, J. M. (2002). Efficacy and safety evaluation of ozonation to degrade aflatoxin in corn. *Journal of Food Science*, 67(6), 2866–2872. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2002.TB08830.X>
- Rozado, A. F., Faroni, L. R. D., Urruchi, W.M. I., Guedes, R. N. C., & Paes, J. L. (2008). Aplicação de ozônio contra Sitophilus zeamais e Tribolium castaneum em milho armazenado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(3), 282–285. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662008000300009>
- Bukhantsov, K. N. (2012a). Ozon i aeroiony: Vozmozhnosti i problemy ispol'zovaniya dlya sushki zerna (Chast' 1) [Ozone and aeroions: Possibilities and problems of use for grain drying (Part 1)]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (8), 11–17.
- Bukhantsov, K. N. (2012b). Ozon i aeroiony: Vozmozhnosti i problemy ispol'zovaniya dlya sushki zerna (Chast' 2) [Ozone and aeroions: Possibilities and problems of use for grain drying (Part 2)]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (9), 13–16.
- Bukhantsov, K. N. (2012c). Ozon i aeroiony: Vozmozhnosti i problemy ispol'zovaniya dlya sushki zerna (Chast' 3) [Ozone and aeroions: Possibilities and problems of use for grain drying (Part 3)]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (10), 18–20.
- Dolgovykh, O. G., & Ognev, V. N. (2014). Ekologicheski bezopasnaya predposevnaya obrabotka semyan pshenitsy [Environmentally safe pre-sowing treatment of wheat seeds]. *Inzhenernyi vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], (4), Article 2565.
- Golubkovich, A. V., Rudobashta, S. P., & Nuriev, N. N. (2002). Energoberezhenie pri aktivnom ventilirovani i nizkotemperaturnoi sushke zerna ozono-vozdushnoi smes'yu [Energy saving during active ventilation and low-temperature drying of grain with an ozone-air mixture]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (8), 59–60.
- Morozova, T. M. (2020). Vozdeistvie ozonovozdushnogo potoka na posevnye i fitosanitarnye kachestva zerna yarovoi pshenitsy [The effect of ozone-air flow on the sowing and phytosanitary qualities of spring wheat grain]. *Vladimirskii zemledelets* [Vladimir Farmer], (4), 37–40. <https://doi.org/10.24411/2225-2584-2020-10143>
- Nechaev, V. N. (2022). Izuchenie fizicheskikh sposobov i tekhnicheskikh sredstv obezzarazhivaniya zerna: setevoi analiz [Study of physical methods and technical means of grain disinfection: network analysis]. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal* [Agricultural Scientific Journal], (8), 90–97. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i8pp90-97>
- Normov, D. A., & Fedorenko, E. A. (2009). Obezzarazhivanie zerna ozonirovaniem [Disinfection of grain by ozonation]. *Kombikorma* [Compound Feed], (4), 44.
- Pakhomov, V. I., Maksimenko, V. A., & Bukhantsov, K. N. (2013a). Energoberegayushchaya tekhnologiya kom-

- binirovannoi vysokotemperaturnoi konvektivnoi sushki i ozono-vozdushnoi obrabotki zerna (Chast' 1) [Energy-saving technology of combined high-temperature convective drying and ozone-air grain processing (Part 1)]. *Khrenenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (5), 19–25.
- Pakhomov, V. I., Maksimenko, V. A., & Bukhantsov, K. N. (2013b). Energoberegayushchaya tekhnologiya kombinirovannoi vysokotemperaturnoi konvektivnoi sushki i ozono-vozdushnoi obrabotki zerna (Chast' 2) [Energy-saving technology of combined high-temperature convective drying and ozone-air grain processing (Part 2)]. *Khrenenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (6), 23–27.
- Pinchuk, L. G., Sigacheva, M. A., & Gridina, S. B. (2014). Otsenka belkovistosti zerna yarovoi myagkoi pshenitsy pod vliyaniem predposevnogo ozonirovaniya semyan v Kuznetskoi lesostepi [Evaluation of the protein content of spring soft wheat grain under the influence of pre-sowing ozonation of seeds in the Kuznetsk forest-steppe]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University], (9), 5–8.
- Sigacheva, M. A. (2015). *Vliyanie predposevnogo ozonirovaniya semyan na urozhainost' i kachestvo zerna yarovoi myagkoi pshenitsy v Kuznetskoi lesostepi* [The effect of pre-sowing ozonation of seeds on the yield and grain quality of spring soft wheat in the Kuznetsk forest-steppe] [Candidate Dissertation, Kemerovskii gosudarstvennyi sel'skokhozyaistvennyi universitet]. Kemerovo, Russia.
- Sigacheva, M. A., & Pinchuk, L. G. (2012). Vliyanie predposevnogo ozonirovaniya na khimicheskii sostav zerna [The effect of pre-sowing ozonation on the chemical composition of grain]. In *Tendentsii sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva v sovremennoi Rossii: Materialy XI mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [The Trends of agricultural production in modern Russia: Materials of the 11th International Scientific and Practical Conference] (pp. 129–131). Kemerovo: Ekspo-Sibir'.
- Sorokin, A. N., & Morozova, T. M. (2018). Vliyanie ozonirovaniya semyan na urozhainost' i pokazateli kachestva zerna yarovoi pshenitsy [The effect of seed ozonation on the yield and quality indicators of spring wheat grain]. *Vladimirskii zemledelets* [Vladimir Farmer], (3), 32–35.
- Zakladnoi, G. A., & Osman, M. A. M. (2011). Biologicheskaya otsenka ozona kak sredstva bor'by s vreditelyami zerna i zernoproduktov [Biological assessment of ozone as a means of pest control of grain and grain products]. *Khrenenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (5), 8–9.
- Zakladnoi, G. A., Saeed, E. K. M., & Kogteva, E. F. (2003). Biologicheskaya aktivnost' ozona v otnoshenii vreditel' zerna — risovogo dolgonosika i ambarnogo dolgonosika [Biological activity of ozone against grain pests — rice weevil and barn weevil]. *Khrenenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (4), 59–61.
- Baskakov, I. V., Orobinsky, V. I., Gievsky, A. M., Gulevsky, V. A., & Chernyshov, A. V. (2022). Grain disinfestation with ozone-air mixture. *Earth and Environmental Science*, 1043, Article 012037. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012037>
- Baskakov, I. V., Orobinsky, V. I., Gulevsky, V. A., Gievsky, A. M., & Chernyshov, A. V. (2020a). Influence of ozonation in seed storage on corn grain yield and its quality. *Earth and Environmental Science*, 488, Article 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/488/1/012007>
- Baskakov, I. V., Orobinsky, V. I., Gulevsky, V. A., Gievsky, A. M., & Chernyshov, A. V. (2020b). Studies of the ozonation process when drying grain. *Earth and Environmental Science*, 422, Article 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012009>
- László, Z., Hovorka-Horváth, Z., Beszédes, S., Kertész, S., Gyimes, E., & Hodúr, C. (2008). Comparison of the effects of ozone, UV and combined ozone / UV treatment on the color and microbial counts of wheat flour. *Ozone: Science and Engineering*, 30(6), 413–417. <https://doi.org/10.1080/01919510802474607>
- Prudente, A., & King, J. M. (2002). Efficacy and safety evaluation of ozonation to degrade aflatoxin in corn. *Journal of Food Science*, 67(6), 2866–2872. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2002.TB08830.X>
- Rozado, A. F., Faroni, L. R. D., Urruchi, W. M. I., Guedes, R. N. C., & Paes, J. L. (2008). Aplicação de ozônio contra *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em milho armazenado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(3), 282–285. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662008000300009>

УДК 664.691:633.112.6

Использование зерна полбы сорта Греммэ в макаронном производстве

Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева

Г. А. Осипова, Е. В. Хмелева

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Хмелева Евгения Викторовна

Адрес: 302026, г. Орел,
ул. Комсомольская, д. 95
E-mail: hmelevaev@bk.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Осипова, Г. А., & Хмелева, Е. В. (2023).
Использование зерна полбы сорта
Греммэ в макаронном производстве.
Хранение и переработка сельхозсырья,
(1), 190–199. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.378>

ПОСТУПИЛА: 26.12.2022

ПРИНЯТА: 05.03.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время и в России, и за рубежом полба завоевывает популярность как диетический продукт здорового питания. Мука из зерна полбы находит широкое применение в производстве хлебобулочных, макаронных, мучных кондитерских изделий, регулярное потребление которых способствует укреплению иммунитета, улучшению работы сердечнососудистой, пищеварительной и репродуктивной систем, снижает риск развития анемии, инфекционных и онкологических заболеваний.

Цель. В работе представлены результаты исследования возможности применения голозерного зерна полбы сорта Греммэ в производстве цельнозерновых макаронных изделий.

Материалы и методы. Объекты исследований: зерно полбы сорта Греммэ урожая 2018 г., выращенное в Орловской области; лабораторные образцы макаронного теста; образцы полуфабрикатов макаронных изделий; лабораторные образцы макаронных изделий; образцы макаронных изделий, выработанных на однокорытном макаронном прессе периодического действия фирмы P. Dominioni. Методы исследований были проведены по показателям: влажность зерна, содержание и свойства клейковины, содержание белка, натура, масса 1000 зерен, общая стекловидность, число падения, содержание крахмала, начальная температура клейстеризации крахмала. Температура максимальной вязкости и вязкость крахмального геля определялась на приборе Амилотест АТ-97 в режиме 2; предельное напряжение сдвига макаронного теста - на приборе СТ-1М; также были определены варочные свойства макаронных изделий.

Результаты. Обоснован способ предварительной подготовки зерна полбы перед его использованием в производстве макаронных изделий. Параметры замачивания: гидро-модуль – 1:1, температура воды – 45 °С, продолжительность замачивания – 45 минут.

Выводы. Изучено влияние продолжительности замачивания зерна полбы сорта Греммэ на количество и свойства сырой клейковины и крахмала, реологические показатели макаронного теста и варочные свойства зерновых макаронных изделий. Потери сухих веществ при варке опытных образцов не превысили 6 %, что соответствует требованиям нормативных документов и характеризует изделия, как изделия высокого качества.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

макаронные изделия, полба, сорт Греммэ, зерно

The Use of Spelt Grain of the Gremme Variety in Pasta Production

Orel State University named
after I.S. Turgenev

Galina A. Osipova, Evgeniya V. Khmeleva

CORRESPONDENCE:

Evgeniya V. Khmeleva

Address: 95 Komsomolskaya str.,
Orel, 302026

E-mail: hmelevaev@bk.ru

FOR CITATIONS:

Osipova, G. A., & Khmeleva, E. V. (2023).
The use of spelt grain of the gremme
variety in pasta production. *Storage
and Processing of Farm Products*, (1),
190–199. [https://doi.org/10.36107/
spfp.2023.378](https://doi.org/10.36107/spfp.2023.378)

RECEIVED: 26.12.2022

ACCEPTED: 05.03.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background. Currently, both in Russia and abroad, spelt is gaining popularity as a dietary product of healthy nutrition. Spelt grain flour is widely used in the production of bakery, pasta, flour confectionery products, regular consumption of which helps to strengthen the immune system, improve the functioning of the cardiovascular, digestive and reproductive systems, reduces the risk of anemia, infectious and oncological diseases.

Purpose. The paper presents the results of a study of the possibility of using bare grain spelt of the Gremme variety in the production of whole-grain pasta.

Materials and Methods. Objects of research: spelt grain of the Gremme variety of the 2018 harvest, grown in the Orel region; laboratory samples of pasta dough; samples of semi-finished pasta; laboratory samples of pasta; samples of pasta produced on a single-root pasta press of periodic action by P. Dominioni. The research methods were carried out according to the following indicators: grain moisture, gluten content and properties, protein content, nature, weight of 1000 grains, total vitreousness, number of drops, starch content, initial temperature of starch gelatinization. The temperature of the maximum viscosity and viscosity of the starch gel were determined on the Amilotest AT-97 device in mode 2; the maximum shear stress of the pasta dough was determined on the ST-1M device; the cooking properties of pasta were also determined.

Results. The method of preliminary preparation of spelt grain before its use in the production of pasta is substantiated. Soaking parameters: hydromodule – 1:1, water temperature – 45 °C, soaking duration – 45 minutes.

Conclusions. The influence of the duration of soaking of Gremme spelt grain on the amount and properties of raw gluten and starch, rheological parameters of pasta dough and cooking properties of grain pasta has been studied. The loss of dry matter during the cooking of prototypes did not exceed 6%, which meets the requirements of regulatory documents and characterizes the products as high-quality products.

KEYWORDS

pasta, spelt, Gremme variety, grain

ВВЕДЕНИЕ

Полба представляет собой особый вид пшеницы и является, по сути, прародительницей всех сортов современной мягкой пшеницы. Полба, несмотря на свое происхождение (страны Ближнего Востока), считается исконно русским продуктом. В настоящее время и в России, и за рубежом полба завоёвывает популярность как продукт здорового питания. Предприятия, занятые выращиванием и переработкой этой культуры на крупу и муку, обычно позиционируют ее как органический продукт премиум-класса. В качестве достоинств этой культуры отмечаются: нетребовательность к почвенно-климатическим условиям; высокое (относительно даже твердозерной пшеницы) содержание белка; отличная от современной пшеницы структура протеина. В 1991 г. Международной ассоциацией пищевой аллергии США были проведены клинические исследования доказывающие, что клейковина полбы в половине случаев не вызывает аллергии у людей, чувствительных к этому компоненту в зерне (Escarnot et al., 2012). Мука из зерна полбы находит широкое применение в производстве хлебобулочных, макаронных, мучных кондитерских изделий.

Запатентованы способы производства макаронной муки или крупы типа манная, а также муки из зерна полбы, рекомендованные к использованию в мукомольной, макаронной и кондитерской промышленности¹. Баженовой И.А. исследованы технологические свойства зерна полбы и разработаны рецептуры кулинарной продукции с использованием зерна полбы, оптимизированные по содержанию белка и аминокислотному составу (Баженова, 2004; Темирбекова и соавт., 2020; Хмелева и соавт., 2017). Крюковой Е.В. и др. проведен ряд исследований по использованию полбяной муки при производстве мучных кондитерских изделий. Добавление полбяной муки (5 % — 40 %) взамен пшеничной при замесе песочного теста существенно сказывается на вкусе, аромате и цвете печенья, намокаемость печенья увеличивается на 12 %, что является положительным фактором, так как характеризует более рассыпчатую структуру (Крюкова и соавт., 2016; Крюкова и соавт., 2014).

Разработаны рецепты хлебобулочных изделий на основе ржаной и полбяной муки с использованием термофильной гречневой закваски. Установлено, что использование полбяной муки снижает влажность хлеба, улучшает его пористость, и в значительной степени влияет на вкус и аромат готовых изделий, а также способствует повышению пищевой и биологической ценности хлебобулочных изделий (Иунихина, 2015; Богатырева и соавт., 2013). Хмелевой Е.В. разработаны технологические решения, позволяющие рекомендовать шелушеное зерно полбы для производства зернового хлеба, заключающиеся в добавлении на стадии замеса теста 4 % сухой пшеничной клейковины и 0,5 % к массе зерна улучшителя хлебопекарного S-5000 (Хмелева и соавт., 2016); 3,8 % — 4,8 % сухой пшеничной клейковины и 0,002 % — 0,005 % аскорбиновой кислоты (Хмелева & Проничева, 2017); сухого соевого лецитина²; использовании на стадии замачивания зерна полбы молочной сыворотки (Хмелева, 2017).

Возможность применения муки из зерна полбы для макаронного производства изучается российскими (Малютина & Туренко, 2016; Фазуллина & Смирнов, 2020; Фазуллина и соавт., 2020) и зарубежными исследователями (Filipović et al., 2014). Ими установлено, что макаронное тесто с мукой из полбы получается пластичным, состоящим из мелких комочков, которые хорошо проходят приемные витки шнека. Малютиной Т.Н. и др. (Малютина и соавт., 2015; Малютина и соавт., 2016) изучена возможность использования полбяной муки при производстве макаронных изделий и установлено ее влияние на свойства сырой клейковины, процессы формования и сушки макаронных изделий, свойства полуфабрикатов и готовых макаронных изделий (Малютина, 2016; Малютина, 2015). Авторы считают, что для прессования теста из полбяной муки требуется меньшее давление прессования 5–6 МПа в отличие от теста из хлебопекарной муки (10–12) МПа, что, на наш взгляд, может свидетельствовать о снижении реологических характеристик опытных образцов макаронного теста.

¹ Абрамов, П. С., Кандроков, Р. Х., & Зверев, С. В. (2016). РФ Патент № 2635084. Способ получения макаронной муки или крупы (типа «манная») из зерна полбы. Россия.

² Хмелева, Е. В., Румянцева, В. В., Березина, Н. А., & Хмелев, А. С. (2020). РФ Патент № 2740105. Способ производства зернового хлеба. Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева.

Внесение в рецептуру макаронных изделий полбяной муки позволяет обогатить их белком, ненасыщенными жирными кислотами и минеральными веществами. Фазулина и Смирнов (2020) представили результаты исследований разработанных рецептур макаронных изделий из нетрадиционного сырья, отвечающих современным требованиям здорового питания, предназначенных для диетического лечебного и диетического профилактического питания людей с избыточной массой тела. В качестве основного сырья выбрана мука цельнозерновая полбяная, а как дополнительное сырье — гречневая мука, порошки брокколи и сельдерея (Фазулина & Смирнов, 2020; Фазулина и соавт., 2020).

Ранее проведенными авторами данной статьи исследованиями установлены рациональные дозировки муки из полбы для производства макаронных изделий. Экспериментально доказана возможность использования смеси полбяной и пшеничной муки и пшеничных отрубей для получения качественной макаронной продукции, при этом обладающей повышенными пищевыми свойствами. Соотношение полбяной и пшеничной муки составляет 50:50 (вариант 1) и 66,7:33,3 (вариант 2), дозировка пшеничных отрубей 6 % к массе муки (Khmeleva et al., 2021)³.

Полба, уже нашла применение в производстве пищевых продуктов и, в частности, при выработке макаронных изделий. Однако в большей степени это относится к муке из полбы. В связи с этим, представляют интерес исследования возможности применения при производстве макаронной продукции целого, предварительно подготовленного зерна полбы.

Теоретическое обоснование

Зерно полбы в колосе покрыто плотным слоем оболочки, хорошо защищающим её от неблагоприятных погодных условий (дождей, засухи), от всевозможных загрязнений и даже от радиоактивного излучения. Но это плотное покрытие зерновки затрудняет обмолот колоса и шелушение зерна при переработке. Именно в связи с этим

выведены новые голозёрные сорта полбы, одним из которых является сорт Греммэ (Рисунок 1).

Сорт Греммэ — первый и единственный сорт голозерной полбы, разновидность — ташкентум, характеризующийся среднеспелостью, урожайностью — 16,1 ц/га. Особенности данного сорта — засухоустойчивость, влагостойкость, жароустойчивость, содержание белка до 19 %, среднерослость, средняя устойчивость к полеганию, хорошие кулинарные качества, устойчивость к грибковым заболеваниям (мучнистая роса, бурая ржавчина, корневая гниль, септориоз). Пшеница полба сорта Греммэ включена в Государственный реестр селекционных достижений в 2012 г.⁴

В 2016 г. полбу сорта Греммэ испытывали на центральном опытном поле Курганского НИИСХ, получив следующие показатели: урожайность — 11,7 ц/га, массу 1000 зерен — 22,7 г, натурную массу — 611 г, стекловидность 72 % (Гилев и соавт., 2017). По данным Темирбековой С.К. (2020), основные показатели качества зерна полбы нового сорта Греммэ: высокая натура — 795 г/л, масса 1000 зерен — 35,6 г, общая стекловидность — 70 %, число падения — 416 с, количество сырой клейковины — 36,7 % при I группе качества (77 ед. ИДК),

Рисунок 1

Полба голозерная сорта Греммэ



³ Осипова, Г. А., Хмелева, Е. В., & Серегина, Т. В. (2020). РФ Патент № 2741104. *Состав теста для макаронных изделий (варианты)*. Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева.

⁴ Государственный реестр селекционных достижений. <http://oph-krasavskoe.ru/catalog/spring-wheat-hard/gremme>

содержание белка — 18,05% (на абсолютно сухое вещество), высокое содержание сырой клетчатки — 1,8%, содержание важных элементов Mn, Fe и Zn — 55,5% — 87,5%.

Проведенный анализ позволил аргументированно подойти к выбору данной культуры, использование которой для производства цельнозерновых макаронных изделий позволит не только получить продукт повышенной пищевой ценности, но и расширить ассортиментную линейку макаронной продукции. Именно особенность зерна сорта Гремме — голозерность, может позволить, на наш взгляд, использовать его в производстве макаронных изделий без предварительного замачивания или серьезно сократить процесс предварительной подготовки зерна (замачивание), целью которого является набухание зерна и размягчение его оболочек, поскольку необходимо максимально сохранить исходное количество и качество основного структурообразователя для макаронного производства — сырой клейковины. Так как, известно, что в процессе длительного замачивания снижается количество отмываемой сырой клейковины, а ее физические свойства ослабевают. Именно это впоследствии может оказать отрицательное влияние на качество готовых макаронных изделий.

Цель данного исследования — исследование возможности использования целого зерна полбы сорта Гремме в производстве макаронных изделий. Исследовательские вопросы, на которые призвано ответить исследование: (1) Требуется ли предварительное замачивание голозерного зерна полбы сорта Гремме? (2) Влияет ли продолжительности замачивания зерна полбы сорта Гремме на свойства крахмала, реологические показатели макаронного теста и варочные свойства макаронных изделий?

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Объектами исследований являлись:

- (1) зерно полбы сорта Гремме урожая 2018 г., выращенное в Орловской области. Показатели качества зерна: натура — 745 г/л, масса 1000 зерен — 31,2 г, общая стекловидность — 74%, число падения — 350 с, количество сырой клейковины — 23,16% при II группе качества (92,5 ед. прибора ИДК), содержание белка — 13,9% (на абсолютно сухое вещество), содержание крахмала — 62,6%.
- (2) лабораторные образцы макаронного теста;
- (3) образцы полуфабрикатов макаронных изделий;
- (4) лабораторные образцы макаронных изделий;
- (5) образцы макаронных изделий, выработанные на макаронном прессе.

Оборудование

Замес макаронного теста в лабораторных условиях осуществляли на тестомесильной машине У1-ЕТК, формование полуфабрикатов макаронных изделий — на лапшережке фирмы Bekker. Сушку полуфабрикатов макаронных изделий осуществляли в сушилке VES Electric. Выработку опытных образцов макаронных изделий также осуществляли на однокорытном макаронном прессе периодического действия фирмы P. Dominioni (Италия).

Методы

Методы исследований показателей качества зерна: влажность — по ГОСТ 13586.5–2015⁵, содержание и свойства клейковины — по ГОСТ 54478–2011⁶, содержание белка — по ГОСТ 10846–91⁷, натура — по ГОСТ 10840–2017⁸, масса 1000 зерен — по ГОСТ 10842–89⁹, общая стекловидность — по ГОСТ 10987–

⁵ ГОСТ 13586.5–2015. (2019). *Зерно. Метод определения влажности*. М.: Стандартинформ.

⁶ ГОСТ Р 54478–2011. (2012). *Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице*. М.: Стандартинформ.

⁷ ГОСТ 10846–91. (2012). *Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка*. М.: Стандартинформ.

⁸ ГОСТ 10840–2017. (2019). *Зерно. Метод определения натуры*. М.: Стандартинформ.

⁹ ГОСТ 10842–89. (2009). *Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур*. М.: Стандартинформ.

76¹⁰, число падения — по ГОСТ 27676–88¹¹, содержание крахмала — по ГОСТ 10845–98¹².

Определение начальной температуры клейстеризации крахмала, температуры максимальной вязкости крахмального геля и вязкости крахмального геля осуществляли на приборе Амилотест АТ-97 в режиме 2. Предельное напряжение сдвига макаронного теста определяли на приборе СТ-1М с использованием конуса с углом 30 град. Варочные свойства макаронных изделий — по ГОСТ 31964–2012¹³.

Процедура исследования

Предварительную подготовку зерна для производства зерновых макаронных изделий проводили путем замачивания (выдерживания целого зерна в воде) с последующим двойным измельчением (диспергированием) набухшего зерна на электрической мясорубке. На основе диспергированного зерна замешивали тесто. При проведении эксперимента в лабораторных условиях влажность макаронного теста принимали 39,5 %, температуру воды, идущей на замес, 45 °С. Продолжительность замеса макаронного теста в лабораторных условиях на тестомесильной машине У1-ЕТК составляла 45 сек. Параметры сушильного воздуха: предварительная сушка изделий — температура 55 °С, окончательная сушка — 45 °С; относительная влажность воздуха 58 % — 60 %.

Анализ данных

Обработку результатов исследований производили с применением статистического метода обработки экспериментальных данных, определяя средние значения вычисляемой величины на основе не менее трех повторных определений. Достоверность различий средних проводили методом дисперсионного анализа с применением апостериорного анализа по критерию Тьюки при $p < 0,05$ с использованием пакета программ Statistica 6.0

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для обоснования использования голозерного зерна полбы сорта Греммэ в технологии цельнозерновых макаронных изделий необходимо исследовать влияние продолжительности замачивания зерна на основные его показатели: клейковину и крахмал, а также на структурно-механические свойства макаронного теста и качество макаронных изделий.

Технология производства макаронных изделий из цельного зерна предусматривает стадию предварительной подготовки зерна — замачивание с целью набухания и размягчения оболочек, позволяющее диспергировать и получать однородную массу. Основываясь на результатах исследований¹⁴, нами были выбраны следующие условия замачивания: соотношение воды и зерна при замачивании — 1:1; температура воды для замачивания зерна — 45 °С. Процесс замачивания зерна осуществляли в течение 30 (образец 1) и 45 (образец 2) минут, по истечении которых определяли влажность зерновой массы. Установлено, что в первом случае она составила 25,9 %, а во втором — 26,5 %. Далее решено было не увеличивать продолжительность процесса замачивания, а замоченное зерно откинуть на сито, дать стечь лишней влаге (3–5 минут) и дважды диспергировать. Полученную зерновую массу для исследования количества и свойств сырой клейковины подсушивали в трехдверной шкафной сушилке при температуре не более 60 °С в течение 30 минут и далее досушивали в условиях лаборатории до влажности зерна, равной 13–14 %. Затем зерновую массу измельчали на лабораторной мельнице и пропускали через сито с размером ячеек 0,9 мм. Выход составил 98 % — 98,6 %. В качестве контрольного образца использовали очищенное от примесей, измельченное и пропущенное через сито с размером ячеек 0,9 мм зерно полбы сорта Греммэ, не прошедшее стадию замачивания.

¹⁰ ГОСТ 10987–76. (2009). *Зерно. Методы определения стекловидности*. М.: Стандартинформ.

¹¹ ГОСТ 27676–88. (2009). *Зерно и продукты его переработки. Метод определения числа падения*. М.: Стандартинформ.

¹² ГОСТ 10845–98. (2009). *Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала*. М.: Стандартинформ.

¹³ ГОСТ 31964–2012. (2014). *Изделия макаронные. Правила приемки и методы определения качества*. М.: Стандартинформ.

¹⁴ Корячкина, С. Я., Осипова, Г. А., & Киселева, Т. В. (2004). РФ Патент № 2262270. *Способ производства макаронных изделий*. Орел: Орловский государственный технический университет.

Результаты исследований влияния продолжительности замачивания зерна полбы сорта Греммэ на содержание сырой и сухой клейковины, показатель ИДК, водопоглотительную способность представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Количество и качество клейковины зерна полбы сорта Греммэ

Наименование показателя	Наименования образца:		
	без замачивания	30 минут	45 минут
Содержание сырой клейковины, %	23,16 ± 0,3	23,48 ± 0,3	23,88 ± 0,3
Содержание сухой клейковины, %	8,52 ± 0,1	8,77 ± 0,1	8,88 ± 0,1
ИДК, ед.пр.	92,50	87,50	75,00
Водопоглотительная способность, %	172,00	178,10	203,00

Результаты экспериментальных исследований показали, что при замачивании зерна в течение установленного времени содержание сырой клейковины в некоторой степени увеличивалось по сравнению с контрольным образцом (на 0,32 % — 0,72 %). Это можно было бы объяснить увеличением водопоглотительной способности сырой клейковины опытных образцов (178,1 % и 203 % соответственно против 172 % у контроля), однако при этом установлено её одновременное укрепление (показатель ИДК снизился на 5 и 12,5 ед.пр. соответственно). Отсюда возникло предположение, что, возможно, в структуру сырой клейковины чисто физически встроились тонко измельченные отрубьянистые частицы (пищевые волокна) зерна полбы, тем более, что они хорошо просматривались визуально. Вероятно, этому могло способствовать то, что зерно полбы данного сорта имеет высокое содержание глиадиновой фракции, о чем упоминается в работе (Малютина, 2016), авторы которой указывали на то, что при отмывании сырой клейковины ими была отмечена её повышенная липкость. Надо отметить, что при высушивании отмывой сырой клейковины перед взвешиванием, нами так же было отмечено данное её свойство.

Кроме этого, возможно, и наличие белково-полисахаридного взаимодействия между белковыми ве-

ществами зерна полбы и её тонко измельченными полисахаридами, что также могло способствовать увеличению массы сырой клейковины.

И первое, и второе предположения подтверждаются увеличением массы сухой клейковины (на 0,25 % и 0,36 % соответственно). Кстати, именно присутствие отрубьянистых частиц в составе сырой клейковины объясняет повышение её водопоглотительной способности. Зафиксировано изменение цвета сырой клейковины опытных образцов по сравнению с цветом контрольного образца. Клейковина опытных образцов была темнее.

Проведенный эксперимент показал то, что, несмотря на то, что данный сорт зерна полбы, — голозерный, процесс замачивания зерна даже такое непродолжительное время — 30 мин и 45 мин (а это и правильно, с точки зрения макаронного производства) необходим, поскольку способствует укреплению свойств сырой клейковины, что имеет существенное значение при выработке макаронных изделий.

Результаты исследования изменения свойств крахмала в зависимости от наличия и продолжительности стадии замачивания зерна представлены в Таблице 2.

Таблица 2

Свойства крахмала зерна полбы сорта Греммэ

Наименование показателя	Наименования образца:		
	контроль	образец 1	образец 2
Температура начала клейстеризации, °C	73,50	75,00	74,50
Температура максимальной вязкости крахмального геля, °C	89,50	90,0	89,50
Вязкость крахмального геля, (усилие перемешивания, Н)	3,36	3,38	3,46

По данным Таблицы 2, в процессе непродолжительного замачивания существенных изменений свойств крахмала не произошло. Некоторые изменения в отношении исследуемых показателей, вероятно, могут быть связаны с различным соотношением крахмальных зерен разных размеров.

Реологические свойства макаронного теста из диспергированной зерновой массы исследовали после замеса на приборе Структурометр. СТ-1М. Полученные результаты приведены в Таблице 3.

Таблица 3

Реологические свойства макаронного теста

Наименование показателя	Наименования образца:		
	контроль	образец 1	образец 2
Усилие пенетрации, г	63,0	107,0	127,0
Предельное напряжение сдвига, кг/м ²	1414,3	2402,0	2851,0

Как показали полученные результаты, реологические свойства макаронного теста из предварительно замоченного зерна полбы выше аналогичных свойств контрольного образца, причем более длительное замачивание способствует большему укреплению теста. Это связано именно с присутствием в составе теста отрубнистых частиц, которые в том числе способствовали укреплению свойств сырой клейковины, а также оказывали влияние на изменение цвета (потемнение) полуфабрикатов и готовых макаронных изделий.

Далее исследовали варочные свойства готовой продукции, результаты приведены в Таблице 4.

Таблица 4

Варочные свойства зерновых полбяных макаронных изделий

Наименование образца	Наименование показателя			
	Время варки, мин	Сохранность формы, %	Коэффициент увеличения массы	Сухое вещество, перешедшее в варочную воду, %
Контроль	10	100	1,68	8,42 ± 0,2
30 минут	10	100	1,56	5,89 ± 0,2
45 минут	11	100	2,01	5,50 ± 0,2

Анализ показателей варочных свойств зерновых макаронных изделий:

- время варки изделий практически одинаково;
- коэффициент увеличения массы у опытного образца с продолжительностью замачивания зерна 45 минут выше, чем у контроля, что говорит о хорошем качестве изделий;

- сухое вещество, перешедшее в варочную воду при варке контрольного образца превышает 6 %, что объясняется невысоким содержанием сырой клейковины, высоким значением показателя ИДК сырой клейковины (92,5 ед.пр.), и более низкими реологическими свойствами теста по сравнению с показателями опытных образцов. Для опытных образцов зерновых макаронных изделий потери сухих веществ ниже 6 %. На это повлияло, на наш взгляд, именно присутствие отрубнистых частиц в структуре сырой клейковины, что явилось следствием замачивания зерна полбы. И именно такое свойство данного сорта, как большая доля глиадиновой фракции, сыграло существенную роль в формировании хорошего качества готовых макаронных изделий.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования доказали возможность использования целого зерна полбы сорта Греммэ в производстве макаронных изделий. В работе показана необходимость и целесообразность предварительного замачивания зерна полбы сорта Греммэ до его использования при выработке макаронных изделий. Параметры замачивания: гидромодуль — 1:1, температура воды — 45 °С, продолжительность замачивания — 45 минут. Исследовано влияние предварительно замоченного, дважды диспергированного, высушенного и просеянного зерна полбы сорта Греммэ на количество и свойства сырой клейковины, результаты которого и доказали необходимость и целесообразность процесса предварительного замачивания зерна полбы. Исследовано влияние предварительно замоченного, дважды диспергированного, высушенного и просеянного зерна полбы сорта Греммэ на свойства крахмала зерна полбы, реологические свойства макаронного теста и варочные свойства готовой макаронной продукции. Потери сухих веществ при варке опытных образцов не превысили 6 %, что соответствует требованиям нормативных документов и характеризует изделия, как изделия высокого качества.

Дальнейшим направлением исследования является определение пищевой и биологической ценности разработанных цельнозерновых макаронных изделий.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Осипова Г.А. — руководство исследованием, концептуализация, методология, проведение исследования, верификация данных, формальный анализ, создание рукописи и её редактирование.

Хмелева Е. В. — проведение исследования, верификация данных, формальный анализ, создание рукописи и её редактирование, визуализация.

ЛИТЕРАТУРА

- Баженова, И. А. (2004). *Исследование технологических свойств зерна полбы и разработка кулинарной продукции с его использованием* [Кандидатская диссертация, Санкт-Петербургский торгово-экономический университет]. СПб., Россия.
- Богатырева, Т. Г., Иунихина, Е. В., & Степанова, А. В. (2013). Использование полбяной муки в технологии хлебобулочных изделий. *Хлебопродукты*, (2), 40–42.
- Гилев, С. Д., Цымбаленко, И. Н., & Мешкова, Н. В. (2017). Урожайность полбы и технологические качества зерна в зависимости от приемов возделывания. *Аграрный вестник Урала*, (5), 12–16.
- Иунихина, Е. В. (2015). *Совершенствование технологии хлебобулочных изделий для здорового питания на основе применения нетрадиционного сырья* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. М., Россия.
- Крюкова, Е. В., Гращенков, Д. В., Лейберова, Н. В., & Чугунова, О. В. (2014). Влияние полбяной муки на качество сдобного печенья. *Кондитерское производство*, (3), 15–17.
- Крюкова, Е. В., Пастушкова, Е. В., & Мысаков, Д. С. (2016). Разработка мучных кондитерских изделий с использованием нетрадиционного сырья. *Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы*, (1), 71–75.
- Малютина, Т. Н., Межова, Т. Н., & Туренко, В. В. (2015). Применение нетрадиционной муки в технологии макаронных изделий. В *Технологии производства пищевых продуктов питания и экспертиза товаров: Сборник научных статей международной научно-практической конференции* (с. 130–132). Курск: Университетская книга.
- Малютина, Т. Н., & Туренко, В. В. (2016). Исследование влияния нетрадиционного вида муки на качество макаронных изделий из мягкой пшеницы. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, (4), 166–171.
- Темирбекова, С. К., Бегеулов, М. Ш., Афанасьева, Ю. В., Куликов, И. М., & Ионова, Н. Э. (2020). Адаптивный потенциал полбы голозерной в условиях второго, третьего и седьмого регионов Российской Федерации. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*, (1), 34–38.
- Фазулина, О. Ф., & Смирнов, С. О. (2020). Исследование пищевой ценности макаронных изделий из полбы с растительными добавками. *Индустрия питания*, 5(2), 61–70. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2020-5-2-8>
- Фазулина, О. Ф., Смирнов, С. О., & Королев, А. А. (2020). Исследование показателей качества макаронных изделий из полбы. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, (1), 126–131. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-1-126-131>
- Хмелева, Е. В., Березина, Н. А., & Жуков, В. Ю. (2017). Технологические решения по применению зерна полбы для производства зернового хлеба. *Хлебопродукты*, (5), 50–55.
- Хмелева, Е. В., Королев, Д. Н., & Пенькова, Ю. В. (2016). Способ производства хлеба из зерна полбы. В *Пищевые инновации и биотехнологии: Материалы конференции* (с. 357–359). Кемерово: Кемеровский государственный университет.
- Хмелева, Е. В., & Проничева, А. В. (2017). Способ подготовки зерна полбы в технологии зернового хлеба. В *Проблемы идентификации, качества и конкурентоспособности потребительских товаров: Материалы конференции* (с. 328–331). Курск: Курский государственный аграрный университет.
- Escarnot, E., Jacquemin, J.-M., & Agneessens, R. (2012). Comparative study of the content and profiles of macronutrients in spelt and wheat: A review. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 16(2), 243–256.
- Filipović, J., Pezo, L., Filipović, N., & Filipović, V. (2014). Optimization of spelt pasta composition, regarding inulin hpx content and eggs quantity. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2(4), 167–173. <https://doi.org/10.12691/jfmr-2-4-6>
- Khmeleva, E., Osipova, G., Seregina, T., & Rogacheva, Yu. (2021). Innovative technology for the production of macaroni products made of emmer wheat flour. In *Agriculture and food security: Technology, innovation, markets, human resources: International Scientific-Practical Conference* (vol. 37, article 82). <https://doi.org/10.1051/bio-conf/20213700082>

REFERENCES

- Bazhenova, I. A. (2004). *Issledovanie tekhnologicheskikh svoystv zerna polby i razrabotka kulinarnoi produktsii s ego ispol'zovaniem* [Research of technological properties of spelt grain and development of culinary products with its use] [Candidate Dissertation, Sankt-Peterburgskii torgovo-ekonomicheskii universitet]. S-Petersburg, Russia.
- Bogatyрева, T. G., Iunikhina, E. V., & Stepanova, A. V. (2013). Ispol'zovanie polbyanoi muki v tekhnologii khlebobulochnykh izdelii [The use of spelt flour in the technology of bakery products]. *Khleboprodukty* [Bread products], (2), 40–42.
- Fazullina, O. F., & Smirnov, S. O. (2020). Issledovanie pishchevoi tsennosti makaronnykh izdelii iz polby s rastitel'nymi dobavkami [Investigation of the nutritional value of spelt pasta with vegetable additives]. *Industriya pitaniya* [Food Industry], 5(2), 61–70. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2020-5-2-8>
- Fazullina, O. F., Smirnov, S. O., & Korolev, A. A. (2020). Issledovanie pokazatelei kachestva makaronnykh izdelii iz polby [Investigation of the quality indicators of spelt pasta]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [The Bulletin of KrasGAU], (1), 126–131. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-1-126-131>
- Gilev, S. D., Tsybalenko, I. N., & Meshkova, N. V. (2017). Urozhainost' polby i tekhnologicheskie kachestva zerna v zavisimosti ot priemov vozdeleyvaniya [The yield of spelt and the technological qualities of grain, depending on the methods of cultivation]. *Agrarnyi vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], (5), 12–16.
- Iunikhina, E. V. (2015). *Sovershenstvovanie tekhnologii khlebobulochnykh izdelii dlya zdorovogo pitaniya na osnove primeneniya netraditsionnogo syr'ya* [Improving the technology of bakery products for healthy nutrition based on the use of non-traditional raw materials] [Candidate Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv]. Moscow, Russia.
- Khmeleva, E. V., & Pronicheva, A. V. (2017). Sposob podgotovki zerna polby v tekhnologii zernovogo khleba [Method of preparation of spelt grain in grain bread technology]. In *Problemy identifikatsii, kachestva i konkurentosposobnosti potrebitel'skikh tovarov: Materialy konferentsii* [The problems of identification, quality and competitiveness of consumer goods: Conference materials] (pp. 328–331). Kursk: Kurskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet.
- Khmeleva, E. V., Berezina, N. A., & Zhukov, V. Yu. (2017). Tekhnologicheskie resheniya po primeneniyu zerna polby dlya proizvodstva zernovogo khleba [Technological solutions for the use of spelt grain for the production of grain bread]. *Khleboprodukty* [Bread Products], (5), 50–55.
- Khmeleva, E. V., Korolev, D. N., & Pen'kova, Yu. V. (2016). Sposob proizvodstva khleba iz zerna polby [A method of producing bread from spelt grain]. In *Pishchevye innovatsii i biotekhnologii: Materialy konferentsii* [Food Innovations and Biotechnology: Conference Proceedings] (pp. 357–359). Kemerovo: Kemerovskii gosudarstvennyi universitet.
- Kryukova, E. V., Grashchenkov, D. V., Leiberova, N. V., & Chugunova, O. V. (2014). Vliyanie polbyanoi muki na kachestvo sdobnogo pechen'ya [The influence of spelt flour on the quality of butter cookies]. *Konditerskoe proizvodstvo* [Confectionery Production], (3), 15–17.
- Kryukova, E. V., Pastushkova, E. V., & Mysakov, D. S. (2016). Razrabotka muchnykh konditerskikh izdelii s ispol'zovaniem netraditsionnogo syr'ya [Development of flour confectionery products using non-traditional raw materials]. *Ratsional'noe pitanie, pishchevye dobavki i biostimulyatory* [Rational Nutrition, Dietary Supplements and Biostimulants], (1), 71–75.
- Malyutina, T. N., & Turenko, V. V. (2016). Issledovanie vliyaniya netraditsionnogo vida muki na kachestvo makaronnykh izdelii iz myagkoi pshenitsy [Investigation of the influence of an unconventional type of flour on the quality of soft wheat pasta]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies], (4), 166–171.
- Malyutina, T. N., Mezheva, T. N., & Turenko, V. V. (2015). Primenenie netraditsionnoi muki v tekhnologii makaronnykh izdelii [The use of non-traditional flour in pasta technology]. In *Tekhnologii proizvodstva pishchevykh produktov pitaniya i ekspertiza tovarov: Sbornik nauchnykh statei mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [The technology of food production and examination of goods: Collection of scientific articles of the international scientific and practical conference] (pp. 130–132). Kursk: Universitetskaya kniga.
- Temirbekova, S. K., Begeulov, M. Sh., Afanas'eva, Yu. V., Kulikov, I. M., & Ionova, N. E. (2020). Adaptivnyi potentsial polby golozernoi v usloviyakh vtorogo, tret'ego i sed'mogo regionov Rossiiskoi Federatsii [Adaptive potential of nudibranch spelt in the conditions of the second, third and seventh regions of the Russian Federation]. *Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Vestnik of the Russian agricultural sciences], (1), 34–38.
- Escarnot, E., Jacquemin, J.-M., & Agneessens, R. (2012). Comparative study of the content and profiles of macronutrients in spelt and wheat: A review. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 16(2), 243–256.
- Filipović, J., Pezo, L., Filipović, N., & Filipović, V. (2014). Optimization of spelt pasta composition, regarding inulin hpx content and eggs quantity. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2(4), 167–173. <https://doi.org/10.12691/jfnr-2-4-6>
- Khmeleva, E., Osipova, G., Seregina, T., & Rogacheva, Yu. (2021). Innovative technology for the production of macaroni products made of emmer wheat flour. In *Agriculture and food security: Technology, innovation, markets, human resources: International Scientific-Practical Conference* (vol. 37, article 82). <https://doi.org/10.1051/bio-conf/20213700082>

УДК 637.07

Отечественные разработки белковых систем типа «Коллаген» для решения задач отраслевого импортозамещения

РЭУ им. Г. В. Плеханова

А. Ю. Соколов

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:**Соколов Александр Юрьевич**

Адрес: 117997, РФ, Москва,

Стремянный переулок, д. 36

E-mail: alrs@inbox.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования

доступны по запросу

у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Соколов, А. Ю. (2023). Отечествен-

ные разработки белковых систем

типа «Коллаген» для решения задач

отраслевого импортозамещения.

Хранение и переработка сельхозсырья,(1), 200–211. [https://doi.org/10.36107/](https://doi.org/10.36107/spfp.2023.326)

spfp.2023.326

ПОСТУПИЛА: 14.11.2022**ПРИНЯТА:** 06.02.2023**ОПУБЛИКОВАНА:** 30.03.2023**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:**

автор сообщает об отсутствии

конфликта интересов.

**АННОТАЦИЯ**

Введение. В контексте решения проблемы белка, представлены технологические решения для рационального использования белковых ресурсов животного происхождения в пищевой промышленности, общественном питании, отрасли первичной обработки сырья животного происхождения, крайне актуальные для АПК РФ в условиях турбулентного рынка и новых геополитических реалий. Давно назрела необходимость отраслевого импортозамещения в отраслях, перерабатывающих сырье животного происхождения, в мясной промышленности и т.д. Отечественные научные разработки могут найти применение для замещения импортных БАДов, белковых добавок, продуктов с торговой маркой «Коллаген» и т.д.

Цель: изучить структуру и свойства белковых систем на основе сложных биополимеров и сформировать рекомендации для внедрения отечественных разработок, активно развиваемых в вузах и НИИ на протяжении 30–40 лет.

Материалы и методы. Для реализации поставленной цели в качестве объекта испытаний были использованы образцы белковых систем на основе волокнистых белков, полученные в лаборатории методом регулируемого гидролиза, а также биологически активные белковые добавки торговой марки «Коллаген». Изучение реологических, микроструктурных и других свойств осуществлялось следующими методами: вискозиметрия ротационная, оптическая микроскопия, растровая электронная микроскопия (Сохет), элементный микроанализ, математическая обработка данных с расчетом стандартных отклонений, графическая аппроксимация данных испытаний стандартными программными средствами.

Результаты. Получены новые данные о структуре, физических, в т.ч. реологических и химических свойствах белковых систем. В частности, реограммы свидетельствовали о нелинейном поведении систем, что позволяет их отнести к псевдопластичным коллоидам. Выполнен анализ элементного состава отдельных белковых систем, что выявило наличие микроэлементов (вследствие влияния сырьевого фактора), функции *in vivo* не полностью выяснены.

Выводы. Обоснованы пути решения проблемы сложных, волокнообразующих биополимеров, получены новые данные о структуре и свойствах сырья и продуктов животного происхождения, освещены практические рекомендации по скорейшему применению (по программе импортозамещения) в биотехнологии, пищевых производствах, мясной промышленности, предприятиях по переработке животного сырья.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

белки, питание, качество, продукция пищевая, мясные продукты

Domestic Developments of Protein Systems Such as "Collagen" for Solving the Problems of Industrial Import Substitution

Plekhanov Russian University
of Economics

Alexander Yu. Sokolov

CORRESPONDENCE:

Alexander Yu. Sokolov

Address: 36, Stremyanny lane, Moscow,
117997, Russian Federation
E-mail: alrs@inbox.ru

FOR CITATIONS:

Sokolov, A. Yu. (2023). Domestic developments of protein systems such as "Collagen" for solving the problems of industrial import substitution. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 200–211. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.326>

RECEIVED: 14.11.2022

ACCEPTED: 06.02.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background. In the context of solving the protein problem, technological solutions for the rational use of protein resources of animal origin in the food industry, public catering, and the primary processing of raw materials of animal origin are presented, which are extremely relevant for the agro-industrial complex of the Russian Federation in the conditions of a turbulent market and new geopolitical realities. There is a long overdue need for sectoral import substitution in industries processing raw materials of animal origin, in the meat industry, etc. Domestic scientific developments can be used to replace imported dietary supplements, protein supplements, products with the trademark "Collagen", etc.

Purpose. To study the structure and properties of protein systems based on complex biopolymers and to form recommendations for the introduction of domestic developments that have been actively developed in universities and research institutes for 30-40 years.

Research materials: protein systems based on fibrous proteins, biologically active protein additives. "Collagens".

Materials and Methods: To achieve this goal, samples of protein systems based on fibrous proteins obtained in the laboratory by the method of controlled hydrolysis, as well as biologically active protein supplements of the Collagen trademark, were used as an object of testing. The study of rheological, microstructural and other properties was carried out by the following methods: rotational viscometry, optical microscopy, scanning electron microscopy (Coxem), elemental microanalysis, mathematical data processing with calculation of standard deviations, graphical approximation of test data by standard software.

Results. New data on the structure, physical, including rheological and chemical properties of protein systems have been obtained. In particular, the rheograms testified to the nonlinear behavior of the systems, which allows them to be attributed to pseudoplastic colloids. The elemental composition of individual protein systems was analyzed, which revealed the presence of trace elements (due to the influence of the raw material factor), the functions in vivo are not fully elucidated.

Conclusions. The ways of solving the problem of complex, fiber-forming biopolymers are substantiated, new data on the structure and properties of raw materials and animal products are obtained, practical recommendations for early application (under the import substitution program) in biotechnology, food production, meat industry, animal raw materials processing enterprises are highlighted.

KEYWORDS

proteins, nutrition, quality, food products, meat products

ВВЕДЕНИЕ

В профессиональных изданиях последних лет подчеркивается мировое значение исследований проблемы белка в питании, связанной с разработкой функциональных пищевых систем. С середины XX столетия известнейшие ученые (Вейс, Несмеянов, Крауфорд и др.) изучали *проблему белка*, разрабатывали новые формы пищи (синтез) с целью выполнения продовольственной программы, что позволило обеспечить население продовольствием. Так, например, акад. А.Н. Несмеянов на базе достижений прикладной химии предложил искусственные продукты питания, структурированную икру, которую можно и сегодня увидеть в торговых сетях. Примерно в то же время (в 1960-е гг.) на Западе также наблюдался бум в исследованиях пищевого белка.

В рамках настоящей работы мы можем выделить проблему рационального использования сырьевых ресурсов промышленности, их технологической проработки и создания как белковых компонентов рациона, так и частных технологий мясных продуктов. Далее, интересны и смежные вопросы, например, совершенствование технологий кормов для домашних животных.

Отметим, что только в 1980-х гг. в бывшем СССР принята официально *продовольственная программа*¹, призванная обеспечить приведение в соответствие реального состояния питания с научно обоснованными нормами питания. В 1990-х гг. производство продуктов питания резко снизилось и обострилась продовольственная ситуация, хлынул поток импорта. Однако, в 2000-х ситуация начала улучшаться; отметим существенный интерес государства к мясной проблеме; был принят ряд мер для поддержки АПК — приоритетный национальный проект «Развитие АПК».

Несмотря на меры государственной поддержки, до настоящего времени белковая проблема не полностью (неэффективно) решена. Здесь влияют несколько причин, в первую очередь, недостаток сырьевых ресурсов, особенно высококачественного белка.

Цель — изучить структуру и свойства белковых систем на основе структурообразующих биополиме-

ров и сформировать рекомендации для внедрения отечественных разработок, активно разрабатываемых в отечественных вузах и НИИ на протяжении последних 30 лет.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Анализ ресурсов пищевого белка

В связи с актуальностью поставленных во введении проблем, в настоящей работе выполнен анализ *ресурсов пищевого белка*, эффективность производства и использования ключевых белоксодержащих продуктов растительного и животного происхождения. Это дает основу для прогнозов развития производства продукции сельского хозяйства до 2030 г, как это предусмотрено с стратегиях развития АПК РФ. Дело в том, что в пищевых производствах серьезная роль отводится вовлечению в оборот *растительных протеинов*, в том числе соевых белковых источников, видимо, в основном, по экономическим причинам. Это, в частности, нетрадиционные виды растительного сырья, из которых вырабатывают функциональные пищевые ингредиенты (Некрасова & Попов, 2020; Gorlov et al., 2018; Li et al., 2013).

Производство скота и птицы в стране по итогам 2019 г. сохраняло малую позитивную динамику, увеличившись всего на 1,9% (Осянин & Петрунина, 2020). Далее, учитывая сложившиеся тенденции, взгляд разработчиков в основном был обращен на сою и продукты ее переработки, некоторые виды зернобобовых (Макарова & Пасько, 2020; Titov et al., 2019). Однако, растительные белки имеют более низкую биологическую ценность, чем животные. Кроме того, переваримость растительных белков составляет 54–75%, а животных — 69–95%, то есть преимущество последних в 1,3 раза.

Функциональные продукты питания

Функциональные продукты питания характеризуются их особыми свойствами, формируемыми за счет использования макро- и микроингредиентов животного и растительного происхождения. Первостепенное значение имеют белковые биополимеры, как правило, преобладающие в составе сы-

¹ Академик. Словари и энциклопедии. https://demography.academic.ru/2301/продовольственная_программа

рья животного происхождения. В рамках решаемых задач фигурируют белки различных групп, в том числе и протеиноиды — белки животных опорных тканей, в т.ч. коллаген, кератин, получают которые, если необходимо, экстракцией из тканей методом гидролиза сырья; нейтрализуют, сушат, фасуют и т.д.

Известно (Божкова, 2020; Зубцов, 2020; Некрасова, 2020; Titov, 2019), что основной путь создания рецептур функционального питания — это обогащение традиционных пищевых систем биологических активными веществами, пищевыми волокнами, полипептидами и т.п. При этом считают (Некрасова и др., 2020) наиболее эффективным использовать экстракты растительного происхождения. Так, например, функциональные растительные ингредиенты (добавка из сухой крапивы) вносят в состав фаршевых мясных продуктов в количестве 2 % от массы мяса. Однако, есть требования стандартов, в частности, ГОСТ Р 52349² Продукты пищевые функциональные, которые носят универсальный характер и которые рекомендуют к применению.

Актуальны задачи создания и использования *белково-жировых композиций*, обогащающих продукцию микроэлементами, например, йодом (Зубцов, 2020). Так, в рецептуре колбасок для жарки использовали белково-углеводный комплекс, что улучшило параметры качества продукции и придало ей функциональные свойства, кроме того, был расширен ассортимент изделий (Божкова и соавт., 2020).

Созданы технологии консервов из сердец животных и растительного сырья (Митряшкина и соавт., 2020). В их составе преобладали (60÷65 %) указанные субпродукты. Дополнительно применяли фасоль и овощи. Консервы имели высокие сенсорные свойства. Массовая доля белка находилась в диапазоне 11–13 %, жира — примерно 8–9 %. Кроме того, содержание коллагенообразующих аминокислот (глицин, оксипролин, пролин) составило около 0,9 %, что придает продукции функциональный характер за счет природных особенностей биополимеров. Также в этой продукции содержались полезные микроэлементы (в основном, Fe).

Известно, что вышеуказанные аминокислоты влияют на биосинтез соединительной ткани *in vivo*.

И автор настоящей статьи соглашается с этим тезисом. Однако продолжается дискуссия о том, насколько значителен вклад коллагенообразующих аминокислот в белковый обмен и способны ли они «встраиваться» в соединительные ткани, компенсируя недостаток (например, связанный с возрастом) белков группы коллагена, эластина и т.п. Однако, несмотря на высказанные сомнения, получает развитие «коллагеновая диета», когда в рацион вносят в существенных количествах белковые ингредиенты, бульоны, консоме, поддерживающие ослабленный организм (Акс, 2021).

В связи с вышесказанным, можно прогнозировать важность белковых добавок и продуктов в *геродиетическом питании*. Однако, в качестве обогащающих добавок традиционно применяют в большей мере продукты промышленной переработки семян тыквы и гороха; доза внесения последних 10 % (Кобыляцкий и соавт., 2020).

На сегодня производство белков развито в основном за рубежом (80 %), а в России доля производства таковых — 20 % и, кроме того, массовое, научно обоснованное производство белков почти не развито (Сухов, 2020). При этом за рубежом внедрены удобные к употреблению пептидные добавки, например, Collagen in balance (Biodam, Южная Корея), «Коллаген гидролизированный», «ВкусВилл» (при этом собственно коллагены I и III типов производят во Франции и Китае). Такие добавки позиционируют как спортивные и активно продвигают на отраслевых выставках («Продэкспо»); они удобно порционированы в стикеры либо в банки, и их можно добавлять/порционировать в напитки, кефир, смузи, что важно для профилактического и фитнес-питания. Практические результаты исследований проблемы белка выразились в создании технологий искусственных белковых продуктов химического и микробиологического синтеза. Значительные усилия авторов уделяются разработке высокобелковых смесей (до 80 % белка). Очевидно, что из порядка 100 ингредиентов пищи приоритет в оптимизации рационов остается за белком, — источником незаменимых пищевых факторов (особенно 8 эссенциальных аминокислот), что весьма важно для растущего организма, предотвращения заболеваний, а именно, квашиоркора, тяжелых случаев потери массы тела и т.п.

² ГОСТ Р 52349-2005. (2008). *Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения*. М.: Стандартинформ.

Современные принципы создания рецептур предусматривают оптимальную сочетаемость ингредиентов, что использовано в разработке сбалансированных фаршей из мяса птицы (Царегородцева, 2020). В составы фаршей включали полноценные животные белки и жиры из мясных и молочных продуктов. Из фаршевых систем формовали колбаски для гриля. Одной из задач этого исследования являлась стабилизация пищевых систем за счет белков из субпродуктов (сердце свиное, печень куриная) и молочного сырья (сыр). В результате, обеспечивалось высокое качество, прежде всего, внешний вид, запах и вкус, консистенция, сочность при меньших затратах в себестоимости.

Очевидно, что в последние годы крайне перспективен ферментативный гидролиз сложного по структуре сырья, субпродуктов, в том числе рубца. Поэтому, предложен подход к биотехнологической обработке коллагенсодержащего сырья и субпродуктов (рубец), способствующей более полной гидролизации белков и сохранению аминокислот. Метод включал выдержку в рассоле на базе молочной сыворотки. При этом исключается нейтрализация, в отличие от «химических» способов обработки в средах с широким диапазоном pH (Гиро и соавт., 2020).

Разработаны принципы переработки субпродуктов (рубец) с помощью лизата из цельного сычуга КРС для последующего включения белкового модификатора в рецептуры колбас; установлено, что наибольший уровень внесения модифицированного рубца составляет 15%. Такой способ обеспечит надлежащее качество продукции, при экономии затрат на сырье; стабилизацию органолептических свойств готового «высокобелкового» продукта (Danilov et. al, 2018).

В результате переработки белкового сырья стремятся получить удобные в применении препараты или продукты, например, пленки или пористые структуры, которые еще недостаточно изучены (Рапис, 2004; Сухов, 2020).

С учетом представленного обзора и результатов собственных исследований (Titov et. al., 2019) выявлена перспективность биополимеров группы коллагена как факторов формирования высоких товарных свойств продуктов питания животного происхождения^{3,4}.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Объектами исследований являлись сырье мясное, белки животные различных групп (источники биополимеров, в т.ч. биоактивных), вспомогательные ингредиенты пищевого назначения. Одним из элементов разрабатываемой технологии являлся этап обработки сырья в средах с регулируемым уровнем pH, что позволяло решать задачи разрыхления, очистки, оптимизации реологических и химических свойств. Дальнейшие термотропные процессы приводили к получению продуктов, относительно однородных по структуре и свойствам, что позволило разработать проекты технических условий и технологических инструкций, держателем которых является автор.

Продукция — пищевые добавки, в т.ч. белки животные, которые возможно перевести (сублимировать, диспергировать) в композиты, микрокристаллы, волокна, структурные ансамбли, что, направлено на оптимизацию рецептурных смесей и, соответственно, рационов. В мясной промышленности полученные белки могут быть внесены в рецептуры колбасных изделий, мясных рубленых полуфабрикатов, продукции снековой группы.

Отбор проб сырья и продуктов выполнялся согласно стандартным требованиям (требования ТУ и ГОСТ, включая контроль массы, температуры, перемешивание, фасовку и т.д.).

³ Апраксина, С. К., Васильева, И. О., Грищенко, В. М., Емельяненко, В. И., Лихачев, Я. А., Митасева, Л. Ф., Соколов, А. Ю., & Титов, Е. И. (2013). Патент РФ № 2478299. *Способ получения коллагенсодержащей матрицы для иммобилизации биологически активных веществ*. М.: Московский государственный университет пищевых производств.

⁴ Безряднова, А. С., Беспалова, О. В., Мясникова, Е. Н., & Соколов, А. Ю. (2014). Патент РФ № 2581242. *Способ производства мясосодержащих рубленых полуфабрикатов из свинины, завернутых в растительный лист*. М.: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова.

Оборудование и приборы

Для исследований были задействованы вискозиметр ротационный «Полимер РПЭ-1М», сконструированный ОКБ «Химавтоматика» с целью стандартизированного измерения вязкости структурированных жидкостей согласно ГОСТ 25276⁵.

Анализ микроструктурных особенностей выполнен с помощью сканирующего электронного микроскопа фирмы Сохет EM-30AX+ с фирменным аппаратно-программным комплексом для анализа гистологических изображений. Диапазон увеличений СЭМ $20\times \div 15000\times$. При измерениях размерных параметров элементов структуры используется шкала в микрометрах. Принцип ЭДС-детектирования UltraDry Compact позволяет выполнить элементный анализ и картирование образцов.

Комплект стандартных приборов и материалов для целей аналитической белковой химии.

Измерения динамической вязкости белковой среды было выполнено с помощью вискозиметра ротационного «Полимер РПЭ-1М», обеспечивающего измерение вязкости в диапазоне от $1,8\times 10^{-3}$ до $3,75\times 10^4$ Па·с со стандартными воспринимающими элементами типа «цилиндр-цилиндр T1-B1». Вискозиметр позволяет измерять реологические показатели различных материалов по ГОСТ 25276 и строить зависимости вязкости от скорости сдвига.

Методики испытаний

Объем пробы раствора белка (после предварительного гидролиза), доведенной до однородного состояния, для реологических испытаний составлял около 20 см³. Все измерения выполнялись при стандартной температуре лаборатории. Ротационный вискозиметр автоматически формирует результаты измерения вязкости с цифровой индикацией данных в паскаль-секундах, далее в табличном процессоре строится реограмма.

Очевидно, что физические свойства пищевых сред зависят, главным образом, от их микроструктуры. Исследование микроструктурных особенностей объектов исследования выполняли общепринятыми методами световой микроскопии. Анализ микроструктуры проводили в соответствии с ГОСТ 19496-2013 «Мясо и мясные продукты. Метод гистологического исследования»⁶ и методиками, представленными в руководстве «Микроскопическая техника» под редакцией Саркисова и Перова⁷.

Сканирующая электронная микроскопия образцов белковых препаратов выполнялась согласно принципам исследований бионаноматериалов, согласно монографии Жу, Уанга, 2013 и др. на растровом электронном микроскопе (РЭМ) Сохет EM-30AX+ (Южная Корея); данная установка позволяла также выполнять автоматический рентгеновский микроанализ элементного состава.

Анализ данных

Обработка экспериментальных данных произведена в программе управления РЭМ, поставляемая компанией Сохет⁸. Графики изменения вязкости были построены в стандартной программе Excel 2019.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Мы выбрали сырье (животного происхождения), богатое белками, в том числе протеиноидами, массовая доля которых составляла 73% в пересчете на сухой вес. Выполнялся, в частности, анализ химического состава, аминокислотного состава, содержания элементов, а также гистологического строения и т.д.

Способ получения целевого продукта — белкового продукта заключался в направленном гидролизе в средах с регулируемыми значениями pH (сочетание кислотно-основной обработки при условии

⁵ ГОСТ 25276-82. (2015). *Полимеры. Метод определения вязкости ротационным вискозиметром при определенной скорости сдвига*. М.: Стандартинформ.

⁶ ГОСТ 19496-2013. (2013). *Мясо и мясные продукты. Метод гистологического исследования*. М.: Стандартинформ.

⁷ Саркисов, Д. С., & Перов, Ю. Л. (Ред.). (1996). *Микроскопическая техника: Руководство*. М.: Медицина.

⁸ *Ostec. Группа компаний*. <https://www.coxem.ru/catalog/rastrovye-elektronnye-mikroskopy/em-30ax-plus/>.

применения регуляторов кислотности, разрешенных в пищевых целях). Режимы обработок позволяли получить продукт, частично гидролизованный, без существенных деструкционных изменений природных биополимеров группы коллагена. При необходимости, белковый продукт может быть диспергирован до жидкого состояния или высушен для удобства логистических операций и технологических применений.

Анализ реологических свойств белковых систем

Очевидно, что технологи-практики сталкиваются с проблемой придания пищевым системам однородного состояния, это достигается за счет различных приемов. В лабораторных исследованиях доступен способ диспергирования систем в водных растворах оснований при условии дальнейшей нейтрализации. При диспергировании белкового продукта в воде реологические свойства изученных жидких сред в общем виде соответствовали таковым же для стандартизированных (представленных в литературе) пластифицированных биологических материалов. На графиках (Рисунок 1) представлены реограммы для коллоидных растворов белков группы коллагена, с массовой долей сухого вещества около 10 %.

При этом одна линия показывает реологическое поведения биополимеров до тепловой обработки (моделирующей термообработку фаршевых мясных систем), а вторая — после ее завершения. За счет процесса термотропного студнеобразования, динамическая вязкость жидких пищевых систем повышалась примерно на порядок.

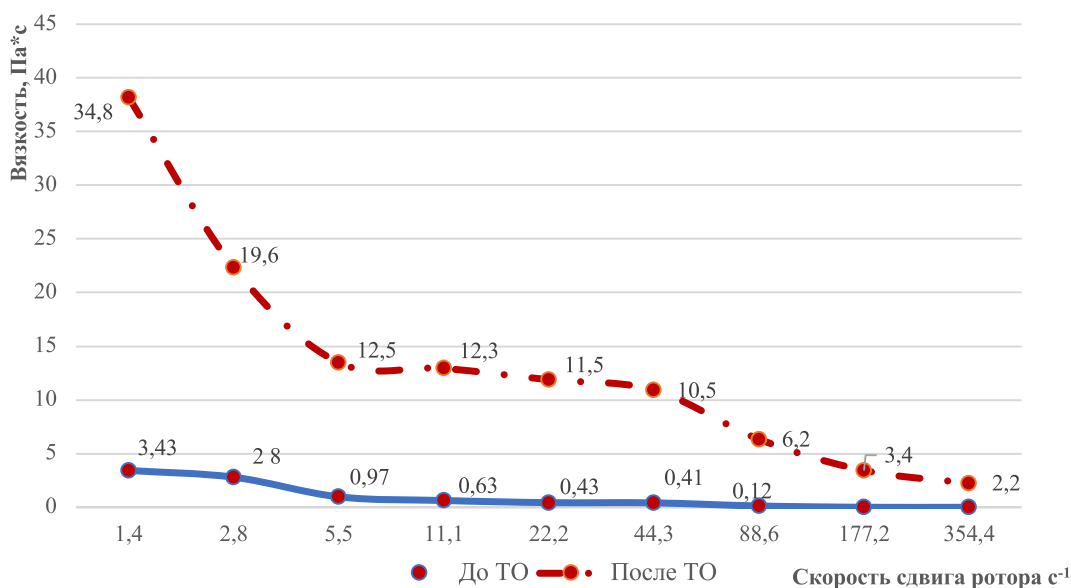
Реограммы свидетельствовали о нелинейном поведении систем, что позволяет их отнести к псевдопластичным коллоидам с зависимостью динамической вязкости от технологических факторов.

Изучение свойств белковых систем в зависимости от особенностей белковой матрицы

В развитие задачи исследования реологических свойств белковых систем, были проанализированы эти свойства для контрольных и опытных студнеобразных сред. Контрольный вариант предусматривал варку коллагенсодержащего сырья в воде (ЖК 1:3) до температуры в геометрическом центре образцов $71 \pm 1^\circ\text{C}$ и охлаждение его (τ 6 ч; t варочной жидкости $95\text{--}99^\circ\text{C}$) по технологии студней по сборнику рецептур мясных продуктов. Опытный вариант предусматривал модельную варку систем (БС:вода) при аналогичных условиях.

Рисунок 1

Изменение динамической вязкости белковых сред до и после их тепловой обработки



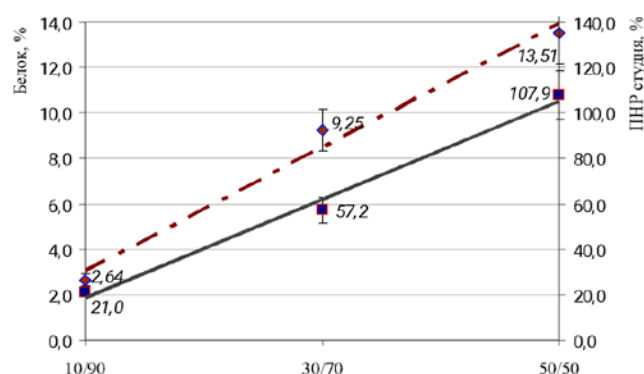
Стандартные технологические режимы обеспечивают формирование каркаса студня с высокой прочностью. Они включали модифицированное путем частичного гидролиза по запатентованному способу сырье, т.е. белковую систему из свиных шкур (БС) и воду. Соотношения БС:вода (10:90, 30:70, 50:50% по массе) при получении таких систем выбраны исходя из вышеуказанных физико-химических особенностей как относительно разбавленных, так и концентрированных коллоидов, переходящих после термообработки в студни.

Наиболее чувствительный к изменениям технологических режимов показатель качества студней — предельное напряжение разрушения (ПНР), который отражает, главным образом, прочность каркаса студня. Этот показатель практически линейно зависит от содержания белка, при относительной погрешности эксперимента около 10% (Рисунок 2).

На основании вискозиметрических измерений рассчитано значение молекулярной массы белка, составившее ≈ 193 кДа, что свидетельствует о формировании в результате комплекса обработок полипептидов, подобных β -частицам. Молекулярная масса желатина, получаемого из шкур (коллаген I типа), колеблется от 62 до 320 кДа. Тропоколлаген характеризуется показателем средней молекулярной массы 285 кДа. Если предельное число вязкости составляет около 0,75, то вполне вероятно наличие α -, β -, γ -полипептидов, скорее всего, доминировали ассоциаты из двух связанных β -цепей. Профессо-

Рисунок 2

Содержание белка и предельное напряжение разрушения в образцах белковая система-вода с различным соотношением этих компонентов



рами Вейсом, Михайловым было показано, что молекулярная масса отдельных полипептидных цепей, образуемых при химической и термической дезагрегации коллагена, составляет в диапазоне 80÷125 кДа (Вейс, 1971; Лищенко, 2006; Кобыляцкий и соавт., 2020).

Учитывая научно обоснованные нормы внесения белковых добавок в мясные системы на уровне 10%, в этой работе целесообразен такой же уровень замены мясного сырья на белковый продукт.

Сравнительный анализ полученных гидролизированных белков и БАДов (спортивное питание), представленных в торговых сетях

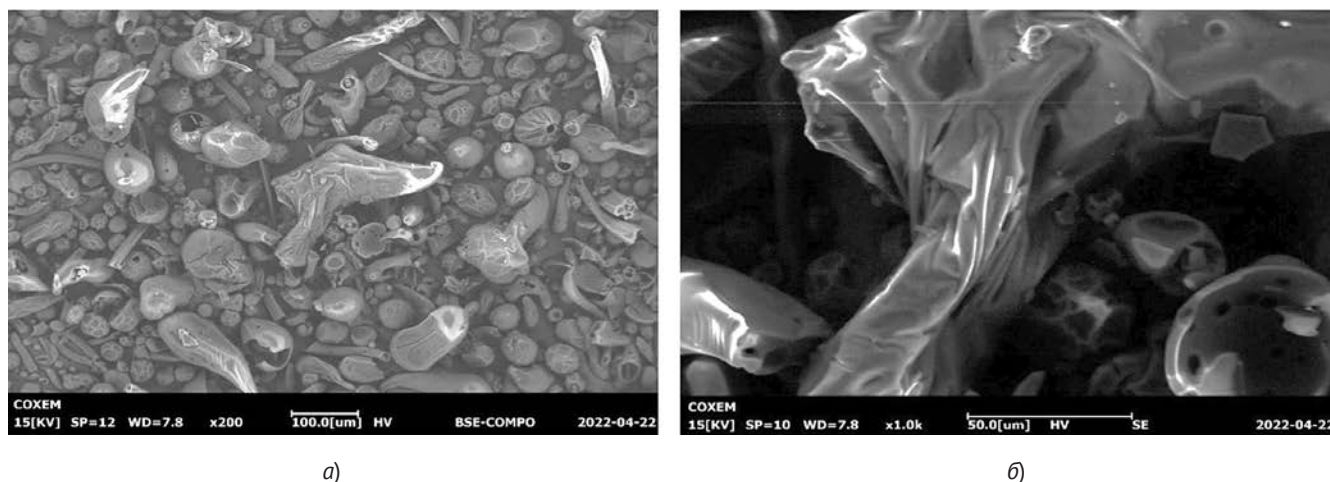
На следующем этапе работы для сравнительного анализа при разработках новых продуктов и придания им необходимых товарных свойств, был исследован белок — коллаген гидролизированный для спортивного питания (Ironman). Под микроскопом были выявлены частицы различных фракций по размерам. Кроме того, очевидно, что они подверглись значительной термической обработке, что связано с их «взорванной» структурой. В поле зрения светового микроскопа в отраженном свете хорошо заметны частицы округлой формы, вспененные в результате интенсивного нагрева и быстрого испарения влаги.

Видимо, можно предполагать, что интенсивная термообработка связана с обеспечением растворимости данной функциональной добавки и необходимостью соблюдения программы контроля безопасности согласно концепции ХАССП, внедренной на предприятии-изготовителе.

Исследования методами световой и электронной микроскопии выявили структуры, характерные для термообработанных продуктов. В частности, метод РЭМ подтвердил высказанное предположение и влияние механических и тепловых процессов обработки на характерную морфологию частиц. Последние представлены не фракционированными субстанциями с различной формой и ультраструктурой, на которую повлияли, видимо, как природные особенности, так и высокотемпературная обработка, приводившая к своего рода «взрыву» частиц.

Рисунок 3

Ультраструктура белка гидролизованного: а) 200×; б) 1000×



Кроме специфики ультраструктуры белка гидролизованного, методом микроанализа элементов было установлено наличие элементов (Таблица 1).

Таблица 1

Элементный состав белка гидролизованного для спорт. питания

Элемент	Массовая доля, %	Отклонение (±) от среднего значения
Углерод (C)	53,1	7,5
Кислород (O)	44,39	7,3
Алюминий (Al)	0,91	0,09
Сера (S)	0,73	0,07
Натрий (Na)	0,60	0,09
Кальций (Ca)	0,28	0,05
Итого:	100,0	—

Элементный состав (в данных испытаниях метод позволял изучить «легкие» элементы) не вызывает как-либо серьезных вопросов. Однако, наличие алюминия, по видимому, связано с «сырьевым» фактором, поскольку, например, в шкуре свиной, являющейся часто используемым сырьем — источ-

ником коллагена I типа, был обнаружен этот же элемент.

Алюминий, в отличие от таких микроэлементов, как железо, медь, марганец и т.п., существенного значения в пищевом отношении не имеет. Из книги Ю.А. Тырсина и др. известно, что, в частности, алюминий является антагонистом брома (Тырсин и соавт., 2012).

Таким образом, в данной статье, направленной на обобщение результатов собственных исследований (Gorlov et.al., 2018; Titov et. al.; 2019), полученных за последние 10 лет, подтверждается значимость комплексного исследования проблемы сложных белков, от анализа их структуры и свойств, до специфики показателей качества и безопасности^{9,10}.

Вовлечение в хозяйственный оборот неэффективно используемых ресурсов белка животного происхождения повлечет за собой необходимость внедрения методик их исследований и контроля качества, поскольку реальный сектор экономики должен гарантировать соответствие продукции требованиям технических регламентов и норма-

⁹ Апраксина, С. К., Васильева, И. О., Грищенко, В. М., Емельяненко, В. И., Лихачев, Я. А., Митасева, Л. Ф., Соколов, А. Ю., & Титов, Е. И. (2013). Патент РФ № 2478299. Способ получения коллагенсодержащей матрицы для иммобилизации биологически активных веществ. М.: Московский государственный университет пищевых производств.

¹⁰ Безряднова, А. С., Беспалова, О. В., Мясникова, Е. Н., & Соколов, А. Ю. (2014). Патент РФ № 2581242. Способ производства мясосодержащих рубленых полуфабрикатов из свинины, завернутых в растительный лист. М.: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова.

тивных документов. С другой стороны, немало важно и аргументированное, научно обоснованное продвижение новой продукции отечественного производства.

ВЫВОДЫ

Известные технологические решения направлены, главным образом, на применение в технологиях пищевых производств субпродуктов II категории, коллагенсодержащего сырья, шкурки свиной из колбасного производства. Однако, целесообразно вести разработки белковых систем согласно принципу универсального их применения, которые могли бы заместить импортное сырье и добавки из групп «Коллаген», «Аминокислоты» и т.п. Данные продукты поставляют Китай, Великобритания, Франция.

Анализ реограмм изученных белковых систем-гидролизатов показал их поведение, сходное с псевдопластичными коллоидами. В результате направленного гидролиза и последующей тепловой обработки, инициирующей студнеобразование в системах, зафиксировано соответствующее повышение структурно-механических и химических показателей. Вискозиметрические измерения позволили рассчитать молекулярную массу белка, составлявшую около 193 кДа, что может свидетельствовать об образовании β -полипептидов или продуктов, подобных высокомолекулярному желатину, молекулярная масса которого достигает 320 кДа.

Детальный анализ ультраструктур белковых молекул сложного строения позволит с точек зрения микро- и наномасштабов «увидеть» архитектуру и понять механизм направленного гидролиза протеиноидов; возможно использование результатов для формирования атласа для идентификации белковых структур. Так, микроструктурное изучение белка одной из марок, предназначенного для спортивного питания, произведенного во Франции, показало своеобразную ультраструктуру, что обусловлено, видимо, термической обработкой, испарением влаги, фракционным характером данного белка.

В заключение целесообразно обратить внимание специалистов, практических работников на отечественные научные направления совершенствования технологий за счет рационального применения сырья, переработки их в инновационные компоненты (специально подготовленные, очищенные белки, биополимеры, их комплексы с БАВ), оборудование, упаковку и т.д.

Это повысит технико-экономические показатели за счет сбалансированности рецептур, использования более дешевых, весьма ресурсных ингредиентов в рациональных сочетаниях, принципов взаимозаменяемости рецептурных компонентов и стабилизации качества продукции.

При этом продукция может быть самой разнообразной по форме, текстуре, массовой доле влаги, белка и других веществ, что расширяет возможности фасовки и упаковки, вкусо-ароматическим и другим потребительским свойствам.

Перспективны для внедрения способы получения белкового продукта из коллагенсодержащего сырья для мясной промышленности, производства коллагенсодержащей матрицы для иммобилизации БАВ, способ производства мясосодержащих рубленых полуфабрикатов из свинины, завернутых в растительный лист и др.

Предполагается дальнейшее развитие темы исследований биополимеров-белков с учетом заинтересованных сторон, включая бизнес-сообщество, а именно, предприятий, внедряющих новые научные технологии.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Соколов Александр Юрьевич — концептуализация, разработка методологии исследования, работа с программным обеспечением, подготовка черновика рукописи, проведение исследования, валидация данных, редактирование рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

- Акс, Д. (2021) *Коллагеновая диета*. М.: АСТ.
- Божкова, С. Е., Храмова, В. Н., Сложенкина, М. И., Максименкина, Е. А., & Бараников, В. А. (2020). Инновационная рецептура колбасок для жарки «Нежные». *Аграрно-пищевые инновации*, (2), 71–80. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2020-10-71-80>
- Вейс, А. (1971). Макромолекулярная химия желатина. М.: *Пищевая промышленность*.
- Гиро, Т. М., Хвыля, С. И., Рогожин, А. А., & Гиро, А. В. Переработка коллагенсодержащих субпродуктов мелкого рогатого скота. В *Инновационные технологии обработки и хранения сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов: Сборник научных трудов к 90-летию Всероссийского научно-исследовательского института холодильной промышленности* (с. 63–72). М.: Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности.
- Зубцов, Ю. Н. (2020). Совершенствование технологии кулинарной продукции для профилактики йододефицита. Орел: ОрелГУЭТ.
- Лищенко, В. Ф. (2006). *Мировая продовольственная проблема: белковые ресурсы* (1960–2005 гг.). М.: ДеЛи принт.
- Кобыляцкий, П. С., Скрипин, П. В., & Тарасова, Д. М. (2020). К вопросу разработки технологии комбинированных мясных продуктов для геродиетического питания. В *Инновации в производстве продуктов питания: от селекции животных до технологии пищевых производств: Материалы Международной научно-практической конференции* (с.138–141). Персиановский: Донской государственный аграрный университет.
- Макарова, А. А., & Пасько, О. В. Состояние мирового производства растительного сырья как перспективного источника белка для аналоговой мясной продукции. *Вестник Южно-Уральского государственного университета*, 8(3), 12–20.
- Митряшкина, О. А., Шульгина, Л. В., & Шульгин, Ю. П. (2020). Консервированные продукты из сердец животных как источники коллагена и железа. *Индустрия питания*, 5(3), 44–51. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2020-5-3-5>
- Некрасова, К. Л., & Попов, В. Г. (2020). Научный подход в производстве функциональных пищевых ингредиентов на основе нетрадиционного растительного сырья. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 82(2), 77–82. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-2-77-82>
- Осянин, Д. Н., & Петрунина, И. В. (2020). Анализ сырьевой базы предприятий мясной промышленности. *Мясная индустрия*, (4), 16–21.
- Рапис, Е. (2004). Самоорганизация и супермолекулярная химия пленки белка от нано- о макромасштаба. *Журнал технической физики*, (4), 117–122.
- Сухов, И. В. (2020). *Коллагеновые пористые материалы рыбного происхождения: Обоснование технологии, свойства, перспективы применения* [Кандидатская диссертация, Воронежский государственный университет инженерных технологий]. Воронеж, Россия.
- Царегородцева, Е. В. (2020). Опыт создания сбалансированных рубленых фаршей. *Все о мясе*, (5), 390–394.
- Тырсин, Ю. А., Кролевец, А. А., & Чижик, А. С. (2012). *Микро- и макроэлементы в питании*. М.: ДеЛи плюс.
- Danilov, A. M., Bazhenova, B. A., & Danilov, M. B. (2018). Study of lysate activity to modificate collagen raw materials to use in sausage mixture. *Foods and Raw Materials*, 6(2), 256–263. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-256-263>
- Gorlov, I. F., Titov, E. I., Semenov, G. V., Solzhenkina, M. I., Sokolov, A. Yu., Omarov, R. S., Goncharov, A. I., Zlobina, E., Y., Litvinova, E. V., & Karpenko, E. V. (2018). Collagen from porcine skin: a method of extraction and structural properties. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 1031–1042. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1466324>
- Titov, E. I., Sokolov, A. Y., Litvinova, E. V., Kidyayev, S. N., Shishkina, D. I., & Baranov, B. A. (2019). Dietary fibres in preventanive meat products. *Foods and Raw Materials*, 7(2), 387–395. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-387-395>
- Li, Y., & Douglas, E. P. (2013). Effects of various salts on structural polymorphism of reconstituted type I collagen fibrils. *Colloids and Surfaces: Biointerfaces*, 112, 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2013.07.037>
- Производство продукции животноводства и поголовье скота в хозяйствах всех категорий: бюллетень. — Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/search?q=производство+скота+и+птицы>

REFERENCES

- Aks, D. *Kollagenovaya dieta* [Collagen Diet]. Moscow: AST.
- Bozhkova, S. E., Khramova, V. N., Slozhenkina, M. I., Maksimenkina, E. A., & Baranikov, V. A. (2020). Innovatsionnaya retseptura kolbasok dlya zharki “Nezhnye” [Innovative recipe of sausages for frying “Tender”]. *Agrarno-pishchevy innovatsii* [Agricultural and Food Innovations], (2), 71–80. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2020-10-71-80>
- Giro, T. M., Khvylya, S. I., Rogozhin, A. A., & Giro, A. V. Pererabotka kollagensoderzhashchikh subproduktov melkogo rogatogo skota [Processing of collagen-containing by-products of small cattle]. In *Innovatsionnye tekhnologii obrabotki i khraneniya sel'skhozyaistvennogo syr'ya i pishchevykh produktov: Sbornik nauchnykh trudov k 90-letiyu Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut kholodil'noi promyshlennosti* [Innovative technologies of processing and

- storage of agricultural raw materials and food products: Collection of scientific papers for the 90th anniversary of the All-Russian Research Institute of the Refrigeration Industry] (pp. 63–72). Moscow: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut kholodil'noi promyshlennosti.
- Kobylyatskii, P. S., Skripin, P. V., & Tarasova, D. M. (2020). K voprosu razrabotki tekhnologii kombinirovannykh myasnykh produktov dlya gerodieticheskogo pitaniya [On the issue of developing the technology of combined meat products for herodietic nutrition]. In *Innovatsii v proizvodstve produktov pitaniya: Ot selektsii zhivotnykh do tekhnologii pishchevykh proizvodstv: Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Innovations in food production: From animal breeding to food production technology: Materials of the International Scientific and Practical Conference] (pp. 138–141). Persianovskii: Donskoi gosudarstvennyi agrarnyi universitet.
- Lishchenko, V. F. (2006). *Mirovaya prodovol'stvennaya problema: Belkovye resursy (1960–2005 gg.)* [The world food problem: Protein resources (1960–2005)]. Moscow: DeLi print.
- Makarova, A. A., & Pas'ko, O. V. Sostoyanie mirovogo proizvodstva rastitel'nogo syr'ya kak perspektivnogo istochnika belka dlya analogovoi myasnoi produktsii [The state of the world production of vegetable raw materials as a promising source of protein for analog meat products]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the South Ural State University], 8(3), 12–20.
- Mitryashkina, O. A., Shul'gina, L. V., & Shul'gin, Yu. P. (2020). Konservirovannye produkty iz serdets zhivotnykh kak istochniki kollagena i zheleza [Canned products from animal hearts as sources of collagen and iron]. *Industriya pitaniya* [Food Industry], 5(3), 44–51. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2020-5-3-5>
- Nekrasova, K. L., & Popov, V. G. (2020). Nauchnyi podkhod v proizvodstve funktsional'nykh pishchevykh ingredientov na osnove netraditsionnogo rastitel'nogo syr'ya [Scientific approach in the production of functional food ingredients based on non-traditional plant raw materials]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 82(2), 77–82. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-2-77-82>
- Osyenin, D. N., & Petrunina, I. V. (2020). Analiz syr'evoi bazy predpriyatii myasnoi promyshlennosti [Analysis of the raw material base of meat industry enterprises]. *Myasnaya industriya* [Meat Industry], (4), 16–21.
- Rapis, E. (2004). Samoorganizatsiya i supermolekulyarnaya khimiya plenki belka ot nano- o makromasshtaba [Self-organization and supermolecular chemistry of the protein film from the nano- o macro scale]. *Zhurnal tekhnicheskoi fiziki* [Journal of Technical Physics], (4), 117–122.
- Sukhov, I. V. (2020). *Kollagenovye poristye materialy rybnogo proiskhozhdeniya: Obosnovanie tekhnologii, svoistva, perspektivy primeneniya* [Collagen porous materials of fish origin: Substantiation of technology, properties, application prospects] [Candidate Dissertation, Voronezhskii gosudarstvennyi universitet inzhenernykh tekhnologii]. Voronezh, Russia.
- Tsaregorodtseva, E. V. (2020). Opyt sozdaniya sbalansirovannykh rublenykh farshei [Experience in creating balanced minced meat]. *Vse o myase* [All about Meat], (5), 390–394.
- Tyrin, Yu. A., Krolevets, A. A., & Chizhik, A. S. (2012). *Mikro- i makroelementy v pitanii* [Micro- and macronutrients in nutrition]. Moscow: DeLi plyus.
- Veis, A. (1971). *Makromolekulyarnaya khimiya zhelatiny* [Macromolecular Chemistry of Gelatin]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost'.
- Zubtsov, Yu. N. (2020). *Sovershenstvovanie tekhnologii kulinarnoi produktsii dlya profilaktiki iododefitsita* [Improving the technology of culinary products for the prevention of iodine deficiency]. Orel: OrelGUET.
- Danilov, A. M., Bazhenova, B. A., & Danilov, M. B. (2018). Study of lysate activity to modificate collagene raw materials to use in sausage mixture. *Foods and Raw Materials*, 6(2), 256–263. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-256-263>
- Gorlov, I. F., Titov, E. I., Semenov, G. V., Solzhenkina, M. I., Sokolov, A. Yu., Omarov, R. S., Goncharov, A. I., Zlobina, E., Y., Litvinova, E. V., & Karpenko, E. V. (2018). Collagen from porcine skin: a method of extraction and structural properties. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 1031–1042. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1466324>
- Titov, E. I., Sokolov, A. Y., Litvinova, E. V., Kidyaev, S. N., Shishkina, D. I., & Baranov, B. A. (2019). Dietary fibres in preventative meat products. *Foods and Raw Materials*, 7(2), 387–395. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-387-395>
- Li, Y., & Douglas, E. P. (2013). Effects of various salts on structural polymorphism of reconstituted type I collagen fibrils. *Colloids and Surfaces: Biointerfaces*, 112, 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2013.07.037>
- Proizvodstvo produktsii zhivotnovodstva i pogolov'e skota v hozjajstvakh vseh kategorii: bjulleten'. — Rezhim dostupa: <https://rosstat.gov.ru/search?q=производство+скота+и+птицы>

УДК 526.32: 631.563

Влияние температурного режима хранения на потери от функциональных расстройств и интенсивность поверхностного поражения плодов яблони загаром

Всероссийский
научно-исследовательский институт
селекции плодовых культур

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Никитин Андрей Леонидович

Адрес: 302530, Орловская область,

Орловский район, п/о Жилина

E-mail: nikitin@orel.vniispk.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования

доступны по запросу

у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Никитин, А. Л., Макаркина, М. А., & Галашева, А. М. (2023). Влияние температурного режима хранения на потери от функциональных расстройств и интенсивность поверхностного поражения плодов яблони загаром.

Хранение и переработка сельхозсырья, (1), 212–225. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.338>

ПОСТУПИЛА: 10.06.2022

ПРИНЯТА: 03.02.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



А. Л. Никитин, М. А. Макаркина, А. М. Галашева

АННОТАЦИЯ

Введение. При хранении яблок основную опасность представляют функциональные расстройства (ФР): побурение кожицы (загар) и подкожная пятнистость (горькая ямчатость), на их долю приходится основной процент потерь.

Цель. Выявление сортов устойчивых и генетически предрасположенных к ФР плодов в процессе низкотемпературного хранения в различных режимах. Определение интенсивности поверхностного поражения (ИПП) плодов загаром для более точной оценки качества конечной продукции, подборе оптимальных режимов и конкретизации сроков хранения плодов.

Материалы и методы. Плоды сортов яблони селекции ВНИИСПК Вавиловское, Ивановское, Министр Киселёв, Рождественское хранили в режимах +2 °С и –1 °С. По окончании хранения плоды распределяли в зависимости от ИПП загаром на 4 группы.

Результаты. Зафиксированы ФР: низкотемпературное разложение мякоти (НТР); загар; низкотемпературный ожог (НТО); перезревание, побурение мякоти, увядание. Плоды изученных сортов в различной степени поражались загаром, процент потерь составил – 12,6 % от общего количества хранимых плодов, 8,2 % – относили к здоровым, 4,4 % – к отходу. Сильнее поражались плоды в режиме +2 °С. У сорта Ивановское загар отсутствовал. Наибольший процент загара 5,4 % был на площади <5 % поверхности плода, наименьший 0,1 % – на площади >50 %. В среднем по сортам минимальные потери от ФР были в режиме –1 °С. Плоды сортов Министр Киселёв и Рождественское при данном режиме поражались НТО и НТР.

Выводы. Установлена различная степень поражения плодов яблони и их индивидуальная реакция на температурный режим хранения, лучший режим –1 °С. Конкретная группировка плодов по ИПП дает возможность точнее разделять их по качеству при реализации, проследить степень их поражения в различных температурных условиях хранения с фиксацией результатов в обозначенных границах площади поверхности. Необходима корректировка температурных условий хранения плодов изучаемых сортов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

яблоня, триплоидные сорта, плоды, иммунитет к парше, температура хранения, продолжительность хранения, отходы, функциональные расстройства, загар, интенсивность поверхностного поражения

The Effect of the Temperature Regime of Storage on Losses from Functional Disorders and the Intensity of Surface Damage to Apple Fruits by Scald

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK)

Andrey L. Nikitin, Margarita A. Makarkina, Anna M. Galasheva

CORRESPONDENCE:

Andrey L. Nikitin

Address: 302530, p/o Zhilina, Oryol district, Oryol region, Russian Federation
E-mail: nikitin@vniispk.ru

FOR CITATIONS:

Nikitin, A. L., Makarkina, M. A., & Galasheva, A. M. (2023). The effect of the temperature regime of storage on losses from functional disorders and the intensity of surface damage to apple fruits by scald. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 212–225. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.338>

RECEIVED: 10.06.2022

ACCEPTED: 03.02.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction. When storing apples, functional disorders (FDs) are the main danger: browning of the skin (scald) and subcutaneous spotting (bitter pitting), they account for the main percentage of losses.

Purpose. Identification of cultivars resistant and genetically predisposed to FDs, in the process of low-temperature storage in various modes. Determination of the intensity of surface damage (SDI) of fruits by scald for a more accurate assessment of the quality of the final product and the selection of optimal modes for specifying the shelf life of fruits.

Materials and Methods. The fruits of VNIISPK apple cultivars Vavilovskoye, Ivanovskoye, Ministr Kiselyov and Rozhdestvenskoye were stored in +2 °C and – 1 °C modes. At the end of storage, the fruits were distributed into 4 groups depending on the SDI by scald.

Results. The following functional disorders were observed: low-temperature decomposition of the pulp (LTD); scald; low-temperature burn (LTB); overripe, browning of the pulp and wilting. Fruits of all studied cultivars were affected by scald to varying degrees, the percentage of losses was 12.6% of the total number of stored fruits, 8.2% were attributed to healthy, 4.4% – to waste. Fruits were more damaged in the +2 °C mode. There was no scald on the fruits of Ivanovskoye. The largest percentage of scald 5.4% was on the area <5% of the fruit surface, and the smallest percentage 0.1% was on the fruit surface area >50%. On average, the minimum losses from FDs were in the mode of – 1 °C. Under this regime, fruits of Ministr Kiselyov and Rozhdestvenskoe were affected by LTD and LTB.

Conclusions. A different degree of damage to apple fruits and their individual reaction to the temperature regime of storage has been established, the best mode is 1 °C. A specific grouping of fruits by SDI makes it possible to separate them more accurately by quality during sale, to monitor the degree of their damage in various temperature storage conditions with the fixation of the results within the designated boundaries of the surface area. It is necessary to adjust the temperature conditions of storage of fruits of the studied cultivars.

KEYWORDS

apple, triploid cultivars, fruits, scab immunity, storage temperature, storage duration, waste, functional disorders, scald, intensity of the surface lesion

ВВЕДЕНИЕ

Сорт определенной плодовой культуры играет главную роль в адаптивном садоводстве. От его внутренних возможностей и взаимосвязи с окружающими его условиями зависит урожайность и качество получаемой продукции (Седов и соавт., 1995). При хранении плодов яблони основную опасность представляют в основном такие функциональные расстройства (ФР), как побурение кожицы (загар) и подкожная пятнистость (горькая ямчатость). На долю этих ФР приходится основной процент потерь. Среди ФР повреждение плодов яблони загаром наиболее актуально, так как значительная часть промышленных сортов подвержено этому расстройству. В связи с этим учеными многих стран активно продолжаются исследования, направленные на решение данной проблемы с поиском путей и способов ее исключения (Lu et al., 2011; Gapper et al., 2017; Karagiannis et al., 2018).

Загар-ФР плодов яблони (*Malus domestica* Borkh.), возникающее из-за некроза верхних 5–6 клеточных слоев кожицы (Ingle & D'Souza, 1989; Lurie & Watkins, 2012). Термин «расстройство» применяется к плодам, которые теряют свое качество в результате различных причин, не связанных с воздействием на них патогенов. Причиной загара являются выделяемые плодами летучие ароматические вещества, образующиеся из-за нарушенного обмена веществ и поражающие кожицу плодов, вызывая на ней ожоги коричневого цвета (Anet, 1974; Anet, 1972a; Anet, 1972b; Barden & Bramlage, 1994a; Rowan et al., 2001; Rudell et al., 2009). На скорость проявления загара оказывает непосредственное влияние сесквитерпеновый углеводород фарнезен, который накапливается в плодовой кожице. В плодах яблони содержится α -изомер фарнезена, синтезирующийся в клетках эпидермиса и выделяющийся непосредственно в кутикулярную зону. Количественное содержание α -фарнезена в покровном воске в 4–5 раз больше, чем в эпидермальном слое плодов. Чем больше α -фарнезена в покровных тканях плодов, тем выше интенсивность их поверхностного поражения (ИПП) при его окислении с образованием гидроперекисей, участвующих в побурении кожицы, и тем очевиднее состояние перезревания¹.

Загар на плодах развивается у восприимчивых (имеющих генетическую предрасположенность) сортов (Whitaker, 2013), когда они хранятся при низких температурах хранения дольше трех месяцев. Пятна коричневого цвета развиваются на зеленой стороне яблока и прогрессируют в размерах, когда плоды хранятся при более высоких температурах. Расстройство также может быть связано с ранней датой сбора урожая, когда плоды снимаются еще не вызревшими (Причко, 2018), а также реакцией плодов на различные стрессы, которые они испытывают не только перед сбором, но и после. К таким стрессам относятся, как погодные условия конкретного сезона вегетации — температура, осадки, гидротермический коэффициент (ГТК) (могут стать деструктивными гидротермическими факторами при выходе за рамки допустимых), солнечное освещение, месторасположение сада, так и технологические параметры холодильных камер, в которых хранятся плоды в послеуборочный период — температурные режимы хранения, относительная влажность воздуха, состав атмосферы, вентиляция и другие (Lurie et al., 1991; Emongor et al., 1994; Watkins et al., 1995; Barden & Bramlage, 1994b; Paull, 1999; Rudell et al., 2011; Rai et al., 2015; Musacchi & Serra, 2018; Причко, 2018; Никитин, 1999; Никитин & Макаркина, 2020; Dällenbach et al., 2020; Marc et al., 2020; Никитин & Макаркина, 2021). Даже минимальные расхождения в показателях суммы активных температур и в количестве осадков по вегетационным сезонам и другим временным отрезкам могут существенно повлиять на поражение плодов загаром (Причко, 2018; Никитин & Макаркина, 2021). Вышеперечисленные факторы оказывают влияние на количественные и параметрические показатели подверженных расстройствам плодов, в частности, на степень их поверхностного поражения.

Известны различные способы защиты плодов от загара — обработка их после уборки ингибитором биосинтеза этилена 1-метилциклопропеном (1-МСП), хранение в газовой среде с ультранизким содержанием O_2 , в динамической контролируемой атмосфере, хранение при низких температурах (Гудковский & Кожина, 2019; Poirier et al., 2020). Но проблема загара плодов для некоторых восприимчивых сортов до сих пор не решена. При разработке новых технологий и способов, предохраняющих

¹ Машанов, А. И., Величко, Н. А., & Ташлыкова, Е. Е. (2014). *Биоконверсия растительного сырья: Учебное пособие*. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет.

плоды яблони от загара, необходимо знать в какой степени и на какой площади поверхности они поражаются этим ФР для более точной оценки их качества и понимания механизма его распространения.

Цель исследований на данном этапе заключалась в выявлении сортов как устойчивых к ФР плодов, так и генетически предрасположенных к ним, в процессе низкотемпературного хранения в различных режимах, в том числе к поражению плодов загаром, доля которого составляет значительный процент общих потерь, в определении интенсивности поверхностного поражения плодов загаром для подбора оптимальных температурных режимов и конкретизации сроков хранения плодов для каждого сорта яблони, в более точной и объективной оценке качества конечной продукции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Объектами исследований являлись, внесенные в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию, сорта яблони селекции ВНИИСПК: Вавиловское (триплоидный, иммунный к парше), Ивановское (иммунный к парше), Министр Киселёв (триплоидный, устойчивый к парше) и Рождественское (триплоидный, иммунный к парше), плоды которых закладывали в камеры в день их съема из сада в состоянии их съемной зрелости.

Оборудование

Конкретный лабораторный этап научных исследований проводился в 2021–2022 годы в лаборатории биохимической и технологической оценки сортов и хранения ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур» (ВНИИСПК). Плоды хранили в опытных отечественных холодильных камерах «Polair-CV114-S (ШХн-1,4)» в пластиковых ящиках, объемом 40 литров (10–12 кг плодов), изготовленных из пищевого полиэтилена. Температурные режимы хранения — +2 °С и –1 °С, относительная влажность воздуха — 85...90%. Состав атмосферы — обычный. Контроль

температурно-влажностных условий в холодильных камерах осуществлялся при помощи комплекса регистраторов TRKO-2V, которые соответствуют СЦТР 467569.002 ТУ.

Методы

Изучали функциональные расстройства плодов на конец их хранения, акцентируясь на загаре и интенсивности поверхностного поражения (ИПП) плодов, дифференцируя ее в зависимости от температуры хранения. Загар на поверхности плодов определяли визуально в конце хранения. Учет пораженных плодов проводили по ИПП по количеству с пересчетом на проценты.

Исследования проводили в 2021...2022 годах по традиционным методикам, рекомендациям и определителям болезней плодов² (Дементьева & Выгонский, 1988; Седова & Гудковский, 1999).

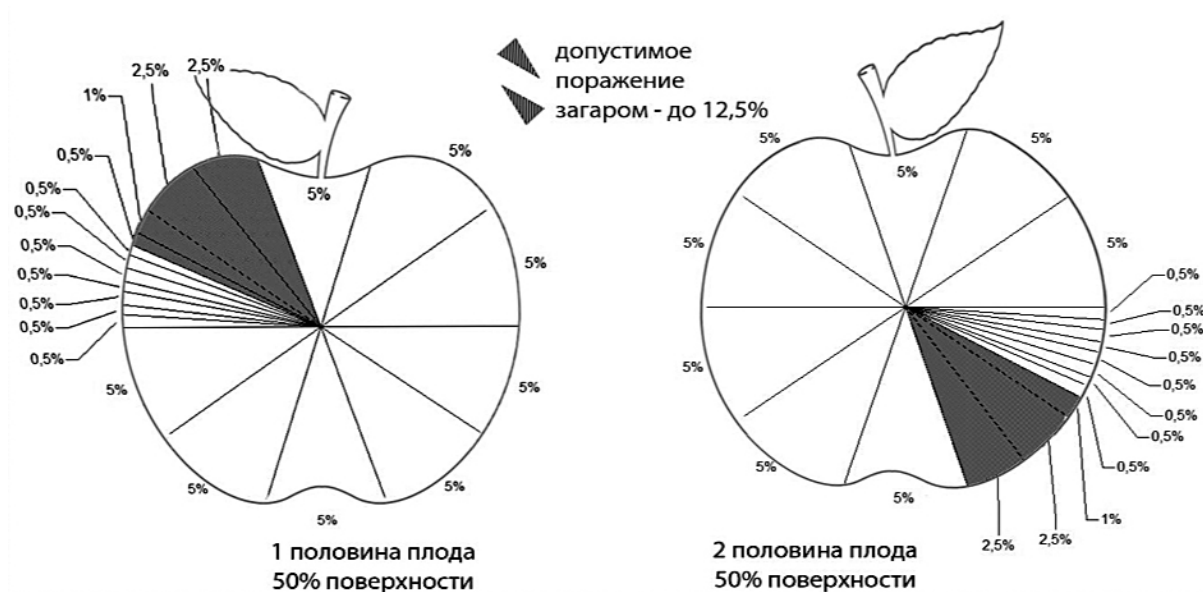
Процедура исследования

При определении ИПП плодов загаром в зависимости от различных температурных режимов хранения распределяли пораженные плоды по четырем группам в зависимости от степени их поражения. Плоды с загаром на площади, не превышающей 1/8 поверхности, относили к 1 сорту и 1 группе (<5...от 5 до 12,5% ИПП) — очень легкая и легкая степени поражения (Рисунок 1), на площади 1/4 поверхности к 2 сорту и 2 группе (от 12,5 до 25% ИПП) — умеренная степень поражения, на площади не более 1/2 поверхности к 3 сорту и 3 группе (от 25 до 50% ИПП) — высокая степень поражения, к 4-й группе — плоды с площадью > 50% ИПП — очень высокая степень поражения. 1-я группа — здоровые плоды, 2–4-я группы — потери (отход) (Никитин, 1999). Применяемые нами допуски (нормы для здоровых (товарных) сортов) дают возможность точнее оценивать степень поражения плодов загаром в зависимости от процентной доли пораженной поверхностной площади (Рисунок 1) нежели применяемые в настоящее время в ГОСТе 34314–2017 «Яблоки свежие, реализуемые в розничной торговой сети».

² Франчук, Е. П. (1983). *Проведение исследований по хранению плодов, ягод и винограда: Методические указания*. М.: Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук имени В. И. Ленина.

Рисунок 1

Интенсивность поверхностного поражения плода загаром (до 12,5 %) для 1 группы



Анализ данных

Статистическую обработку данных двухфакторного опыта, в котором помологические сорта являлись фактором (А), а температурные режимы — фактором В, проводили методом дисперсионного анализа с помощью программы Microsoft Excel. Графическое представление данных осуществляли при помощи программы SPSS 13.0 for Windows.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Интенсивность поверхностного поражения (ИПП) оказывает влияние на товарное качество плодов, которые могут быть при незначительных поражениях (<12,5 %) отнесены к категории здоровых (товарных).

Исследования степени поражения поверхности плодов яблони загаром с распределением на группы по ИПП ведутся нами с 1995 года (Никитин, 1999). В более поздний период аналогичные исследования были проведены во ВНИИ садоводства им. И. В. Мичурина (Тамбовская область) (Родилов, 2003), за рубежом — в ЮАР (Mditshwa et al., 2016) и во Франции (Marc et al., 2020).

В Мичуринске степень пораженной загаром поверхности плодов оценивается площадью их пора-

жения: от 0 % до 12,5 %; от 12,5 % до 50 %; от 50 % до 75 %; от 75 % до 100 %. Плоды дополнительно отсортировывают на фракции определенного диаметра (< 60 мм; 61–65; 66–70; 71–75; 76–80 и >80 мм) и оценивают зависимость величины загара от размера плодов. Плоды, имеющие больший размер, интенсивнее поражаются загаром, нежели меньшего размера. За рубежом относительная степень поверхностного поражения площади каждого плода регистрируется в соответствии со шкалой от 0 до 4: S0, симптомов нет; S1, от 0 % до 25 %; S2, от 25 % до 50 %; S3, от 50 % до 75 %; S4, > 75 % от площади пораженной поверхности (Рисунок 2).

Рисунок 2

Шкала степени поверхностного поражения плодов загаром



Примечание. Из “Pre-harvest climate and post-harvest acclimation to cold prevent from superficial scald development in Granny Smith apples”, by M. Marc, M, M. Cournot, S. Hanteville, A.-S. Poisson, M.-C. Guillou, S. Pelletier, F. Laurens, C. Tessier, C. Coureau, J.-P. Renou, M. Delaire and M. Orsel, 2020, *Scientific Reports*, 10, Article 6180 (<https://doi.org/10.1038/s41598-020-63018-3>). Copyright 2020 by Springer Nature Limited.

Предлагаемая нами группировка по ИПП предъявляет более жесткие требования к качеству плодов. Результаты изучения потерь плодов от функциональных расстройств при их хранении в различных температурных режимах приведены в Таблице 1.

Продолжительность хранения плодов изучаемых сортов находилась в пределах от 178 (Министр Киселёв) до 223 (Ивановское) суток. Выход товарных плодов у изучаемых сортов после снятия их с хранения варьировал в пределах от 57,7% у сорта Министр Киселёв (режим -1°C), до 82,3% у сорта Вавиловское (режим $+2^{\circ}\text{C}$), при соответственных потерях — 42,3 и 17,7%.

Плоды изучаемых сортов поражались следующими функциональными расстройствами (общее среднее): низкотемпературным разложением мякоти (НТР) — 4,5%; загаром — 4,4%; низкотемпературным ожогом (НТО) — 4,1%; перезреванием — 3,5% и внутренним побурением мякоти — 2,5% (Таблица 1).

В наибольшей степени функциональным расстройствам были подвержены плоды сортов Министр Киселёв (режим -1°C) — 35,9% и Ивановское ($+2^{\circ}\text{C}$) — 25,3%. Плоды сорта Вавиловское ($+2^{\circ}\text{C}$) в минимальной степени поражались функциональными расстройствами — 9,9%. В то же время плоды именно этого сорта вкупе с сортом Министр Кисе-

Таблица 1

Поражение плодов новых сортов яблони функциональными расстройствами в период хранения в зависимости от температурных режимов, 2021–2022 гг.

Вариант хранения	Продолжительность хранения, сутки	Здоровые (товарные), всего %	Потери, всего %	Функциональные расстройства, %					Всего
				загар	перезревание	побурение мякоти	Низкотемпературный ожог	Низкотемпературное разложение мякоти	
Вавиловское									
+2° С	207	82,3	17,7	8,2	0	0,4	0,7	0,7	9,9
-1° С		77,9	22,1	4,4	0	0,7	4,7	3,8	13,6
Среднее по фактору А		80,1	19,9	6,3	0,0	0,6	2,7	2,2	11,8
Ивановское									
+2° С	223	63,0	37,0	0	14,1	11,2	0	0	25,3
-1° С		71,5	28,5	0	6,5	3,9	0	1,6	12,0
Среднее по фактору А		67,2	32,8	0	10,3	7,6	0	0,8	18,7
Министр Киселёв									
+2° С	178	67,5	32,5	9,5	7,4	2,3	1,3	1,1	21,6
-1° С		57,7	42,3	4,5	0	1,1	26,4	3,9	35,9
Среднее по фактору А		62,6	37,4	7,0	3,7	1,7	13,8	2,5	28,7
Рождественское									
+2° С	182	77,1	22,9	8,9	0	0	0	10,8	19,7
-1° С		80,6	19,4	0	0	0	0	14,0	14,0
Среднее по фактору А		78,8	21,2	4,4	0	0	0	12,4	16,8
Общее среднее		72,2	27,8	4,4	3,5	2,5	4,1	4,5	19,0
Среднее по фактору В	+2° С	72,5	27,5	6,6	5,4	3,5	0,5	3,1	19,1
	-1° С	71,9	28,1	2,2	1,6	1,4	7,8	5,8	18,8
НСР A ₀₅				4,01	3,1	2,3	5,9	5,7	
НСР B ₀₅				2,84	2,2	1,6	4,2	F B<F ₀₅	
НСР AB ₀₅				F AB<F ₀₅	4,4	3,3	8,4	F AB<F ₀₅	

лѐв больше, чем плоды остальных сортов понесли наибольший ущерб от загара, как в режиме -1°C , так и в режиме $+2^{\circ}\text{C}$.

Установлено, что низкотемпературные и другие функциональные расстройства проявляются на плодах изучаемых сортов значительно быстрее, чем загар. Плоды всех изучаемых сортов восприимчивы к низкотемпературным поражениям. У сорта Министр Киселев при хранении в температурном режиме -1°C были отмечены низкотемпературные расстройства плодов: НТО (26,4 %) и НТР (3,9 %). Как наиболее устойчивый выделился сорт Ивановское. Его плоды лишь в минимальной степени (1,6 %) подвергались НТР при хранении в режиме -1°C .

Плоды сортов Вавиловское и Министр Киселѐв в большей степени поражались ФР в режиме -1°C , а плоды сортов Ивановское и Рождественское — в режиме $+2^{\circ}\text{C}$. Вавиловское — 13,6 % в режиме -1°C (в режиме $+2^{\circ}\text{C}$ — 9,9 %), Министр Киселѐв — 35,9 % -1°C (в режиме $+2^{\circ}\text{C}$ — 21,6 %). В среднем по всем изучаемым сортам, режим -1°C был более благоприятным в аспекте устойчивости плодов к функциональным расстройствам.

При хранении плодов изучаемых сортов в режиме -1°C мы отмечали меньшую степень их поражения загаром, чем в режиме $+2^{\circ}\text{C}$ (2,2 % против 6,6 %),

перезреванием (1,6 % против 5,4 %) и побурением (1,4 % против 3,5 %). В то же время режим -1°C приводил к большему поражению плодов нетолерантных сортов низкотемпературными расстройствами (7,8 % — НТО и 5,8 % — НТР), чем в режиме $+2^{\circ}\text{C}$ (0,5 % — НТО и 3,1 % — НТР).

Плоды сорта Ивановское практически не поражались загаром в процессе хранения, его плоды, пораженные на незначительной для отхода площади поверхности плодов в расчет условно не брались, так как относились нами к 1 товарному сорту. Плоды сорта Рождественское проявили устойчивость к загару при хранении в режиме -1°C , хотя в режиме $+2^{\circ}\text{C}$ имели значительный процент поражения — 8,9 % от общего количества хранимых плодов. На некоторых экземплярах всей изучаемой группы сортов было отмечено визуальное увядание (сморщенные в различной степени плоды), исключение сорт Рождественское в режиме $+2^{\circ}\text{C}$ (Таблица 2).

Интенсивность поверхностного поражения плодов побурением кожицы

На долю загара, как и на НТР, пришелся наибольший процент поражения плодов изучаемых сортов функциональными расстройствами — 4,4 и 4,5 % соответственно (см. Таблицу 1). Плоды всех изуча-

Таблица 2

Влияние сорта и температурного режима на восприимчивость плодов яблони к функциональным расстройствам во время хранения

Сорт	Вариант хранения	Загар	Увядание	Перезревание	Побурение мякоти	НТО	НТР
Вавиловское	$+2^{\circ}\text{C}$	***	*	—	*	*	*
	-1°C	**	*	—	*	**	**
Ивановское	$+2^{\circ}\text{C}$	—	**	***	***	—	—
	-1°C	—	*	**	**	—	*
Министр Киселѐв	$+2^{\circ}\text{C}$	***	**	**	*	*	*
	-1°C	**	*	—	*	***	**
Рождественское	$+2^{\circ}\text{C}$	***	—	—	—	—	**
	-1°C	—	*	—	—	—	***

Примечание. (—) — отсутствие расстройства

(*) — слабая степень

(**) — средняя степень

(***) — сильная степень

емых сортов в той или иной степени поражались загаром. Общий процент их поражения составил 12,6%, из которых 8,2% отнесены нами к товарным плодам после хранения (Таблица 3). Больше всего загара было на площади <5% поверхности плода (1 группа) — 5,4% и менее всего — на площади >50% поверхности — 0,1% от общего количества хранимых плодов (Таблица 3, Рисунок 3).

В наибольшей степени от загара, относимого к отходу (потерям), пострадали плоды сорта Министр Киселёв — 7,0%, в наименьшей — плоды сорта Рождественское — 4,4%. Сорт Ивановское не имел пло-

дов, которые можно было бы отнести к отходу (2, 3, 4 группы). Все пораженные в минимальной степени загаром плоды сорта Ивановское мы относили к здоровым (1 группа).

Сильнее поразились загаром плоды из температурного режима +2 °С — 17,5%, из которых 10,9% были отнесены к товарным. В режиме — 1 °С пораженных плодов было 10,4%, из которых 7,4% относились к товарным. В среднем по опытам зафиксирована наибольшая ИПП плодов загаром на площади <5% поверхности (1 группа) — 15,4%, на площади 5...12,5% поверхности плода (1 группа) — 7,1%

Таблица 3

Интенсивность поверхностного поражения плодов различных сортов яблони загаром при разных режимах хранения (% от общего количества хранимых плодов)

Режим хранения, ° С	Загар							Всего (+**)
	% от общего количества хранимых плодов							
	1 сорт		*всего	2 сорт	3 сорт	н/с	**всего	
	<5 % (ПП▼)	от 5 до 12,5 % (ПП)		от 12,5 до 25 % (ПП)	от 25 до 50 % (ПП)	>50 % (ПП)		
Группы	1			2	3	4		
Вавиловское								
+2 °С	20,9	7,6	28,5	3,6	3,8	0,8	8,2	36,7
–1 °С	9,9	6,6	16,5	2,6	1,8	0	4,4	20,9
Среднее	15,4	7,1	22,5	3,1	2,8	0,4	6,3	28,8
Ивановское								
+2 °С	1,2	0	1,2	0	0	0	0	1,2
–1 °С	1,6	0	1,6	0	0	0	0	1,6
Среднее	1,4	0	1,4	0	0	0	0	1,4
Министр Киселёв								
+2 °С	7,2	6,1	13,3	7,6	1,9	0	9,5	22,8
–1 °С	2,8	1,4	4,2	3,9	0,6	0	4,5	8,7
Среднее	5,0	3,8	8,8	5,8	1,2	0	7,0	15,8
Рождественское								
+2 °С	0	0,5	0,5	4,9	4,0	0	8,9	9,4
–1 °С	0	0	0	0	0	0	0	0
Среднее	0	0,2	0,2	2,4	2,0	0	4,4	4,6
Общее среднее	5,4	2,8	8,2	2,8	1,5	0,1	4,4	12,6
Среднее по режимам	+2 °С	7,3	3,6	10,9	4,0	2,4	6,6	17,5
	–1 °С	4,8	2,7	7,4	2,2	0,8	3,0	10,4

Примечание. ▼ — поверхностное поражение,

- — загар, который относится к 1 сорту (к товарным плодам),
- — загар, который относится ко 2, 3 сортам и нетоварным плодам (к отходу)

Рисунок 3

Интенсивность поверхностного поражения плодов загаром (общий средний процент поражения от общего количества хранимых плодов)

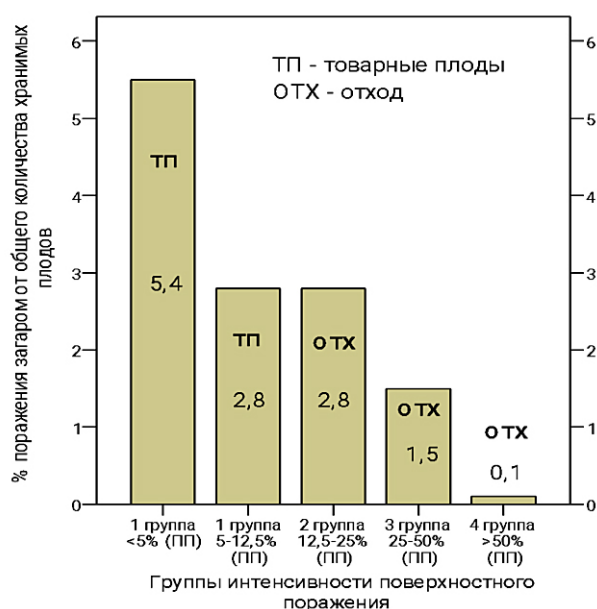
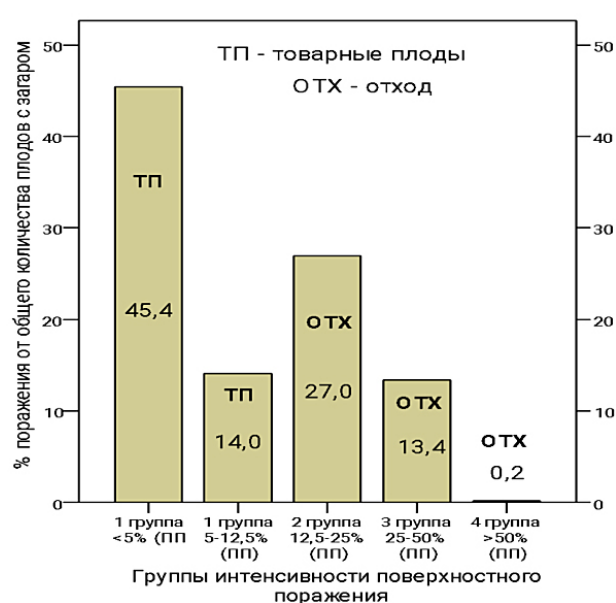


Рисунок 4

Интенсивность поверхностного поражения плодов загаром (общий средний процент поражения от общего количества плодов с загаром)



у сорта Вавиловское и на площади 12,5...25 % плода (2 группа) — 5,8 % у сорта Министр Киселёв.

На долю плодов с ИПП<5 % (1 группа) пришлось 45,4% от общего количества пораженных загаром плодов, что является наивысшим показателем, а на долю плодов 4 группы (>50% ИПП) пришелся наименьший процент пораженных загаром плодов — 0,2% от общего количества пораженных загаром плодов (Таблица 4, Рисунок 4).

Снижающим развитие загара плодов по всем изучаемым сортам отмечен режим -1°C , при котором плодов 1 группы (ИПП < 5% и 5...12,5%), условно отнесенным к товарным, было значительно больше — 75,9%, при 59,8% — в режиме $+2^{\circ}\text{C}$.

Для разработки полной сортовой технологии хранения плодов изучаемого блока сортов необходимо в дальнейшем дополнительно исследовать, как основные, так и сопутствующие показатели, оказы-

Таблица 4

Интенсивность поверхностного поражения плодов яблони загаром (% от общего поражения)

Режим хранения, ° С	Загар							Всего (•+••)
	% от общего количества пораженных загаром плодов							
	1 сорт		•всего	2 сорт	3 сорт	н/с	••всего	
	<5 % (пп▼)	от 5 до 12,5 % (пп)		от 12,5 до 25 % (пп)	от 25 до 50 % (пп)	>50 % (пп)		
Группы	1			2	3	4		
Вавиловское								
+2 °С	56,1	20,1	76,2	10,9	11,4	1,5	23,8	100,0
–1 °С	41,7	36,2	77,9	12,2	9,9	0	22,1	100,0
Среднее	48,9	28,1	77,1	11,6	10,6	0,8	23,0	100,0

Окончание Таблицы 4

Режим хранения,° С	Загар							
	% от общего количества пораженных загаром плодов							
	1 сорт		*всего	2 сорт	3 сорт	н/с	**всего	Всего (*+**)
	<5 % (ПП▼)	от 5 до 12,5 % (ПП)		от 12,5 до 25 % (ПП)	от 25 до 50 % (ПП)	>50 % (ПП)		
Группы	1			2	3	4		
Министр Киселёв								
+2 °С	29,9	24,9	54,8	36,1	9,1	0	45,2	100,0
–1 °С	35,1	14,8	49,9	43,0	7,1	0	50,1	100,0
Среднее	32,5	19,8	52,3	39,6	8,1	0,0	47,7	100,0
Ивановское								
+2 °С	100,0	0	100,0	0	0	0	0	100,0
–1 °С	100,0	0	100,0	0	0	0	0	100,0
Среднее	100,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
Рождественское								
+2 °С	0	8,3	8,3	56,9	34,8	0	91,7	100,0
–1 °С	0	0	0	0	0	0	0	0
Среднее	0	8,3	8,3	56,9	34,8	0	91,7	100
Общее среднее	45,4	14,0	59,4	27,0	13,4	0,2	40,6	100,0
Среднее по режимам	+2 °С	46,5	13,3	59,8	26,0	13,8	0,4	40,2
	–1 °С	58,9	17,0	75,9	18,4	5,7	0,0	24,1

Примечание. ▼ – поверхностное поражение,

- – загар, который относится к 1 сорту (к товарным плодам),
- – загар, который относится ко 2, 3 сортам и нетоварным плодам (к отходу)

вающие влияние на лежкость плодов, с учетом конкретного места произрастания деревьев, погодных условий, степени зрелости и сроков съема, биохимических показателей как до, так и после хранения плодов в различных режимах.

ВЫВОДЫ

В результате изучения предрасположенности к функциональным (физиологическим) расстройствам плодов сортов яблони селекции ВНИИСПК Вавиловское, Ивановское, Министр Киселёв, Рождественское установлена различная степень поражения и их индивидуальная реакция на температурный режим хранения.

Низкотемпературные и другие функциональные расстройства проявляются на плодах значительно

быстрее, чем загар. Установлен более благоприятный температурный режим, существенно снижающий потери, –1 °С. При этом выявлены сорта, плоды которых подвержены расстройствам от низких температур: низкотемпературному ожогу и низкотемпературному разложению мякоти в большей степени — у сорта Министр Киселёв, в меньшей — у сорта Рождественское. У сорта Ивановское отмечено отсутствие пораженных плодов в режиме –1 °С. Определена степень интенсивности поверхностного повреждения плодов загаром. Представлено распределение плодов, пораженных загаром, по группам в зависимости от степени интенсивности поверхностного поражения. Снижающим развитие загара плодов по всем изучаемым сортам отмечен режим –1 °С. На данном этапе исследований необходима корректировка температурных условий и продолжительности хранения плодов изучаемых сортов. Конкретная группировка пло-

дов пораженных загаром по ИПП (предлагаемая градация качества), на основе процентной доли пораженной площади их поверхности, на наш взгляд, дает возможность точнее оценивать и разделять их по качеству при сортировке для реализации, а также прослеживать степень поражения плодов в различных температурных условиях хранения с фиксацией результатов в обозначенных границах площади поверхности.

Предлагаемые нами допуски, возможно, в дальнейшем будут учтены при разработке нового ГОСТа.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Никитин А. Л. — администрирование и курирование исследования, концептуализация, создание модели исследования, формулирование исследовательских целей и задач, проведение эксперимента,

сбор и курирование данных, проведение и анализ исследования, применение статистических методов для анализа данных исследования, подготовка черновика рукописи, создание рукописи, ее рецензирование и редактирование, визуализация/представление данных.

Макаркина М. А. — руководство исследованием, администрирование проекта, формулирование исследовательских целей и задач, проведение эксперимента, сбор и администрирование данных, проведение и анализ исследования, комментирование черновика рукописи, комментирование рукописи до ее публикации, рецензирование и редактирование рукописи.

Галашева А. М. — участие в исследовательском процессе, предоставление исследовательских ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

- Гудковский, В. А., & Кожина, Л. В. (2019). Стратегии защиты плодов яблони от загара. *Пищевая промышленность*, (12), 57–62. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10187>
- Дементьева, М. И., & Выгонский, М. И. (1988). *Болезни плодов, овощей и картофеля при хранении*. М.: Агропромиздат.
- Никитин, А. Л. (1999). *Качество и лежкость плодов новых сортов иммунных и высокоустойчивых к парше сортов яблони, выращенных в садах интенсивного типа* [Кандидатская диссертация, Мичуринский государственный аграрный университет]. Мичуринск, Россия.
- Никитин, А. Л., & Макаркина, М. А. (2020). *Хранение яблок: Прошлое, настоящее, будущее: Монография*. Орел: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур.
- Никитин, А. Л., & Макаркина, М. А. (2021). Деструктивные гидротермические факторы вегетационного периода за месяц до уборки урожая, увеличивающие потери плодов яблони от «загара» во время хранения. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*, (6), 23–26. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/6/23-26>
- Причко, Т. Г. (2018). *Сроки уборки и режимы хранения яблок с учетом сортовых особенностей: Методические рекомендации*. Краснодар: Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия.
- Родиков, С. А. (2003). Оценка степени загара яблок при хранении. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (9), 69–70.
- Седов, Е. Н., Жданов, В. В., & Серова, З. М. (1995). Экологические проблемы и селекция иммунных к парше сортов яблони. В *Плодоводство и ягодоводство России: Научные труды* (т. 2, с. 19–23). М.: Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства РАСХН.
- Седова, З. А., & Гудковский, В. А. (1999). *Изучение лежкости плодов семечковых культур: Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур*. Орел: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур.
- Anet, E. F. L. J. (1974). Superficial scald, a functional disorder of stored apples. XI. Apple antioxidants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 25(3), 299–304. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740250310>
- Barden, C. L., & Bramlage, W. J. (1994a). Relationships of antioxidants in apple peel to changes in α -farnesene and conjugated trienes during storage, and to superficial scald development after storage. *Postharvest Biology and Technology*, 4(1–2), 23–33. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(94\)90004-3](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)90004-3)
- Barden, C. L., & Bramlage, W. J. (1994b). Accumulation of antioxidants in apple peel as related to preharvest factors and superficial scald susceptibility of the fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(2), 264–269. <https://doi.org/10.21273/JASHS.119.2.264>
- Dällenbach, L. J., Eppler, T., Bühlmann-Schütz, S., Kellerhals, M., & Bühlmann, A. (2020). Pre- and Postharvest Factors Control the Disease Incidence of Superficial Scald in the New Fire Blight Tolerant Apple Variety “Ladina”. *Agron-*

- omy, 10(4), Article 464. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040464>
- Emongor, V. E., Murr, D. P., & Lougheed, E. C. (1994). Preharvest factors that predispose apples to superficial scald. *Postharvest Biology and Technology*, 4(4), 289–300. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(94\)90040-X](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)90040-X)
- Gapper, N. E., Hertog, M. L. A. T. M., Lee, J., Buchanan, D. A., Leisso, R. S., Fei, Z., Qu, G., Giovannoni, J. J., Johnston, J. W., Schaffer, R. J., Nicolaï, B. M., Mattheis, J. P., Watkins, C. B., & Rudell, D. R. (2017). Delayed response to cold stress is characterized by successive metabolic shifts culminating in apple fruit peel necrosis. *BMC Plant Biology*, 17, 77. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1030-6>
- Ingle, M., & D'Souza, M. C. (1989). Physiology and control of superficial scald of apples: A review. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 24(1), 28–31. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.24.1.28>
- Karagiannis, E., Michailidis, M., Tanou, G., Samiotaki, M., Karamanoli, K., Avramidou, E., Ganopoulos, I., Madesis, P., & Molassiotis, A. (2018). Ethylene-dependent and-independent superficial scald resistance mechanisms in 'Granny Smith' apple fruit. *Scientific Reports*, 8(1), Article 11436. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29706-x>
- Lu, X., Liu, X., Li, S., Wang, X. & Zhang, L. (2011). Possible mechanisms of warming effects for amelioration of superficial scald. *Postharvest Biology and Technology*, 62(1), 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.04.008>
- Lurie, S., & Watkins, C. B. (2012). Superficial scald, its etiology and control. *Postharvest Biology and Technology*, 65, 44–60. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.11.001>
- Lurie, S., Klein, J. D., & Arie, R. B. (1991). Prestorage heat treatment delays development of superficial scald on «Granny Smith» apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 26(2), 166–167. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.26.2.166>
- Marc, M., Cournol, M., Hanteville, S., Poisson, A-S., Guillou, M-C, Pelletier, S., Laurens, F., Tessier, C., Coureau, C., Renou, J-P, Delaire, M., & Orsel, M. (2020). Pre-harvest climate and post-harvest acclimation to cold prevent from superficial scald development in Granny Smith apples. *Scientific Reports*, 10, Article 6180. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63018-3>
- Mditshwa, A., Fawole, O.A., Vries, F., Van Der Merwe, K., Crouch, E., & Opara, U. L. (2016). Classification of 'Granny Smith' apples with different levels of superficial scald severity based on targeted metabolites and discriminant analysis. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89, 49–55. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2016.089.006>
- Musacchi, S., & Serra, S. (2018). Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. *Scientia Horticulturae*, 234, 409–430. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.057>
- Paull, R. E. (1999). Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biology Technology*, 15(3), 263–277. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00090-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00090-8)
- Poirier, B. C., Mattheis, J. P., & Rudell, D. R. (2020). Extending 'Granny Smith' apple superficial scald control following long-term ultra-low oxygen controlled atmosphere storage. *Postharvest Biology and Technology*, 161, Article 111062. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111062>
- Rai, R. Joshi, S., Roy, S., Singh, O., Samir, M., & Chandra, A. (2015). Implications of changing climate on productivity of temperate fruit crops with special reference to apple. *Journal of Horticulture*, 2(2), Article 1000135. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1030-6>
- Rowan, D. D., Hunt, M. B., Fielder, S., Norris, J., & Sherburn, M. S. (2001). Conjugated triene oxidation products of α -farnesene induce symptoms of superficial scald on stored apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(6), 2780–2787. <https://doi.org/10.1021/jf0015221>
- Rudell, D. R., Buchanan, D. A., Leisso, R. S., Whitaker, B. D., Mattheis, J. P., Zhu, Y., & Varanasi, V. (2011). Ripening, storage temperature, ethylene action, and oxidative stress alter apple peel phytosterol metabolism. *Phytochemistry*, 72(11–12), 1328–1340. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.04.018>
- Rudell, D. R., Mattheis, J. P., & Hertog, M. L. A. T. M. (2009). Metabolomic change precedes apple superficial scald symptoms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(18), 8459–8466. <https://doi.org/10.1021/jf901571g>
- Watkins, C. B., Bramlage, W. J., & Cregoe, B. A. (1995). Superficial scald of 'Granny Smith' apples is expressed as a typical chilling injury. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(1), 88–94. <https://doi.org/10.21273/JASHS.120.1.88>
- Whitaker, B. D., Villalobos-Acuna, M., Mitcham, E. J., & Mattheis, J. P. (2009). Superficial scald susceptibility and α -farnesene metabolism in 'Bartlett' pears grown in California and Washington. *Postharvest Biology and Technology*, 53(1–2), 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.04.002>
- Whitaker, B. D. (2013). Genetic and biochemical bases of superficial scald storage disorder in apple and pear fruits. *Acta Horticulturae*, 989, 47–60. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.989.3>

REFERENCES

- Dement'eva, M. I., & Vygonskii, M. I. (1988). *Bolezni plodov, ovoshchei i kartofelya pri khranении* [Diseases of fruits, vegetables and potatoes during storage]. Moscow: Agropromizdat.
- Gudkovskii, V. A., & Kozhina, L. V. (2019). Strategii zashchity plodovoyabloni ot zagara [Strategies for protecting apple fruits from sunburn]. *Pishchevaya Promyshlennost'* [Food Industry], (12), 57–62. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10187>
- Nikitin, A. L. (1999). *Kachestvo i lezhkost' plodov novykh sortov i vysshieyushchikh k parshesortovoyabloni, vyrashchennykh v sadakh intensivnogo tipa* [The quality and hardiness of the fruits of new varieties of immune and highly resistant to scab apple varieties grown in intensive type gardens] [Candidate Dissertation, Michurinskii gosudarstvennyi agrarniy universitet]. Michurinsk, Russia.
- Nikitin, A. L., & Makarkina, M. A. (2020). *Khraneniye yablok: Proshloe, nastoyashchee, budushchee: Monografiya* [Apple Storage: Past, Present, Future: Monograph]. Orel: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut selektsii plodovykh kul'tur.
- Nikitin, A. L., & Makarkina, M. A. (2021). Destruktivnyye gidrotermicheskiye faktory vegetatsionnogo perioda za mesyats do uborki i uroznya, uvelichivayushchie potery plodovoyabloni ot "zagara" vovremya khraneniya [Destructive hydrothermal factors of the growing season a month before harvesting, increasing the loss of apple fruits from "tanning" during storage]. *Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoy nauki* [Bulletin of the Russian Agricultural Science], (6), 23–26. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/6/23-26>
- Prichko, T. G. (2018). *Sroki uborki i rezhimy khraneniya yablok s uchetom sortovykh osobennostey: Metodicheskiye rekomendatsii* [Terms of harvesting and storage modes of apples, taking into account varietal characteristics: Methodological recommendations]. Krasnodar: Severo-Kavkazskiy federal'nyy nauchnyy tsentr sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya.
- Rodikov, S. A. (2003). Otsenkastepenizagaryablokprikhraneniya [Assessment of the degree of tanning of apples during storage]. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (9), 69–70.
- Sedov, E. N., Zhdanov, V. V., & Serova, Z. M. (1995). *Ekologicheskiye problemy selektsii i vyzhivaniya k parshesortovoyabloni* [Environmental problems and selection of scab-immune apple varieties]. In *Plodovodstvo i yagodovodstvo v Rossii: Nauchnyye trudy* [Fruit and berry growing in Russia: Scientific works] (vol. 2, pp. 19–23). Moscow: Vserossiiskiy selektsionno-tekhnologicheskii institut sadovodstva i pitomnikovodstva RASKhN.
- Sedova, Z. A., & Gudkovskii, V. A. (1999). *Izucheniye lezhkostey i plodovsemechkovykh kul'tur: Programma i metody izucheniya plodovykh, yagodnykh i orekhovodnykh kul'tur* [Study of the keeping quality of fruits of seed crops: Program and methodology of variety study of fruit, berry and nut crops]. Orel: Vserossiiskiy nauchno-issledovatel'skii institut selektsii plodovykh kul'tur.
- Anet, E. F. L. J. (1974). Superficial scald, a functional disorder of stored apples. XI. Apple antioxidants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 25(3), 299–304. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740250310>
- Barden, C. L., & Bramlage, W. J. (1994a). Relationships of antioxidants in apple peel to changes in α -farnesene and conjugated trienes during storage, and to superficial scald development after storage. *Postharvest Biology and Technology*, 4(1–2), 23–33. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(94\)90004-3](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)90004-3)
- Barden, C. L., & Bramlage, W. J. (1994b). Accumulation of antioxidants in apple peel as related to preharvest factors and superficial scald susceptibility of the fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(2), 264–269. <https://doi.org/10.21273/JASHS.119.2.264>
- Dällenbach, L. J., Eppler, T., Bühlmann-Schütz, S., Kellerhals, M., & Bühlmann, A. (2020). Pre- and Postharvest Factors Control the Disease Incidence of Superficial Scald in the New Fire Blight Tolerant Apple Variety "Ladina". *Agronomy*, 10(4), Article 464. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040464>
- Emongor, V. E., Murr, D. P., & Loughheed, E. C. (1994). Preharvest factors that predispose apples to superficial scald. *Postharvest Biology and Technology*, 4(4), 289–300. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(94\)90040-X](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)90040-X)
- Gapper, N. E., Hertog, M. L. A. T. M., Lee, J., Buchanan, D. A., Leisso, R. S., Fei, Z., Qu, G., Giovannoni, J. J., Johnston, J. W., Schaffer, R. J., Nicolaï, B. M., Mattheis, J. P., Watkins, C. B., & Rudell, D. R. (2017). Delayed response to cold stress is characterized by successive metabolic shifts culminating in apple fruit peel necrosis. *BMC Plant Biology*, 17, 77. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1030-6>
- Ingle, M., & D'Souza, M. C. (1989). Physiology and control of superficial scald of apples: A review. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 24(1), 28–31. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.24.1.28>
- Karagiannis, E., Michailidis, M., Tanou, G., Samiotaki, M., Karamanoli, K., Avramidou, E., Ganopoulos, I., Madesis, P., & Molassiotis, A. (2018). Ethylene-dependent and -independent superficial scald resistance mechanisms in 'Granny Smith' apple fruit. *Scientific Reports*, 8(1), Article 11436. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29706-x>
- Lu, X., Liu, X., Li, S., Wang, X., & Zhang, L. (2011). Possible mechanisms of warming effects for amelioration of superficial scald. *Postharvest Biology and Technology*, 62(1), 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.04.008>
- Lurie, S., & Watkins, C. B. (2012). Superficial scald, its etiology and control. *Postharvest Biology and Technology*, 65, 44–60. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.11.001>
- Lurie, S., Klein, J. D., & Arie, R. B. (1991). Prestorage heat treatment delays development of superficial scald on «Granny Smith» apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 26(2), 166–167. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.26.2.166>

- Marc, M., Cournol, M., Hanteville, S., Poisson, A-S., Guillou, M-C. Pelletier, S., Laurens, F., Tessier, C., Coureau, C., Renou, J-P. Delaire, M., & Orsel, M. (2020). Pre-harvest climate and post-harvest acclimation to cold prevent from superficial scald development in Granny Smith apples. *Scientific Reports*, 10, Article 6180. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63018-3>
- Mditshwa, A., Fawole, O.A., Vries, F., Van Der Merwe, K., Crouch, E., & Opara, U. L. (2016). Classification of 'Granny Smith' apples with different levels of superficial scald severity based on targeted metabolites and discriminant analysis. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89, 49–55. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2016.089.006>
- Musacchi, S., & Serra, S. (2018). Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. *Scientia Horticulturae*, 234, 409–430. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.057>
- Paull, R. E. (1999). Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biology Technology*, 15(3), 263–277. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00090-8](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00090-8)
- Poirier, B. C., Mattheis, J. P., & Rudell, D. R. (2020). Extending 'Granny Smith' apple superficial scald control following long-term ultra-low oxygen controlled atmosphere storage. *Postharvest Biology and Technology*, 161, Article 111062. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111062>
- Rai, R. Joshi, S., Roy, S., Singh, O., Samir, M., & Chandra, A. (2015). Implications of changing climate on productivity of temperate fruit crops with special reference to apple. *Journal of Horticulture*, 2(2), Article 1000135. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1030-6>
- Rowan, D. D., Hunt, M. B., Fielder, S., Norris, J., & Sherburn, M. S. (2001). Conjugated triene oxidation products of α -farnesene induce symptoms of superficial scald on stored apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(6), 2780–2787. <https://doi.org/10.1021/jf0015221>
- Rudell, D. R., Buchanan, D. A., Leisso, R. S., Whitaker, B. D., Mattheis, J. P., Zhu, Y., & Varanasi, V. (2011). Ripening, storage temperature, ethylene action, and oxidative stress alter apple peel phytosterol metabolism. *Phytochemistry*, 72(11–12), 1328–1340. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.04.018>
- Rudell, D. R., Mattheis, J. P., & Hertog, M. L. A. T. M. (2009). Metabolomic change precedes apple superficial scald symptoms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(18), 8459–8466. <https://doi.org/10.1021/jf901571g>
- Watkins, C. B., Bramlage, W. J., & Cregoe, B. A. (1995). Superficial scald of 'Granny Smith' apples is expressed as a typical chilling injury. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(1), 88–94. <https://doi.org/10.21273/JASHS.120.1.88>
- Whitaker, B. D., Villalobos-Acuna, M., Mitcham, E. J., & Mattheis, J. P. (2009). Superficial scald susceptibility and α -farnesene metabolism in 'Bartlett' pears grown in California and Washington. *Postharvest Biology and Technology*, 53(1–2), 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.04.002>
- Whitaker, B. D. (2013). Genetic and biochemical bases of superficial scald storage disorder in apple and pear fruits. *Acta Horticulturae*, 989, 47–60. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.989.3>